



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE INGENIERÍA

**Propuesta de una metodología para la
identificación de glifosato en muestras de agua y
suelo en la zona agrícola aledaña a la presa
Endhó en el estado de Hidalgo, México**

TESIS

Que para obtener el título de
Ingeniero civil

PRESENTA

Victor Hugo Cuapio Ortega

DIRECTOR DE TESIS

Dr. Luis Antonio García Villanueva

DEDICATORIAS

A mis padres

Rita Ortega Díaz y Gil Cuapio Jiménez, por su apoyo incondicional y por ser parte fundamental en mi formación profesional y personal

A mi tía, prima y sobrina

Rosa María Ortega Díaz, Daniela de la Rosa Ortega y Ximena Dannie Pérez de la Rosa, por su cercanía, calidez y por complementar de manera insustituible mi círculo familiar cercano

AGRADECIMIENTOS

A mi director de tesis

Dr. Luis Antonio García Villanueva, por involucrarme en el proyecto PAPIIT IN107622 y orientarme en la elaboración del presente documento

A los doctores involucrados en el proyecto PAPIIT IN107622

Dra. Berenice Hernández Cruz, Dra. Georgina Fernández Villagómez, Dr. Iván Yassmany Hernández Paniagua y en especial a la Dra. Gema Luz Andraca Ayala por proporcionarme información indispensable referente a los procedimientos en laboratorio para la identificación del herbicida glifosato

A los miembros de mi jurado

Dra. Georgina Fernández Villagómez como presidenta, Dr. Luis Antonio García Villanueva como vocal, Ing. Marcos Trejo Hernández como secretario, Dra. Griselda Berenice Hernández Cruz como primer suplente y Dra. Gema Luz Andraca Ayala como segunda suplente

Al proyecto PAPIIT IN107622

“Análisis de riesgo a la salud humana por glifosato y su metabolito ácido aminometilfosfónico (AMPA) presentes en suelo y agua. Identificando y evaluando escenarios mediante modelos matemáticos (PWC- SADA) en la zona agrícola de la Presa Endhó” por darme la oportunidad de adquirir conocimientos en materia ambiental y brindarme la oportunidad de desarrollar el tema del que trata el presente documento

A las autoridades del Ejido

Petronilo Ponce Santiago y Daniel Briseño por permitirnos ingresar al sitio y brindar información relevante relacionada con la zona de estudio

ÍNDICE

Planteamiento del problema	8
Objetivo general	9
Objetivos específicos	9
Limitaciones y alcances	10
1.1. Plaguicidas	11
1.2. Herbicida glifosato	12
1.3. Usos del glifosato	13
1.4. Persistencia y transporte del glifosato en matrices ambientales de agua y suelo	14
1.5. Degradación del glifosato	15
1.6. Efectos del glifosato en el medio ambiente	16
1.7. Efectos del glifosato en la salud humana	18
2.1 Leyes relacionadas con plaguicidas	19
2.2. Reglamentos relacionados con plaguicidas	21
2.3. Normas Oficiales Mexicanas relacionadas con plaguicidas y con la contaminación de matrices ambientales de suelo y agua	22
2.4. Límites máximos permisibles de residuos de glifosato en agua y valores reglamentados de concentración de plaguicidas en suelos contenidos en las Normas Oficiales Mexicanas	24
2.5. Prohibición del glifosato	25
3.1. Zona de estudio	25
3.2. Problemática	34
4.1. Generalidades del muestreo de plaguicidas	36
4.1.1 Recomendaciones generales para el muestreo de plaguicidas	36
4.1.2. Tipos de muestreo	36
4.1.2. Tipos de muestras	38
4.2. Métodos de extracción del glifosato en muestras de agua y suelo	39
4.3. Métodos analíticos instrumentales para la determinación de glifosato	39
4.4. Muestreo y resultados en la etapa preliminar del proyecto	40
4.5. Propuesta de metodología de muestreo	44
4.5.1 Objetivos del muestreo	44
4.5.3. Delimitación de las áreas de interés de muestreo	44
4.5.4. Tipo de muestreo	46
4.5.5. Muestreo en agua	46
4.5.6. Muestreo en suelo	55
4.5.13. Frecuencia de muestreo	60
4.6. Procedimientos en laboratorio	61
4.6.1. Derivatización	61
4.6.2. Técnica de cromatografía líquida HPLC	62
4.6.3. Detector de fluorescencia	63

Índice de tablas

Tabla 2.1: Leyes mexicanas con temas relacionados a plaguicidas

Tabla 2.2: Reglamentos mexicanos relacionados con plaguicidas

Tabla 2.3: Normas Oficiales Mexicanas que hacen referencia a plaguicidas

Tabla 4.1: Coordenadas en grados decimales de los puntos de muestreo aledaños a la presa Endhó en suelo (Sitio 3) y agua (Sitio 1 y 2) en la visita de reconocimiento

Tabla 4.2: Coordenadas en grados decimales de los pozos dedicados al abastecimiento público de agua potable en la zona aledaña a la presa Endhó

Tabla 4.3: Coordenadas en grados decimales de los puntos de muestreo propuestos en el cuerpo de agua de la presa Endhó

Tabla 4.4: Coordenadas en grados decimales de los puntos de muestreo propuestos en los canales y corrientes tributarias principales que alimentan y demandan agua del cuerpo de la presa Endhó

Tabla 4.5: Cantidad de puntos de muestreo mínimos en suelo recomendados por la NOM-138-SEMARNAT/SSA1-2012 en función del área de estudio

Tabla 4.6: Coordenadas en grados decimales de los puntos de muestreo propuestos en la zona agrícola aledaña a la presa Endhó

Índice de figuras

Figura 1.1: Rutas de degradación del glifosato

Figura 3.1: Valle del Mezquital (VM)

Figura 3.2: Distrito de riego 003 Tula

Figura 3.3: Distrito de riego 112 Ajacuba,

Figura 3.4: Distrito de riego 100 Alfajayucan

Figura 3.5: Corrientes superficiales en la zona aledaña a la presa Endhó.

Figura 3.6: Dirección de flujo del agua subterránea en la zona aledaña a la presa Endhó

Figura 3.7: Pozos y acueductos aledaños a la presa Endhó

Figura 3.8: Área de cultivo y canales de distribución de agua para riego en la zona aledaña a la presa Endhó

Figura 4.1: Puntos de muestreo visitados en la etapa de reconocimiento del sitio

Figura 4.2: Toma de muestras con la botella de Van Dorn

Figura 4.3: Ubicación de los pozos dedicados al abastecimiento de agua potable cercanos a la presa Endhó

Figura 4.4: Ubicación de los puntos de muestreo propuestos en el cuerpo de agua de la presa Endhó

Figura 4.5: Ubicación de los puntos de muestreo propuestos en los canales y corrientes tributarias de la presa Endhó y en los que alimenta ésta

Figura 4.6: Ubicación de los puntos de muestreo propuestos en una porción de la zona agrícola cercana a la presa Endhó y a los puntos de muestreo visitados en la etapa de reconocimiento

Figura 4.7: Equipo de cromatografía líquida (HPLC) con detector de fluorescencia

Figura 4.8: Derivatización del glifosato y su metabolito AMPA

Figura 4.9: Equipo utilizado en HPLC

Resumen

En la actualidad, la contaminación ambiental representa un riesgo importante para la salud humana e impacta la de las demás especies, alterando los procesos naturales y comprometiendo el equilibrio ecológico.

A la contaminación ambiental en el estado de Hidalgo, México, se le ha atribuido una gran cantidad de impactos negativos en la salud de los habitantes por la contaminación del medio en el que se desarrollan. En este estado, el desalojo de agua residual doméstica e industrial proveniente del Valle de México, ha contribuido en la degradación del medio ambiente y de la calidad de los cuerpos de agua, como el caso de la presa Endhó, que se ha catalogado incluso como: “La cloaca más grande del mundo”.

El uso de agua residual ha impulsado la agricultura en el Valle del Mezquital, aunque su empleo pone en riesgo la salud humana y la del medio ambiente. En los sistemas de riego para uso agrícola cercanos a la presa Endhó, se han detectado residuos tóxicos de las industrias del cuero, de la pintura, del caucho, de la industria textil, petroquímica y farmacéutica, además de restos de plaguicidas y otros contaminantes.

Por su uso extendido en la agricultura, la presencia de plaguicidas en el medio ambiente, en alimentos destinados al consumo humano, en suelos, agua subterránea y en corrientes superficiales es constante, como en el caso de los herbicidas, utilizados con frecuencia en sector agrícola para combatir malezas que afectan a los cultivos.

El glifosato (introducido en 1974 al mercado de agroquímicos) ha sido el herbicida más utilizado alrededor del mundo y se ha detectado en numerosos alimentos destinados al consumo humano, como agua embotellada, galletas y otros productos. A este plaguicida, se le han atribuido diversas afectaciones a la salud humana, entre ellas numerosos tipos de cáncer, enfermedades por alteraciones neuronales y múltiples efectos en órganos y células, así como en el desarrollo de anfibios, peces y mamíferos.

Pese a lo anterior, el marco normativo en México no establece valores reglamentados en suelos contaminados por ningún plaguicida y no aborda la concentración máxima permisible en agua para consumo humano en el caso del glifosato.

En este texto, se generó una propuesta de metodología de muestreo dedicada a la identificación de glifosato en matrices de suelo y agua en la zona aledaña a la presa Endhó tomando en cuenta las Normas Oficiales Mexicanas (NOM) y las Normas Mexicanas (NMX) vigentes.

Introducción

Planteamiento del problema

Para el año 2050 se estima que la población mundial llegue a 9,600 millones de personas, lo que requerirá un aumento en la producción de alimentos de un 40 a 70 por ciento en los próximos 30 años (CEDRSSA, 2020). Esta condicionante agravaría la actual crisis alimentaria en el mundo, que recientemente ha alcanzado sus máximos históricos (FAO, 2022).

En México, la inseguridad alimentaria se ha agudizado debido a las políticas neoliberales (Suárez, 2020; CONACYT, 2022). Actualmente, el país encabeza la lista (en todo el mundo) en cuanto a importación de granos básicos se refiere (Hernández, 2020) y experimenta un alto índice de abandono del campo (Torres, 2010).

En el estado de Hidalgo, se estima que el 62.8 % de la población vive en entornos rurales (Ayala. et al., 2010) y el sector agropecuario representa en promedio el 9 % del PIB del estado y ocupa al 23.5 % de la población económicamente activa.

El Valle del Mezquital cubre una superficie de 7,018 km² y es la región de mayor extensión en el estado de Hidalgo. Se encuentra delimitada por el Valle de México, la Sierra Gorda y la Sierra Baja. La zona se compone de 27 municipios (UTVM, 2014). Esta zona aporta hasta el 59 % de la producción agrícola del estado, que en gran medida se sustenta gracias a los nutrientes del agua residual proveniente de Zona Metropolitana del Valle de México, ya que en el lugar se encuentra un clima semiárido y baja precipitación pluvial (García, 2020).

El agua residual (compuesta en un 47 % por descargas de origen industrial y 53 % por domésticas) se utiliza para regar cultivos de maíz, alfalfa y hortalizas en las zonas agrícolas del Valle del Mezquital (Hernández, 2018).

El uso de plaguicidas en el sector agrícola es una de las prácticas más comúnmente empleadas para sostener la productividad. Se estima que el 61 % de los pequeños productores en el Valle del Mezquital aplican productos químicos para este fin. Entre ellos, esterol (para el control de malezas), cipermetrina (para el control de insectos) y folidol (para el control de hormigas). Además, se ha detectado residuos de glifosato y su metabolito AMPA en la zona del Alto Mezquital (subregión del Valle del Mezquital) (Cabrera, 2022).

El glifosato ha sido el herbicida más utilizado alrededor del mundo (al menos hasta el año 2018) (Soumis, 2018). En el periodo de 2010 a 2019, tan solo en México, las importaciones del herbicida alcanzaron las 178,470.52 toneladas, aplicadas en la agricultura del país en cantidades que oscilan entre 1.5 a 4.3 kg/ha. (CONACYT, 2022).

Se ha detectado glifosato en orina humana, en suero materno, agua embotellada, en cerveza y vino, galletas, chocolates, y en matrices ambientales de aire, agua y suelo (Acquavella, et al., 2004; Redon-Von y Dzul-Caamal, 2017; Sierra, et al., 2019; Madera, 2019; Kongtip, et al., 2017; Ramírez, 2020; CONACYT, 2019a; Cook, 2019; Peillex y Pelletier, 2020).

La exposición al glifosato se ha correlacionado con la disminución del periodo de gestación en humanos, abortos espontáneos, anomalías congénitas (Parvez, et al., 2018; Ávila, et al., 2018) y con una mayor incidencia de cáncer (Ávila, et al., 2017).

El glifosato es tóxico para células humanas placentarias, altera el ADN en células de mamíferos e incrementa la incidencia de problemas en el aparato respiratorio y en el sistema digestivo, además, se asocia con reacciones alérgicas y dermatológicas, así como problemas neurológicos y psicológicos en humanos (Caiati, et al., 2020; Salazar y Aldana, 2011).

Los agroquímicos son potenciales contaminantes de matrices de agua, suelo y aire debido a los procesos de lixiviación, escurrimiento o deriva. Esto compromete la calidad de los recursos naturales (Sasal, et al., 2017; Pavani, 2016).

Por todo lo anterior, el monitoreo en zonas de alto riesgo de contaminación por plaguicidas u otros contaminantes (como es el caso de la zona agrícola aledaña a la presa Endhó) es esencial (Mota, 2009).

En el presente documento, se propondrá una metodología de muestreo en la zona aledaña a la presa Endhó para identificar en matrices de suelo y agua la presencia del herbicida glifosato, en apoyo al proyecto de investigación PAPIIT IN107622, “Análisis de riesgo a la salud humana por glifosato y su metabolito ácido aminometilfosfónico (AMPA) presentes en suelo y agua. Identificando y evaluando escenarios mediante modelos matemáticos (PWC-SADA) en la zona agrícola de la presa Endhó”.

Objetivo general

Proponer una metodología para la identificación de glifosato y su metabolito AMPA en muestras de agua y suelo en la zona agrícola aledaña a la presa Endhó, considerando la técnica de preconcentración en fase sólida y cromatografía líquida HPLC.

Objetivos específicos

1. Realizar una revisión bibliográfica para el conocimiento de la situación histórica del glifosato en México y en el mundo, considerando los últimos diez años y referencias base sobre el tema.
2. Investigar la normatividad nacional para el uso del glifosato en aplicaciones agrícolas consultando las normas vigentes publicadas en el Diario Oficial de la Federación.

3. Identificar los métodos analíticos comúnmente usados para determinar glifosato en suelo y agua mediante la revisión bibliográfica disponible en los últimos 8 años.

Limitaciones y alcances

1. Se considerará al glifosato y su metabolito AMPA como los compuestos a identificar en agua y suelo en el caso de estudio.
2. El caso de estudio se limita al suelo y agua de la zona agrícola aledaña a la presa Endhó en el estado de Hidalgo, México.

I. Marco teórico

1.1. Plaguicidas

La Organización Mundial de la Salud (OMS), define “plaguicida” como: cualquier compuesto o mezcla de éstos diseñado para prevenir, destruir, repeler o mitigar cualquier plaga en cultivos, así como las especies no deseadas de plantas y animales que causen daño o impactos no deseados durante la elaboración, transporte, almacenamiento y comercialización de alimentos, productos agropecuarios, forestales y alimentos para animales. Esta definición también incluye a las sustancias reguladoras del crecimiento de plantas, defoliantes y desecantes (Ravelo, 2009).

Históricamente, los compuestos que se pueden considerarse como precedentes de los actuales plaguicidas, son el azufre, los arseniatos y las flores de piretro, plasmados en numerosos textos desde la invención de la escritura y utilizados para combatir roedores, insectos y hongos (Bedmar, 2009).

Posteriormente (durante la Revolución Industrial) se emplearon productos como el verde de París (acetoarsenito de cobre) o caldo bordelés (sulfato de cobre con cal), entre otros (Bedmar, 2009). Actualmente, existen al menos 1,000 compuestos utilizados como plaguicidas alrededor del mundo (WHO, 2018).

Los plaguicidas sintéticos (utilizados en la actualidad) fueron inventados entre 1930 y 1940. Desarrollados al margen de las dos guerras mundiales, siendo uno de los primeros en descubrirse el dicloro difenil tricloroetano (DDT). El uso de plaguicidas sintéticos alrededor del mundo aumentó exponencialmente después de la segunda gran guerra, pues la industrialización e intereses financieros promovieron el uso de plaguicidas, impulsando el desarrollo de nuevas sustancias (Doménech, 2004; Ramírez y Lacasaña, 2001).

Este tipo de sustancias suponen grandes riesgos para la salud humana por la exposición de los usuarios durante su aplicación o a través del consumo de alimentos contaminados con

residuos de estos agroquímicos (González, 2019), además, los plaguicidas pueden repercutir negativamente sobre el ambiente, contaminando matrices de suelo, agua y aire, provocando la muerte de organismos benéficos y causando desequilibrios ecológicos en el largo plazo (Gobierno de México, s. f.). Pese a lo anterior, se estima que hasta el 60 % de la producción agrícola se mantiene gracias al uso de plaguicidas y fertilizantes en todo el mundo (INSL, s. f.).

Sin embargo, el término “plaga” es en esencia un término antropocéntrico, pues de manera objetiva, las plagas forman parte de un ecosistema (omitiendo las especies introducidas) (Bedmar, 2009). Algunas malezas, por ejemplo, aportan nutrientes al suelo, evitan la erosión del mismo, atraen polinizadores, contribuyen en la fijación de nitrógeno, pueden funcionar como indicadores de la calidad del suelo y otras tienen un valor nutricional para el ser humano (Martínez, 2020; Navarro, 2019; Succulent Avenue, s. f.). A pesar de esto, se ha estimado que anualmente las plagas destruyen hasta el 40 % de los cultivos a nivel mundial (FAO, 2021).

La presencia de malezas en cultivos ocasiona pérdidas en el rendimiento de éstos y afecta en la calidad de lo cosechado debido a la competencia entre la plaga y el propio cultivo por el agua, luz, nutrientes y espacio disponible (Rosales y Sánchez, 2006; Alonso, 2018). Para el manejo o control de malezas, se puede hacer uso de métodos, mecánicos o físicos, biológicos, químicos y culturales. El control químico de malezas contempla el uso de herbicidas (EOS, 2021).

En México se permite el empleo de plaguicidas que contienen ingredientes activos (140) vetados en otras naciones, de los cuales, 111 se han catalogado como “altamente peligrosos” (Bejarano, et al., 2017), todos éstos, utilizados como ingrediente activo en más de 3000 formulaciones comerciales de diferentes tipos de plaguicidas (Gómez, 2019).

1.2. Herbicida glifosato

El herbicida glifosato fue patentado por la empresa Monsanto en el año 1971 e introducido al mercado de plaguicidas en 1974. Su patente expiró en el año 2000 y desde entonces, diversas compañías se dedicaron a la producción del herbicida (US patent, 1971; BBC, 2018; Greenpeace, 2020), además, desde 1996 el uso del glifosato se multiplicó quince veces tras la implementación de cultivos genéticamente modificados (de maíz, algodón y soya) tolerantes al glifosato (CONACYT, 2020).

El glifosato químicamente puro (cuya fórmula es $C_3H_8NO_5P$), se usa casi exclusivamente en laboratorio ya que la solubilidad del herbicida es de 1.57 % en agua a 25 °C. Por lo anterior, la industria de agroquímicos utiliza de sales de glifosato, por ejemplo, la sal isopropilamina de N-(fosfonometil) glicina o sal isopropilamina de glifosato, con una solubilidad en agua de 63 % a 20 °C y de ácido equivalente de 47 % a la misma temperatura (MMA, 2000; Nandula,

et al., 2010; Nivia, 2002). El glifosato como ingrediente activo, se incluye por lo menos en 750 productos que se utilizan como herbicidas (Gómez, 2019).

El glifosato es un herbicida no selectivo que actúa en plantas, bacterias, algas, hongos y parásitos apicomplejos por medio de la inhibición de la enzima EPSPS (5-enolpiruvilshikimato-3-fosfato sintetasa), implicada en la ruta metabólica del ácido shikímico e indispensable para la síntesis de aminoácidos aromáticos (fenilalanina, tirosina y triptófano), reduciendo la capacidad del organismo para producir proteínas e interfiriendo la biosíntesis de tetrahidrofolato, ubiquinona y vitamina K, evitando su desarrollo hasta su muerte (INECC, 2018; Villalba, 2009; Ruiz y Sánchez, 2014; Eslava, et al., 2007).

1.3. Usos del glifosato

El uso del glifosato se ha promovido por la siembra de cultivos genéticamente modificados resistentes al herbicida, como los llamados “Roundup Ready”, cultivos a los que, por medio de ingeniería genética, se les ha introducido uno o más genes de otras especies (bacterianas, por ejemplo). El empleo de este tipo de cultivos, permite que los agricultores lleven a cabo una estrategia de control de plagas simple y flexible a través del uso de plaguicidas. (Hernández, et al., 2018; Casquier y Ortiz, 2012; Hauge y Carl, s. f.). Hasta el 90% del total de glifosato usado en todo el mundo se ocupa en el sector agrícola (Jos, 2017).

El glifosato se utiliza para eliminar pastos (tanto anuales como perennes) y malezas de hoja ancha; especies leñosas en el ámbito agrícola; en el sector forestal y pecuario, así como en la jardinería (Hernández, et al., 2018; Gómez, 2019). Ha sido utilizado para combatir cultivos ilícitos de marihuana, amapola y coca (Vargas, 2004; tele SUR, 2019), para fumigar cunetas en orillas de carreteras y las franjas de derecho de vía, parques y vías de tren (Europa Sur, 2021; Gobierno de México, 2016) y como desecante, con la finalidad de adelantar la época de cosecha en cultivos de trigo, avena y caña de azúcar, entre otros (CONACYT, 2019b).

Es posible encontrar plaguicidas (que contienen glifosato) en fase sólida o líquida y este puede ser aplicado a través de aspersores, rociadores aéreos, rociadores de voleo y por medio de aplicadores de gota (Ajiboye, 2022).

El glifosato es un herbicida sistémico que se introduce a la planta a través del contacto con las hojas de ésta (Salazar y Aldana, 2011). Por lo anterior, de manera general, el glifosato se aplica con una mezcla de coadyuvantes o surfactantes, que promueven el ingreso del herbicida a la planta a través de la membrana celular (WWF, 2021).

(Márquez, et al., 2021), Indican las principales familias de las malezas que es posible eliminar con el herbicida glifosato:

1. Amaranthaceae.
2. Asteraceae.
3. Cucurbitaceae.
4. Brassicaceae.
5. Cyperaceae.
6. Commelinaceae.
7. Convolvulaceae.
8. Euphorbiaceae.
9. Fabaceae.
10. Lamiaceae.
11. Malvaceae.
12. Poaceae.
13. Portulacaceae.
14. Rubiaceae.
15. Sapindaceae.
16. Solanaceae.

En México, las principales formulaciones comerciales que contienen glifosato como ingrediente activo son las siguientes (CONACYT, 2019a):

1. Faena®
2. Cacique 480®
3. Nobel 62 %®
4. Lafam®
5. Eurosato®
6. Agroma®

1.4. Persistencia y transporte del glifosato en matrices ambientales de agua y suelo

Desde su aplicación hasta que cumple su función, todo plaguicida interacciona con la atmósfera, suelo y agua que lo rodea (Salazar y Aldana, 2011), siendo el suelo uno de los medios que más influye en la movilidad y disposición final de estos compuestos, ya que gran parte de los procesos biológicos y químicos que condicionan el transporte y persistencia de los plaguicidas, ocurren en la superficie de esta matriz ambiental (INTA, 2010).

El herbicida glifosato es un compuesto polar (Muñoz, 2018). En el suelo, este herbicida se adhiere fuertemente a las partículas de arcilla y a la materia orgánica del suelo (Sterren, 2016; Ramírez, 2021). Algunos iones (Fe^{2+} , Fe^{3+} , Al^{3+}) y ácidos húmicos (moléculas orgánicas complejas), forman complejos con este herbicida, mecanismo por el cual, el glifosato puede adherirse a las partículas del suelo (Velástegui, 2018). Entre un pH de 4 y 8, el glifosato se

encuentra en su forma aniónica y presenta una alta afinidad por los cationes Al^{3+} y Fe^{3+} (Cifuentes, 2016).

Por lo general, los herbicidas se unen a los componentes del suelo por medio de mecanismos reversibles (Barja, 1999). En seguida, se enlistan algunos factores que pueden promover su transporte en matrices de suelo y agua:

1. En suelos con abundantes fosfatos, la adsorción del glifosato por las partículas del suelo disminuye, facilitando su movilidad e incrementando la cantidad de glifosato libre (Ramírez, 2021). Un caso similar se presenta entre el glifosato y los fertilizantes a base de fosfato, pues estos últimos podrían competir con el herbicida por los enlaces que puede compartir este último con las partículas del suelo, dejándolo disponible para su lixiviación (Muñoz, 2018). Estos mecanismos hacen posible que el glifosato contamine el agua subterránea.
2. El uso excesivo de agroquímicos y en particular del glifosato, puede saturar los procesos biológico-ambientales que permiten la degradación del herbicida, prolongando la vida media del éste y favoreciendo su acumulación y transporte por arrastre de agua de lluvia o lixiviación (Gobierno de México, 2021).
3. El herbicida glifosato puede ser lixiviado hacia estratos profundos en la matriz de suelo por flujo de agua a través de los macroporos y en la superficie del suelo por escurrimiento superficial cuando se aplica antes de la época de lluvias (Sasal, et al., 2010).
4. La adsorción del herbicida establece una relación inversa con el pH del suelo (conforme el pH del suelo aumenta, disminuye la adsorción del glifosato) (Okada, et al., 2016)

Pese a todo lo anterior, el glifosato y sus metabolitos (AMPA en mayor proporción) se pueden localizar en agua superficial y agua subterránea, en suelo y aire; alimentos, sangre y orina humana; en plantas y en animales (Agostini, et al., 2020; Peillex y Pelletier, 2020).

1.5. Degradación del glifosato

El glifosato se degrada en los suelos por mecanismos físicos, químicos y predominantemente microbiológicos, formando como principales metabolitos: el AMPA y la sarcosina. El glifosato es degradado en mayor parte por bacterias, aunque existen algunos hongos que también pueden aprovechar la molécula del herbicida. Un ejemplo referente a bacterias, son las *Pseudomonas* sp. LBr., que utilizan glioxilato y formaldehído para su desarrollo y las *Arthrobacter* sp. GLP-1, que utilizan glicina para la síntesis de proteínas (todos subproductos del proceso de degradación del herbicida) (Singh, et al., 2020).

A través de bacterias, el glifosato puede degradarse fácilmente mediante dos vías metabólicas (**Figura 1.1**), ambas en condiciones aerobias y anaerobias (Singh, et al., 2020; Bohórquez, 2020; Islas, 2013):

1. Mediante la enzima glifosato oxidorreductasa, y con la presencia de *Pseudomonas* spp., se divide el enlace carboximeto-nitrógeno del glifosato, convirtiéndose en AMPA y glioxilato. El glioxilato se metaboliza por medio del ciclo del glioxilato y el AMPA es dividido, produciendo fosfato inorgánico y metilamina, que finalmente se mineraliza a dióxido de carbono y amoníaco.
2. La ruta metabólica por medio de la rotura del enlace carbono-fósforo, con la presencia de *Pseudomonas* spp. produciendo fosfato y sarcosina. La sarcosina se degrada en glicina y formaldehído. Finalmente, se forman dióxido de carbono y el ion amonio.

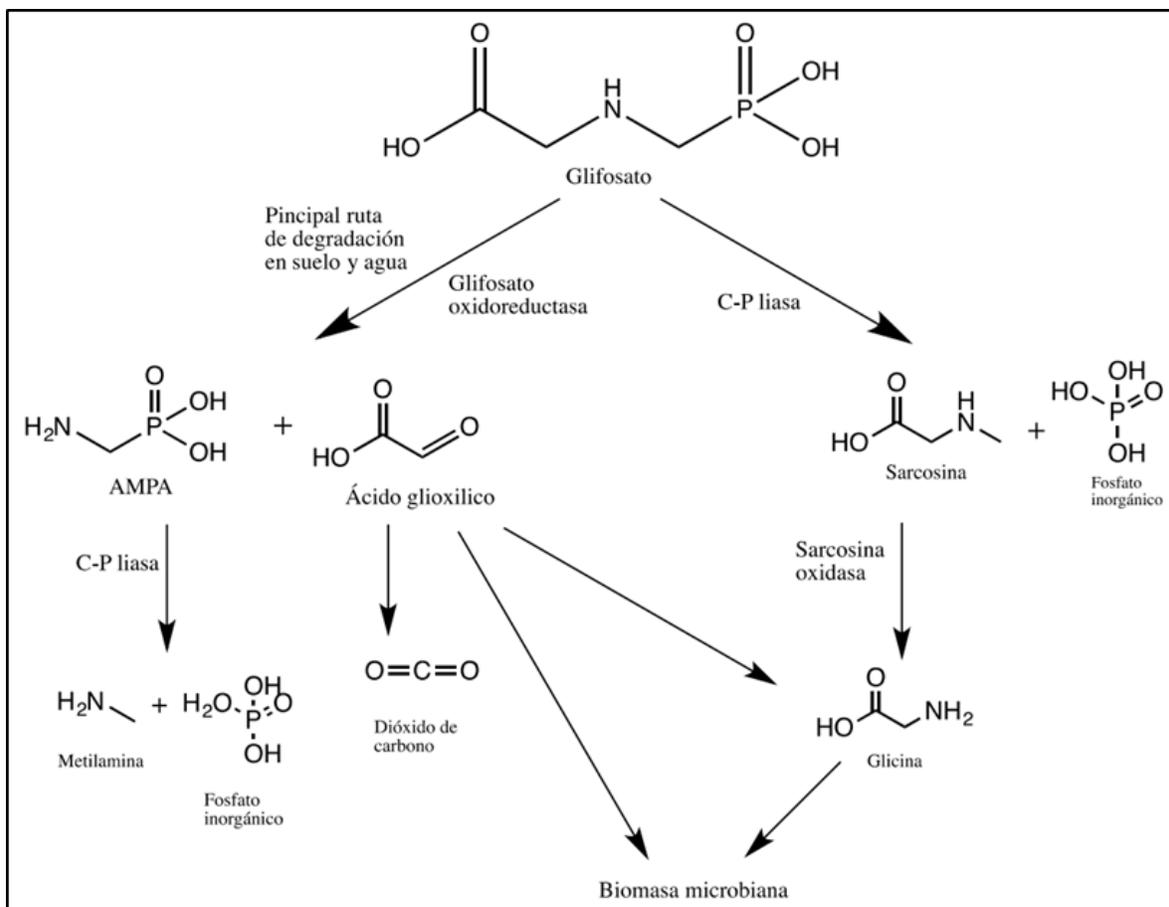


Figura 1.1: Rutas de degradación del glifosato (Canek, 2020)

En el suelo, la degradación del glifosato se da principalmente en condiciones aerobias y su principal metabolito es el AMPA. La vida media del herbicida varía de manera importante entre autores y de acuerdo a las condiciones ambientales puede ir de 2 a 3 días (Gobierno de España, 2022 ; Burger y Fernández, 2004), 14 días en condiciones aerobias y de 14 a 22 en

anaerobias (Medici, s. f), de 6 a 20 días en suelo (CONACYT, 2020), 25 días en estudios de laboratorios (Caicedo, 2021), de 12 a 60 días (Nivia, s. f.; INECC, 2022), 2 a 91 días en agua (CONACYT, 2020), 120 días en sedimentos de fondo (Nivia, s. f.) y hasta 215 días (CONACYT, 2020).

1.6. Efectos del glifosato en el medio ambiente

Durante la aplicación del glifosato, hasta el 10 % del herbicida puede llegar a plantas no objetivo. Esta exposición, a pesar de ser considerada como “subletal”, puede ser grave en cultivos susceptibles, como el caso del jitomate, que, al estar expuesto a la deriva de glifosato, desarrolla cicatrices y deformidades conicidad como “caras de gato” (Kanissery, et al., 2019).

El uso intensivo de glifosato, ha propiciado la aparición de especies de malezas resistentes al herbicida, que consiguen evitar la acción del glifosato gracias a la mutación del gen que codifica aminoácidos de la enzima 5-enolpiruvil-shiquimato-3-fosfato sintetasa, o por o a través de la resistencia metabólica, que minimiza la movilidad del herbicida para impedir que éste llegue hasta los meristemos (tejidos responsables del crecimiento de la planta). Este hecho pone en jaque la viabilidad técnica del plaguicida y hace indispensable el empleo de otros agroquímicos (FAO, 2007; Díaz, 2021).

En sus inicios, el herbicida glifosato se patentó como una sustancia antimicrobiana (Ramírez, 2021), por lo anterior, el glifosato puede tener un impacto en estas poblaciones. En el suelo el glifosato produce cambios que promueven la supervivencia de especies tolerantes al herbicida y presenta efectos sobre la eficiencia de la microbiota del suelo, perjudicando la capacidad de estos microorganismos para contribuir en los ciclos del carbono, nitrógeno y fósforo (Ortega y Fuentes, 2021), además, el uso intensivo y prolongado del herbicida, pudo haber contribuido a la resistencia cruzada contra antibióticos en el caso de las bacterias *E. coli* y *Salmonella sp.*, por ejemplo (van Bruggen, et al., 2021).

En aves, el glifosato se ha correlacionado con el aumento de enfermedades bacterianas producidas por las siguientes bacterias resistentes al herbicida: *Salmonella Entritidis*, *Salmonella Typhimurium*, *Salmonella Gallinarum*, *Clostridium botulinum* y *Clostridium perfringens*. Además, la mayor parte de la microbiota benéfica, como: *Enterococcus faecalis*, *Bacillus badius*, *Enterococcus faecium*, *Lactobacillus spp.* y *Bifidobacterium adolescentis*, son microorganismos alta o medianamente susceptibles a los efectos del glifosato (Shehata, et al., 2012). Un caso similar se presenta en abejas melíferas, pues el glifosato afecta al microbioma intestinal benéfico del insecto y aumenta la probabilidad de sufrir infecciones por patógenos, reduciendo su eficacia como insecto polinizador (Motta, et al., 2018).

El glifosato puede ser dañino para las lombrices de tierra, insectos artrópodos, reptiles y aves que se encuentren directamente expuestos al herbicida, además, pueden verse afectados de

manera indirecta por la pérdida de vegetación de la que extraen su alimento o en la que se refugian, ya que el glifosato es un herbicida no selectivo (Ramírez, 2021; Gill, et al., 2022).

En especies acuáticas, el glifosato tiene la capacidad de reducir la actividad de la acetilcolinesterasa (enzima relacionada con la sinapsis neuronal); de dañar neuronas motoras primarias y causar problemas en el desarrollo que incluyen el mesencéfalo y cerebro anterior; de causar daño ocular y lesiones renales graves; daño en ADN de sangre, en hígado y agallas, además, disminuye concentración de eritrocitos, linfocitos, leucocitos y trombocitos en sangre; aumenta la susceptibilidad a patógenos y promueve infecciones (Zirena, et al., 2018).

El glifosato causa efectos nocivos en especies de microalgas, protozoos y bacterias acuáticas; puede mitigar las poblaciones de micro y nanofitoplancton (esenciales para la preservación de la vida acuática y para la producción de oxígeno molecular) (Zirena, et al., 2018; López, 2019).

En anfibios expuestos al herbicida glifosato y a formulaciones que lo contienen, se ha documentado efectos en el crecimiento y desarrollo morfológico, adicionalmente, el herbicida causa depresión inmunológica y neurotoxicidad; mitiga la actividad de las enzimas butirilcolinesterasa, acetilcolinesterasa, glutatión S-transferasa y carboxilesterasa, empleadas durante la catálisis de neurotransmisores (Bach, et al., 2016; Gill, et al., 2022).

La administración oral de glifosato tiene efectos nocivos en hígado y riñones de ratas (Gill, et al., 2022) y la sal de isopropilamina de glifosato induce efectos cardiovasculares en cerdos (Lee, et al., 2009).

1.7. Efectos del glifosato en la salud humana

Los efectos por intoxicación aguda con herbicidas formulados a base de glifosato, a menudo incluyen dificultades respiratorias, depresión cardíaca, ataxia, convulsiones, edema pulmonar, ulceración y gastritis; falla renal, cardíaca o hepática. En humanos, la dosis letal se encuentra entre 0.5 g/kg y 5 g/kg de peso (CONACYT, 2019a; Salazar, s. f.).

Entre los efectos en el largo plazo (por exposición crónica), se puede mencionar daño en células del hígado y riñones; efectos sobre la fertilidad, afectaciones graves en el embarazo, enfermedades respiratorias y de la piel, así como cuantiosos tipos de cáncer tanto en hombres como en mujeres (Franco, 2018).

El glifosato podría contribuir con diversas alteraciones: endocrinas (como la diferenciación sexual), en el metabolismo óseo y hepático, en la reproducción y el embarazo; el desarrollo y crecimiento cerebral, en la cognición y en la conducta, además, aumentaría la posibilidad de sufrir abortos espontáneos, partos prematuros y bajo peso al nacer (CONACYT, 2019a; Richard, et al., 2005).

Este herbicida puede estar relacionado con el desarrollo de diversas patologías, como la enfermedad inflamatoria intestinal, diabetes, obesidad, depresión, trastorno por déficit de atención e hiperactividad, autismo, la enfermedad de Alzheimer y Parkinson, esclerosis lateral amiotrófica, esclerosis múltiple, caquexia, infertilidad, malformaciones y cáncer, entre otras (Samsel y Seneff, 2013; CONACYT, 2019a).

Algunos tipos de cáncer que se han asociado al herbicida glifosato son el de pulmón, de cavidad oral, de recto, riñón; de vejiga y próstata; de mama y de testículo; leucemia, melanoma, mieloma múltiple y linfoma no Hodgkin, entre otros (CONACYT, 2019a).

Referente al impacto en el tracto intestinal humano, se estima que más de la mitad de las especies del microbioma son sensibles al glifosato (Leino, et al., 2021) y el herbicida puede conducir a una disbiosis intestinal, misma que puede relacionarse con trastornos neurológicos, emocionales, y neurodegenerativos (Rueda-Ruzafa, et al., 2019).

Adicional a los efectos del ingrediente activo, los plaguicidas (como en el caso del glifosato) se mezclan a menudo con otras sustancias (coadyuvantes, solventes y otros compuestos) a menudo denominadas como “ingredientes inertes”, que en muchos casos son sustancias química o toxicológicamente activas (Nivia, 2002).

II. Normatividad

2.1 Leyes relacionadas con plaguicidas

En México, el primer marco regulatorio que trató el tema de las plagas, fue la Ley de Plagas del año 1924, que estuvo vigente hasta la publicación de la Ley de Sanidad Fitopecuaria, en 1940; esta última, publicada antes de que en México y en el resto del mundo se iniciara el uso masivo de plaguicidas. Después de tres décadas, en 1974, fue aprobada la nueva Ley de sanidad Fitopecuaria y una década después, en 1984 comenzó la emisión de reglamentos en legislación ambiental (Albert, 2019).

En la actualidad, las dependencias involucradas en la reglamentación de plaguicidas contemplan en cuestiones sanitarias a la Secretaría de Salud (SSA), referente a impacto al medio ambiente, la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), de su eficacia como agente químico, la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER), para la regulación afín al transporte, la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT) y para atender los criterios de seguridad e higiene, la Secretaría del Trabajo y Previsión Social (STPS) (Rosas, et al., 2019).

En México, la regulación de plaguicidas, se encuentra distribuida en diferentes leyes, entre ellas destacan las que se nombran en la ***Tabla 2.1***.

Tabla 2.1: Leyes mexicanas con temas relacionados a plaguicidas

Ley	Contenido
Ley General de Salud (LGS) de 1984	<p>Referente a plaguicidas, la ley contempla los procedimientos de autorización y registro, así como los de importación, exportación, formulación, fabricación, envasado, etiquetado, almacenado, transporte y aplicación de estas sustancias, además de los requerimientos que deben cumplir los establecimientos dedicados a la formulación o fabricación de plaguicidas.</p> <p>La norma trata temas relacionados con la contaminación de productos por este tipo de agroquímicos.</p>
Ley Federal de Sanidad Vegetal (LFSV) de 1994	<p>Aborda el tema de registro de plaguicidas, los límites máximos permisibles de este tipo de agroquímicos en o sobre vegetales, el monitoreo y análisis de residuos de estos compuestos, la calidad y efectividad de los mismos, el cumplimiento de normas oficiales relacionadas y la disposición final de los envases que contienen plaguicidas.</p>
Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA) de 1988	<p>Hace referencia a la utilización y aplicación de plaguicidas; el otorgamiento de las autorizaciones para la fabricación, utilización e importación de estos agroquímicos con el fin de prevenir daños al ambiente y a la salud humana, así como disposición final de residuos, envases y empaques vacíos que deriven del empleo de estas sustancias.</p>
Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (LGPGIR) de 2003	<p>Contempla el manejo de residuos peligrosos que surjan del empleo de plaguicidas y de los productos caducos retirados del mercado que los contengan.</p>
Ley Federal de Sanidad Animal de 2007	<p>Referente a plaguicidas, esta norma contempla temas relacionados con la autorización y registro de este tipo de agroquímicos y los límites máximos permisibles de este tipo de contaminantes en bienes de origen animal.</p>

2.2. Reglamentos relacionados con plaguicidas

Algunas normas administrativas que tratan el tema de plaguicidas, están aglomeradas en los reglamentos concentrados en la **Tabla 2.2**.

Tabla 2.2: Reglamentos mexicanos relacionados con plaguicidas

Reglamento	Contenido
Reglamento en Materia de Registros, Autorizaciones de Importación y Exportación y Certificados de Exportación de Plaguicidas, Nutrientes Vegetales y Sustancias y Materiales Tóxicos o Peligrosos (2004)	Referente a plaguicidas, trata los temas de autorización y registro, de exportación e importación de esta sustancias, así como la emisión de certificados para la libre venta.
Reglamento de la Ley General de Salud en Materia de Publicidad (2000)	Tiene como objetivo reglamentar la publicidad de productos que contienen plaguicidas (referente a la clasificación toxicológica del producto) y sobre el mal uso que se le pueda dar a raíz de lo mostrado en la etiqueta de la formulación.
Reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente en Materia de Prevención y Control de la Contaminación de la Atmósfera (1988)	Su principal objetivo es prevenir y controlar la contaminación de la atmósfera. Contempla las actividades de la industria química fabricante de plaguicidas y sus emisiones de contaminantes, así como el empleo de equipos y sistemas para no sobrepasar los límites máximos permisibles publicados en las NOM relacionadas.
Reglamento de la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (2006)	Trata temas referentes al reciclaje, reutilización y co-procesamiento de envases vacíos que hayan almacenado plaguicidas.

2.3. Normas Oficiales Mexicanas relacionadas con plaguicidas y con la contaminación de matrices ambientales de suelo y agua

Para contemplar diversos aspectos técnicos referentes a plaguicidas, se tienen Normas Oficiales Mexicanas (NOM), aunque ninguna de ellas regula la concentración de plaguicidas en aire, suelo, sedimentos, agua superficial o residual (OCDE, 2021). Algunas NOM que abordan temas relacionados con plaguicidas se muestran en la **Tabla 2.3**.

Tabla 2.3: Normas Oficiales Mexicanas que hacen referencia a plaguicidas

Norma Oficial Mexicana	Contenido
NOM-003-STPS-1999 (Actividades agrícolas - Uso de insumos fitosanitarios o plaguicidas e insumos de nutrición vegetal o fertilizantes - Condiciones de seguridad e higiene)	Indica las condiciones de higiene y seguridad necesarias para prevenir riesgos a los que se exponen trabajadores que trasladan, almacenan o manejan plaguicidas y otras sustancias peligrosas.

<p>PROY-NOM-003-STPS-2016 (Actividades agrícolas-Condiciones de seguridad y salud en el trabajo)</p>	<p>Establece condiciones de seguridad para mitigar los riesgos a los que se exponen los trabajadores que desarrollan actividades agrícolas (entre ellas el empleo de plaguicidas).</p>
<p>NOM-032-SAG/FITO-2014 (Por la que se establecen los requisitos y especificaciones fitosanitarios para la realización de estudios de efectividad biológica de plaguicidas agrícolas y su Dictamen Técnico.)</p>	<p>Esta norma indica los requisitos y especificaciones para la elaboración de estudios de efectividad biológica de plaguicidas.</p>
<p>NOM-033-FITO-1995 (Por la que se establecen los requisitos y especificaciones fitosanitarias para aviso de inicio de funcionamiento que deberán cumplir las personas físicas o morales interesadas en comercializar plaguicidas agrícolas)</p>	<p>Establece los procedimientos que deben llevar a cabo las personas físicas o morales que deseen dedicarse a la comercialización de plaguicidas para obtener los certificados que acrediten el cumplimiento de la norma y para formar parte del directorio fitosanitario correspondiente.</p>
<p>NOM-034-FITO-1995 (Por la que se establecen los requisitos y especificaciones fitosanitarias para el aviso de inicio de funcionamiento que deberán cumplir las personas físicas o morales interesadas en la fabricación, formulación, formulación por maquila, formulación y/o maquila e importación de plaguicidas agrícolas)</p>	<p>Contempla los lineamientos a cumplir por empresas dedicadas a la fabricación, formulación e importación de plaguicidas para presentar el aviso de inicio de funcionamiento.</p> <p>Responsabiliza a las empresas fabricantes de plaguicidas sobre la información que brinda la etiqueta de su producto y acerca del contenido de éste con el fin de que cumpla con las especificaciones del producto registrado.</p>
<p>NOM-043-SCT/2003 (Documento de embarque de sustancias, materiales y residuos peligrosos)</p>	<p>Indica los datos fundamentales que debe contener el documento de embarque para la identificación de plaguicidas. Entre ellos, la descripción de la sustancia, el nombre técnico de ésta, y la cantidad de la misma, entre otros.</p>
<p>NOM-047-SSA1-2011 (Salud ambiental-Índices biológicos de exposición para el personal ocupacionalmente expuesto a sustancias químicas)</p>	<p>Norma los índices biológicos de exposición (que valoran la cantidad de una sustancia absorbida por el organismo) para el personal ocupacionalmente activo expuesto a sustancias químicas (entre ellas plaguicidas).</p>

<p align="center">NOM-052-FITO-1995</p> <p>(Por la que se establecen los requisitos y especificaciones fitosanitarias para presentar el aviso de inicio de funcionamiento por las personas físicas o morales que se dediquen a la aplicación aérea de plaguicidas agrícolas)</p>	<p>Establece las especificaciones y requisitos fitosanitarios que deben cumplir las personas físicas o morales que se dediquen a la aplicación aérea de plaguicidas y los requisitos para presentar el aviso de inicio de funcionamiento.</p> <p>Contempla el uso de aeronaves y establece pautas que promuevan el cumplimiento de la normatividad relacionada con la aplicación aérea de plaguicidas.</p>
<p align="center">NOM-057-FITO-1995</p> <p>(Por la que se establecen los requisitos y especificaciones fitosanitarias para emitir el dictamen de análisis de residuos de plaguicidas)</p>	<p>Indica los requisitos, especificaciones y criterios que deberán cumplir los laboratorios aprobados para emitir dictámenes de análisis de residuos de plaguicidas (referente a la determinación cuantitativa y cualitativa de niveles de plaguicidas) en productos vegetales y de calidad de plaguicidas (sobre su efectividad biológica).</p>
<p align="center">NOM-082-SAG-FITO/SSA1-2017</p> <p>(Límites máximos de residuos. Lineamientos técnicos y procedimiento de autorización y revisión)</p>	<p>Establece procedimientos y lineamientos técnicos para la autorización de límites máximos permisibles de residuos (principalmente en alimentos dedicados al consumo humano) de plaguicidas con fines de registro y uso.</p> <p>Trata los temas de ingesta diaria admisible y dosis máximas sin efectos adversos, entre otros.</p>
<p align="center">NOM-127-SSA1-2021</p> <p>(Agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de la calidad del agua)</p>	<p>Referente a los límites permisibles de calidad de agua para uso y consumo humano, contemplando a los plaguicidas clorados y fosforados.</p>
<p align="center">NOM-230-SSA1-2002</p> <p>(Salud ambiental. Agua para uso y consumo humano, requisitos sanitarios que se deben cumplir en los sistemas de abastecimiento públicos y privados durante el manejo del agua. Procedimientos sanitarios para el muestreo)</p>	<p>Brinda recomendaciones para análisis de plaguicidas (en específico para la toma de muestras de agua destinada al consumo humano). Entre ellas, el tipo de muestras, los materiales y equipos a considerar, el volumen y tipo de muestras, así como medidas para asegurar la calidad del muestreo.</p>

<p style="text-align: center;">NOM-232-SSA1-2009</p> <p>(Plaguicidas: que establece los requisitos del envase, embalaje y etiquetado de productos grado técnico y para uso agrícola, forestal, pecuario, jardinería, urbano, industrial y doméstico)</p>	<p>Aborda las indicaciones y requisitos, así como las características de los envases que contengan plaguicidas técnicos o formulados para minimizar los riesgos a la salud de los trabajadores ocupacionalmente expuestos y de la población en general.</p> <p>Trata el tema de la información en las etiquetas (de identificación toxicológica), el tamaño de las mismas y sobre la capacidad y características de los envases, entre otros aspectos.</p>
<p style="text-align: center;">NOM-256-SSA1-2012</p> <p>(Condiciones sanitarias que deben cumplir los establecimientos y personal dedicados a los servicios urbanos de control de plagas mediante plaguicidas)</p>	<p>Indica los requisitos sanitarios que deben cumplir tanto el personal como los establecimientos dedicados a los servicios de control de plagas en entornos urbanos (referente a capacitación del personal, el transporte de plaguicidas, equipo de protección personal (EPP), entre otros lineamientos).</p>

2.4. Límites máximos permisibles de residuos de glifosato en agua y valores reglamentados de concentración de plaguicidas en suelos contenidos en las Normas Oficiales Mexicanas

Actualmente, existen más de 19,400 valores reglamentados (concentración de un contaminante que desencadena algún tipo de respuesta negativa) en suelos referente a plaguicidas en 54 países y 5,400 niveles de concentración máxima en agua para consumo humano de diversos plaguicidas en 102 países. 25 plaguicidas se han regulado con más de 100 concentraciones máximas en agua potable alrededor del mundo y 22 se han normado con más de 100 valores reglamentarios en suelo (Li y Jennings, 2017).

En suelos, existen 93 valores reglamentarios en todo el mundo por presencia de glifosato en esta matriz ambiental y los límites se encuentran entre 0.011 mg/kg y 36,000 mg/kg (Li y Jennings, 2017).

En todo el mundo, se tienen al menos 122 límites máximos de concentración de glifosato en agua destinada al consumo humano. Éstos límites oscilan entre 0.0001 mg/L y 28 mg/L (Li y Jennings, 2017).

En México, no se cuenta con valores reglamentarios en suelos para ningún plaguicida y referente al agua para el consumo humano, se tienen 25 límites máximos permisibles (Li y Jennings, 2017; NOM-127-SSA1-2021).

La (NOM-127-SSA1-2021), establece las concentraciones máximas permisibles de 4 plaguicidas fosforados en agua destinada al uso y consumo humano, aunque ninguno de ellos corresponde al herbicida glifosato.

Referente a productos de origen animal, a través del Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria, se han establecido en México límites máximos de residuos, donde se establecen las concentraciones en hígado, riñón, músculos, grasa y orina; huevos, miel y leche de animales cuyos productos se destinan al consumo humano. Los límites permisibles abarcan diversos compuestos, como esteroides, antiinflamatorios y plaguicidas. En este último grupo, encontramos plaguicidas organoclorados y organofosforados, aunque el glifosato no está presente en ningún apartado (SENASICA, 2020).

2.5. Prohibición del glifosato

Desde el 2015, año en que la Agencia Internacional de Investigación sobre el Cáncer (IARC) de la OMS clasificó al glifosato como probable carcinógeno en humanos, numerosas naciones alrededor del mundo han restringido o prohibido el uso del herbicida (Kogevinas, 2018).

En 2015, el uso del herbicida glifosato fue prohibido en Sri Lanka a raíz de una investigación que relacionaba al agroquímico con una alta incidencia de enfermedades de riñón en el país, aunque en 2018 se permitió el uso exclusivo por las industrias del té durante un periodo de 3 años, esperando poder prohibirlo para el 2022 (Finanzas, 2018).

En 2015, en Colombia se suspendió el uso del glifosato para el control de cultivos ilícitos (BBC, 2015) y desde ese año, numerosas iniciativas se han propuesto para volver a utilizar el herbicida, aunque no se ha retomado su uso (Sedano, 2022).

En 2019, Austria prohibió el uso del glifosato en su territorio, aunque esta iniciativa fue declinada pocos meses después, hasta el 2021, año en que se prohibió el uso del herbicida en jardines privados y espacios públicos (DW, 2019; SWI, 2021).

En México, se decretó en el 2020 la prohibición del herbicida glifosato a partir del mes de enero del año 2024 (Alcántara, et al., 2021). En distintas zonas de Australia, Canadá, EEUU, Escocia, Eslovenia, España, Inglaterra, Malta, Nueva Zelanda y Suiza el glifosato está prohibido, mientras que en Bélgica, Dinamarca, Italia, Países bajos, Portugal y República Checa ya se han puesto barreras al herbicida (TV, 2021).

Pese a lo anterior, la prohibición del herbicida puede traer consigo un impacto social y económico importante en México, pues el cumplimiento del decreto antes mencionado podría agravar la crisis alimentaria actual, aumentando el costo de los alimentos (Alcántara, et al., 2021), como ocurre actualmente en Sri Lanka, país que enfrenta un récord de inflación por

el desplome en la producción de alimentos a raíz de la prohibición de las importaciones de fertilizantes y otros agroquímicos en el año 2015 (Agrofy News, 2022).

III. Caso de estudio

3.1. Zona de estudio

Históricamente, en el Valle de México se ha optado por desalojar el agua de origen pluvial de la Cuenca de México, iniciando en 1607 con la construcción del Túnel de Huehuetoca (Silva, 2019), obra que por temas de diseño se modificó hasta inaugurarse como el tajo de Nochistongo en 1789 (García, 2020).

Con el Interceptor Poniente, la Ciudad de México comenzó a evacuar su agua residual a la zona del Valle del Mezquital (***Figura 3.1***) con el fin de evitar inundaciones. Posteriormente, en 1898 con el Gran Canal y en 1975 a través del Emisor Central (Hernández, 2018), hasta la actualidad, con la inauguración del Túnel Emisor Oriente en 2019 (Animal Político, 2022).

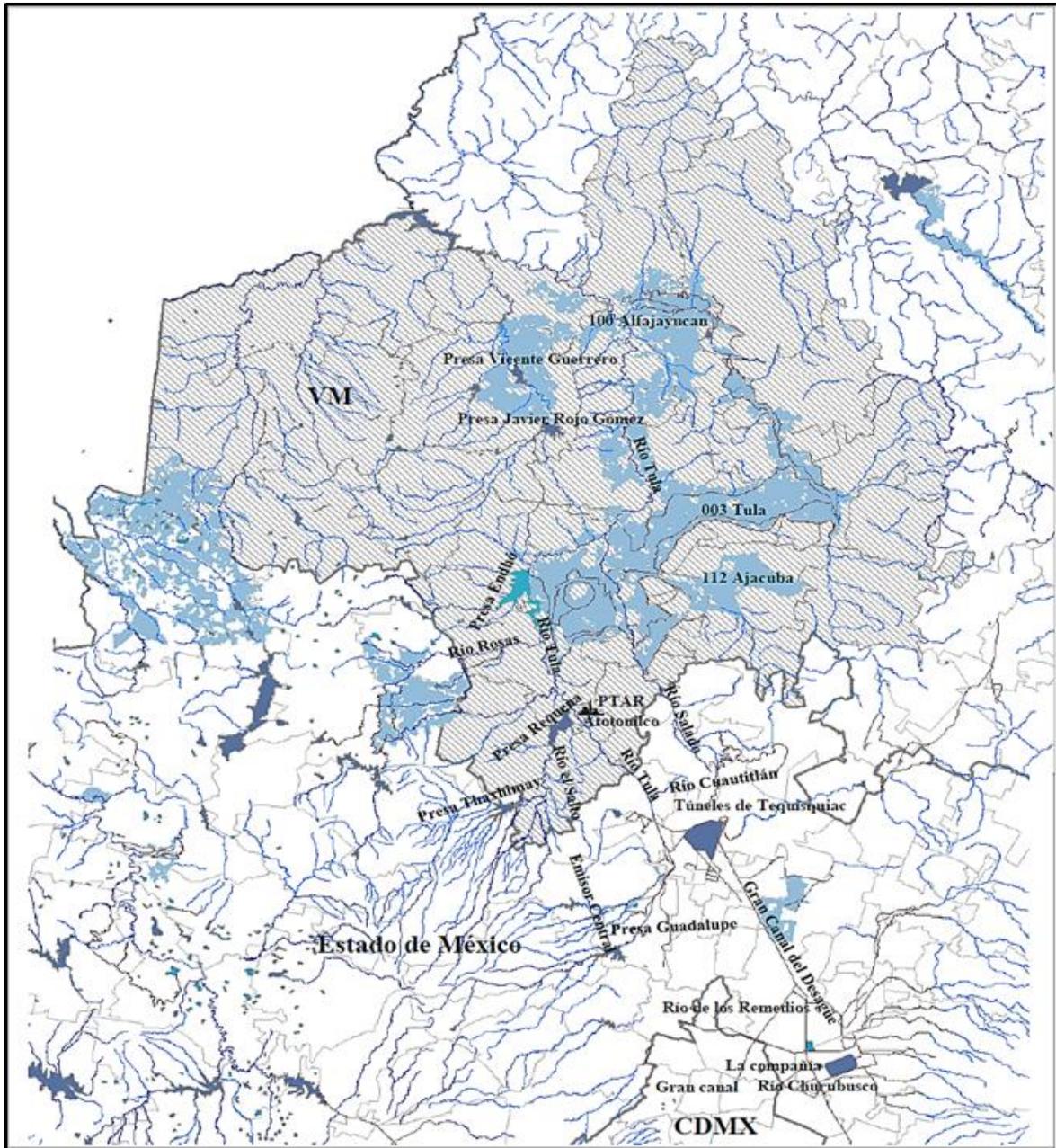


Figura 3.1: Valle del Mezquital (VM) (García, 2020)

El Valle del Mezquital (**Figura 3.1**) es una zona de baja precipitación pluvial y clima semidesértico. Se puede dividir en tres zonas con características propias: en el norte, se encuentra la zona conocida como el Alto Mezquital; contempla un área con clima templado (de mayor humedad y nivel de precipitación), vegetación boscosa y con suelos no aptos para la agricultura; la segunda es la zona centro del Valle del Mezquital, una extensión de tierra con vegetación xerófila y clima seco semicálido, con tierras utilizables para el pastoreo; la tercera zona (centro- sur), tiene un clima semiseco y abarca una franja desde el centro hasta

el suroeste. En esta área, la introducción de canales de riego ha impulsado la agricultura (Moreno, Garret y Fierro, 2006).

El Valle del Mezquital se compone principalmente de suelos jóvenes (poco desarrollados), pobres en materia orgánica y que en su mayoría no son aptos para la agricultura (Hernández, et al., 2019), aunque el aporte de nutrientes contenido en el agua residual que llega a la zona ha promovido la actividad agrícola, predominantemente en la zona centro del Valle del Mezquital (García, 2020).

La presa Endhó se localiza en el Valle del Mezquital y abarca parte de los municipios de Tepetitlán y Tula de Allende (Campos y Nieto, 2013). Inicialmente, la presa albergaba agua dulce del río Tula. Actualmente, la presa Endhó se alimenta de agua residual del Valle de México y del corredor industrial Cuautitlán-Tepeji-San Juan del Río (García y Fuente, 2021).

El agua residual proveniente del río Tula se distribuyen principalmente a los distritos de riego 003 Tula (*Figura 3.2*), 112 Ajacuba (*Figura 3.3*) y 100 Alfajayucan (*Figura 3.4*) con una superficie total aproximada de 80,000 ha a 100,000 ha (Cabrera, 2022; García, 2020; Milenio Hidalgo, 2010; Muñoz, 2014; Cuenca, 2010).

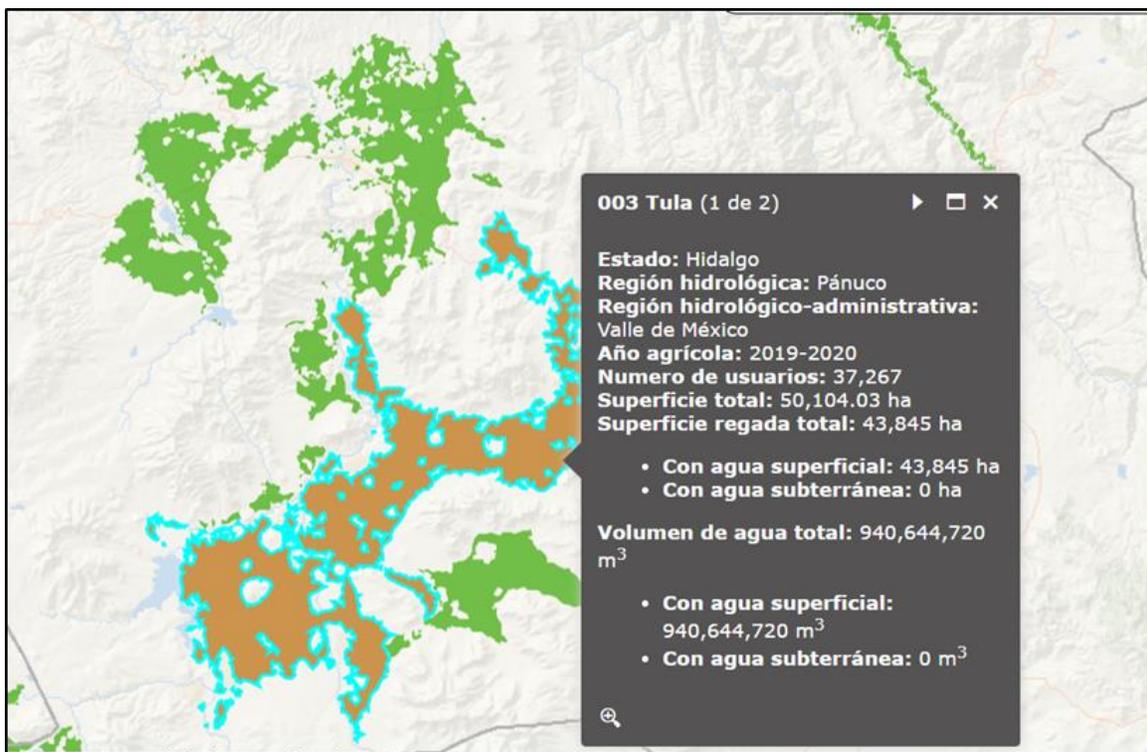


Figura 3.2: Distrito de riego 003 Tula, (CONAGUA, s. f.)

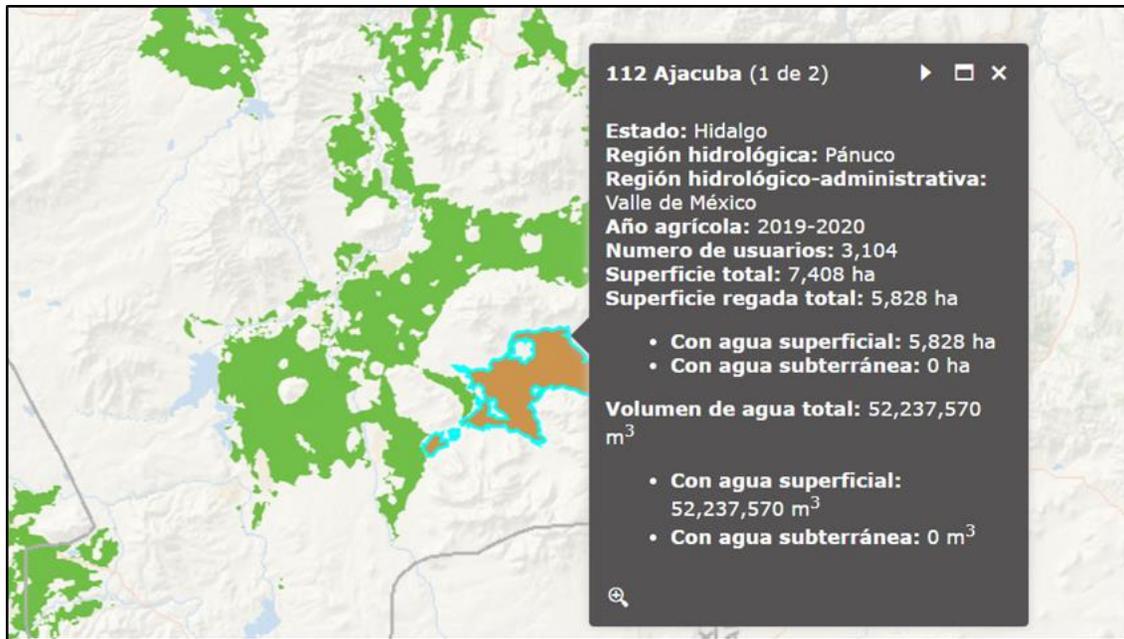


Figura 3.3: Distrito de riego 112 Ajacuba, (CONAGUA, s. f.)

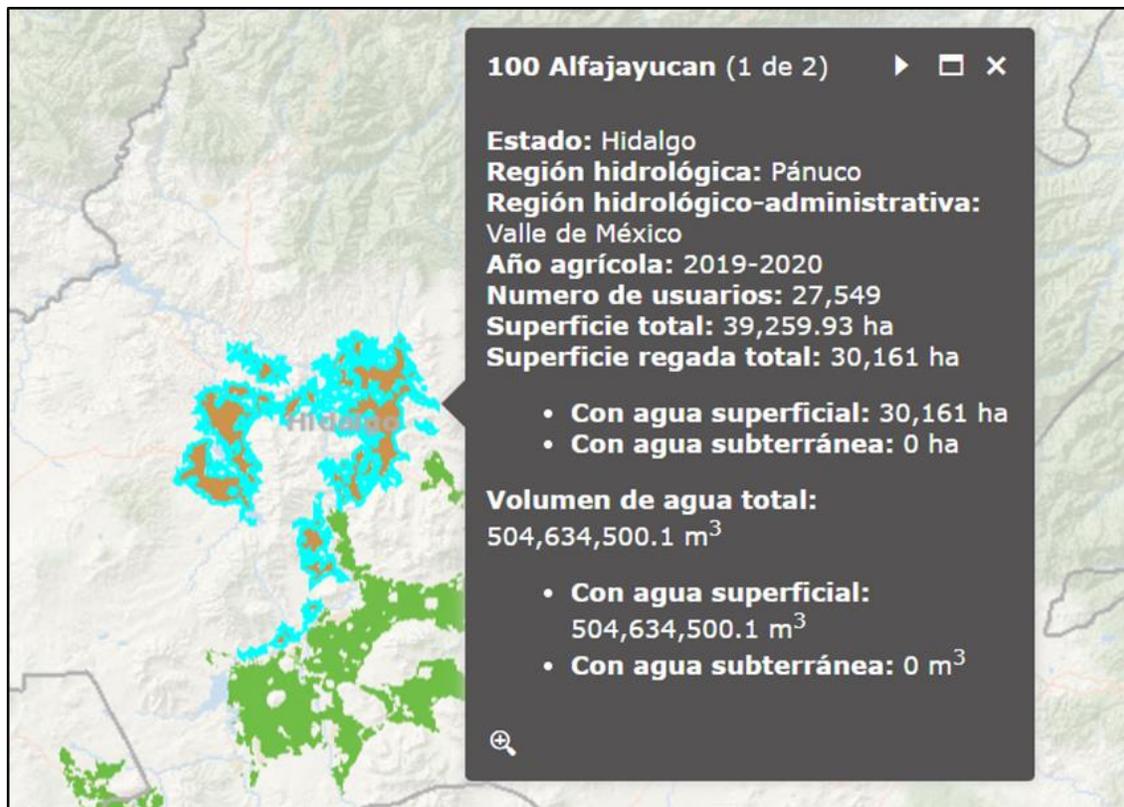


Figura 3.4: Distrito de riego 100 Alfajayucan (CONAGUA, s. f.)

En la región de Tula de Allende (municipio del estado de Hidalgo) en el que se localiza la Presa Endhó, se tienen estructuras montañosas y lomeríos, con altitudes que van de los 2100 msnm a los 2700 msnm. El valle formado por el río Tula divide la superficie montañosa y la llana (en la que se ubican los asentamientos humanos). La hidrología superficial se caracteriza por una presencia importante de ríos (*Figura 3.5*), aunque en su mayoría son de tipo intermitente (INECC, 2021).

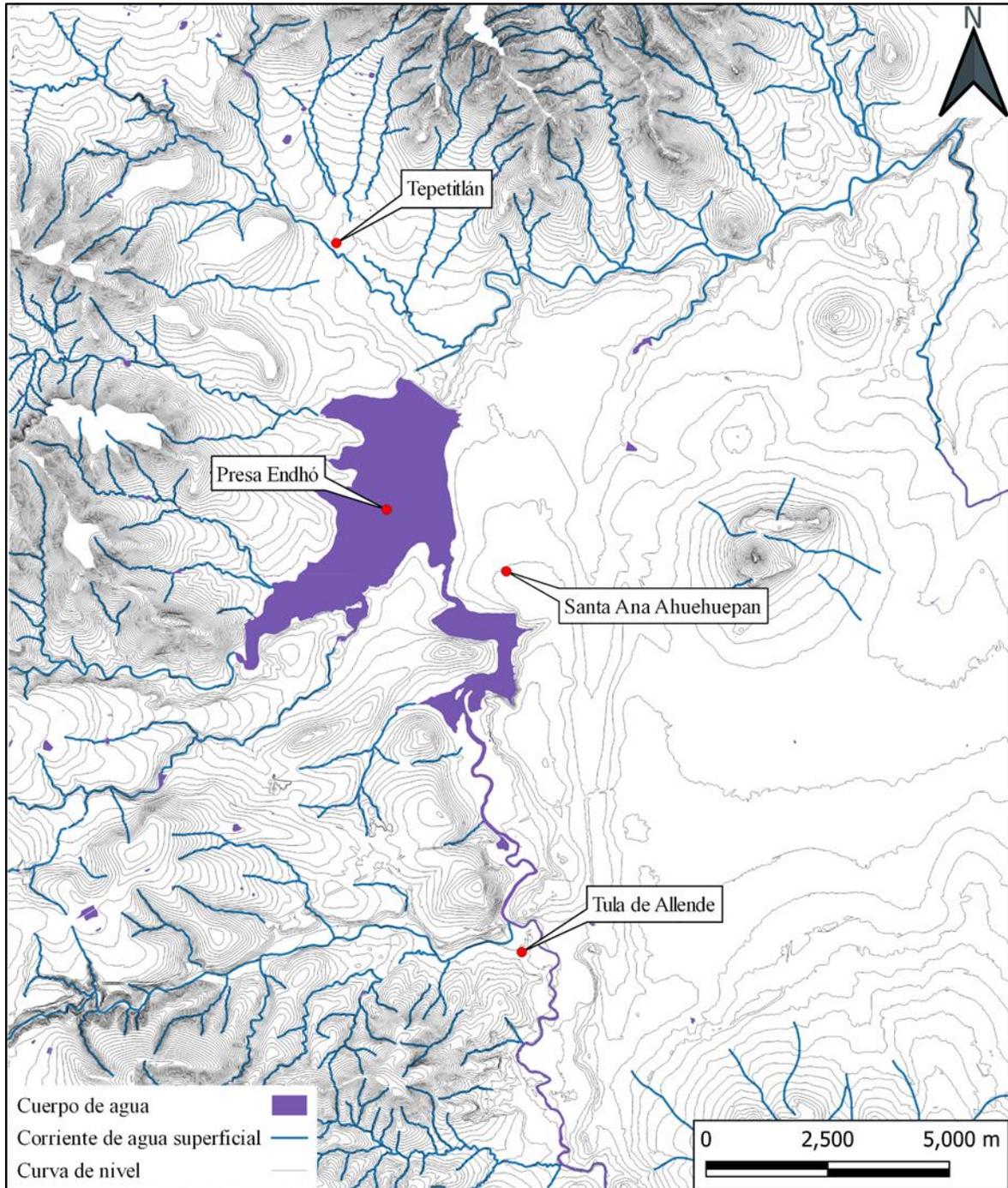


Figura 3.5: Corrientes superficiales en la zona aledaña a la presa Endhó

La precipitación histórica en el municipio de Tula de Allende es de 536 mm a 668 mm con un promedio de 626.2 mm de lluvia anual y un periodo de cuatro meses (de junio a septiembre) en el que se presentan las lluvias más intensas (INECC, 2021).

La dirección de flujo del agua subterránea en la zona aledaña a la presa Endhó se da predominantemente de sur a norte (*Figura 3.6*).

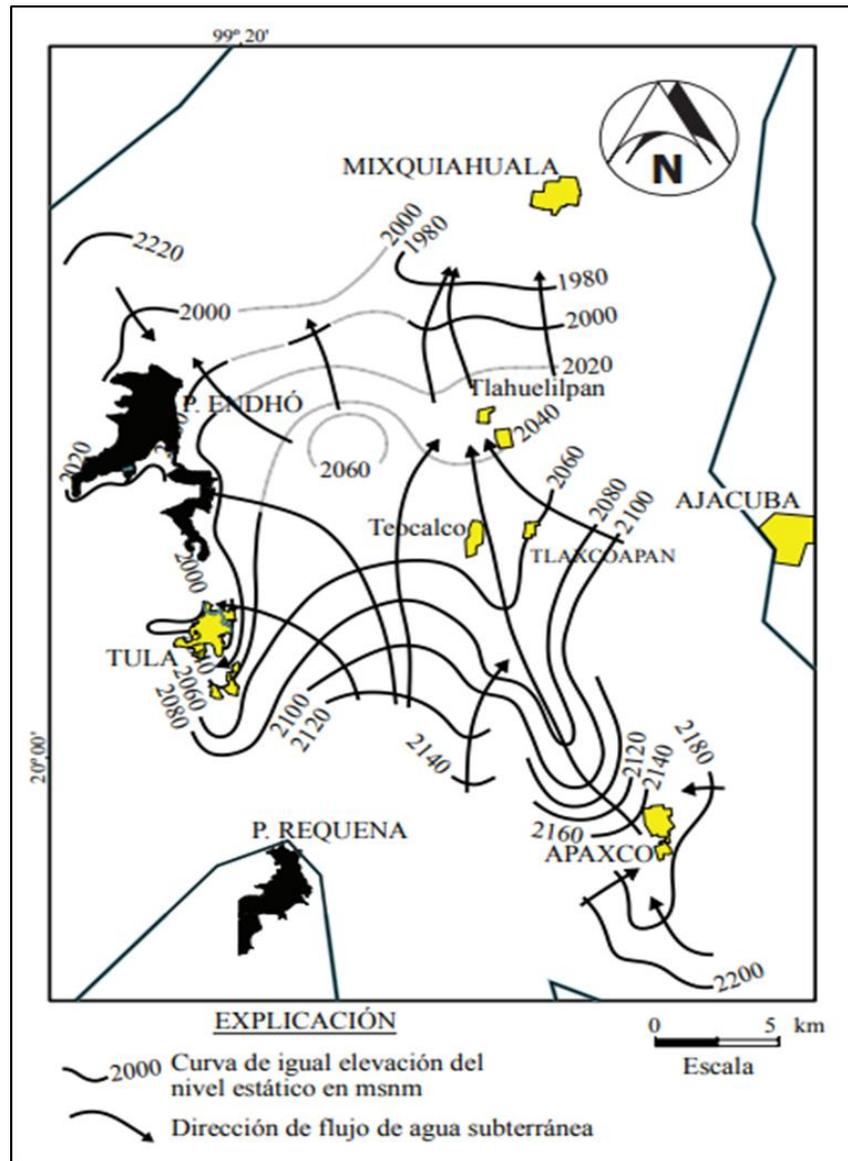


Figura 3.6: Dirección de flujo del agua subterránea en la zona aledaña a la presa Endhó (Lesser, et al., 2011)

En el Valle del Mezquital se encuentran al menos 456 aprovechamientos de agua subterránea (Lesser, et al., 2011). Los pozos y acueductos adyacentes a la presa Endhó se pueden observar en la *Figura 3.7*.



Figura 3.7: Pozos y acueductos aledaños a la presa Endhó

En el estado de Hidalgo, la agricultura se sostiene predominantemente por temporal (con un 75 % de la superficie sembrada), mientras que el restante 25 % corresponde a los cultivos mantenidos por riego. Pese a lo anterior, el 49 % de la producción en este sector es proporcionada por cultivos por riego y el 51 % complementario por temporal (SADER, 2011).

En la agricultura por temporal, los cultivos cíclicos que más se siembran son los de maíz, cebada, frijol y trigo, mientras que en los cultivos perennes por temporal generalmente se siembran pastos, café, cereza, nopal-tuna, naranja, maguey pulquero, manzana y durazno.

En la agricultura por riego, también predominan los cultivos de maíz, frijol, avena forrajera y trigo, aunque referente a cultivos perennes de manera general se trata de alfalfa, pastos, nuez y durazno (SAGARPA, 2017).

En el estado de Hidalgo, aproximadamente el 69 % de las unidades de producción rural se emplean para la siembra de maíz, el 10 % a la cebada y el resto a otros cultivos (SAGARPA, 2005).

En la **Figura 3.8**, se puede observar las zonas de cultivo y los canales que distribuyen el agua de riego en la zona aledaña a la presa Endhó.

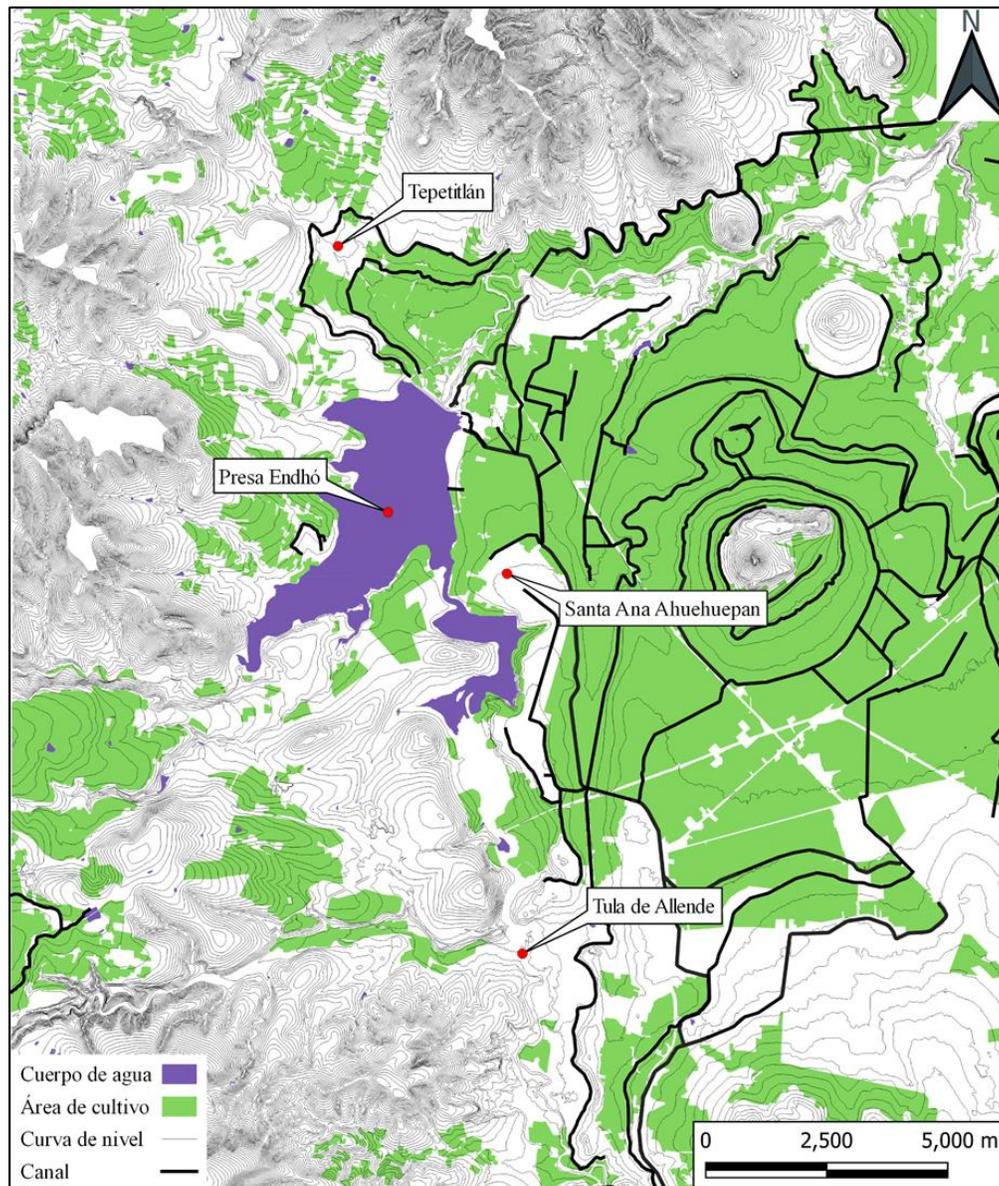


Figura 3.8: Área de cultivo y canales de distribución de agua para riego en la zona aledaña a la presa Endhó

3.2. Problemática

En el agua residual que alimenta las zonas agrícolas en el Valle del Mezquital, se ha detectado cianuro, fosfatos, nitratos, aceites, detergentes, fungicidas, insecticidas, herbicidas, hormonas y presencia de coliformes de origen fecal (Milenio Hidalgo, 2010; Guzmán, 2019).

En sistemas de riego del Valle del Mezquital, han sido identificados tolueno y xileno, utilizados como disolventes y agentes de limpieza en las industrias de la pintura, la impresión, el cuero y el caucho; cloroformo y 1,2-dicloroetano, utilizados ampliamente en la industria farmacéutica; tetracloroetileno, utilizado para la limpieza de metales; bis-2-(etilhexilo), ftalato de dietilo, ftalato de dimetilo y ftalato de dibutilo, utilizados comúnmente como plastificantes y como aditivos en cosméticos, plaguicidas, adhesivos, lubricantes y pinturas; fenol, cresol, isoforona y naftaleno, comúnmente utilizados en la industria textil, petroquímica y papelera; metformina, cafeína, naproxeno y lincomicina paracetamol, cafeína, ibuprofeno, naproxeno, teofilina y lincomicina (Lesser, et al., 2018).

A la contaminación de Tula y del Valle del Mezquital se le atribuye el desarrollo de hasta 33 tipos de cáncer y se ha detectado el incremento de casos en los últimos años (Román, 2021; Rivera, 2020). Se sabe que el agua de la presa Endhó ya ha contaminado parte de la red de abastecimiento de agua potable en esa zona (o al menos la de un pozo dedicado al uso y consumo humano). Lo que supone un riesgo para el suelo y sobre todo para la salud de los habitantes de la zona (Cuenca, 2010; Guzmán, 2019).

Para abordar la problemática antes descrita, la (OCDE, 2021), menciona la necesidad de generar un marco regulatorio eficiente tanto de plaguicidas como de otras sustancias tóxicas, ya que éste puede contribuir de manera positiva en el bienestar social, protegiendo la salud humana y la del medio ambiente. En concordancia con lo anterior, la misma organización hace énfasis en la recopilación de datos para el monitoreo tanto de alimentos como del medio ambiente, argumentando que es indispensable para responder de manera oportuna como para identificar el uso inapropiado de plaguicidas, para la generación del propio marco normativo y para asegurar el adecuado cumplimiento de éste.

IV. Propuesta una metodología de muestreo en suelo y agua en la zona agrícola aledaña a la presa Endhó

4.1. Generalidades del muestreo de plaguicidas

4.1.1 Recomendaciones generales para el muestreo de plaguicidas

El muestreo es una herramienta de la que hace uso la investigación científica para delimitar una parte de la población y hacer inferencias sobre ésta (USON, s. f.a). Para el muestreo en matrices ambientales con el fin de identificar plaguicidas, es recomendable considerar las características del agroquímico a evaluar y tener claro el propósito del muestreo. A continuación, se presentan algunas consideraciones para desarrollar una adecuada metodología (Mejías y Jerez, 2006):

1. Establecer objetivos del programa: se debe esclarecer y entender de manera adecuada la finalidad del proyecto de muestreo y el comportamiento del plaguicida que se quiere caracterizar. Esto ayuda a seleccionar los puntos de muestreo, la frecuencia del mismo y los métodos de análisis, entre otros.
2. Obtener información preliminar: obtener datos relevantes del sitio, como datos climatológicos, por ejemplo. Lo anterior, puede brindar una idea del comportamiento que tendrá el plaguicida se quiere estudiar en el sitio que se pretende caracterizar.
3. Definir el grado de precisión requerido: de esto dependerá el número de muestras y el tipo de éstas (simples, compuestas, en continuo o integradas).
4. Tipo de análisis requeridos: el conocimiento de los procedimientos en laboratorio puede repercutir en la toma de muestras y en el manejo de éstas.

4.1.2. Tipos de muestreo

De manera general, los tipos de muestreo se pueden dividir en dos grandes grupos, los probabilísticos y no probabilísticos (USON, s. f.a; Hernández y Carpio, 2019):

Muestreo probabilístico: se basan en el principio de equiprobabilidad y se espera que todos los miembros de una población tengan la misma probabilidad de ser elegidos. A continuación, se presentan algunos tipos:

1. Muestreo aleatorio simple: se asigna un número a cada individuo de la población y se eligen al azar a los individuos hasta completar la muestra.
2. Muestreo aleatorio sistemático: en este método, se debe enumerar todos los elementos de la población y la muestra se conformará de los elementos que ocupen los lugares $1, i+k, i+2k, i+3k, \dots, i+(n-1)k$, donde $k=N/n$, N el tamaño de la población y n el de la muestra.

3. Muestreo aleatorio estratificado: se obtiene la muestra dividiendo la población en subgrupos conformados con individuos que presentan una particularidad en común y en éstos se utiliza el muestreo aleatorio simple o sistemático (considerando como una población a cada estrato). Se puede llevar a cabo con una afijación simple, si los estratos cuentan con el mismo número de elementos o proporcional, si los estratos presentan diferencias en cuanto a su tamaño.
4. Muestreo aleatorio por conglomerados: este tipo de muestreo es útil cuando la población es muy grande y se encuentra dispersa. Para obtener la muestra se procede a clasificar a los individuos por conglomerados (por ejemplo, unidades hospitalarias o una caja de algún producto). Una vez formados los conglomerados, se toma uno de éstos de manera aleatoria y al azar se eligen individuos que componen a este grupo. Puede (al igual que en el caso del muestreo aleatorio estratificado), tomarse en cuenta la diferencia de tamaño de los conglomerados para lograr una muestra más representativa.

Muestreo no probabilístico: En estos tipos de muestreo se elige la muestra de acuerdo al juicio del investigador, procurando que la muestra sea representativa.

1. Muestreo por cuotas: se basa en proponer un número de individuos “cuota”, que cumplan con una determinada característica y elegir a los primeros que cumplan con esta característica. Por ejemplo, 20 individuos de entre 25 a 40 años, de sexo femenino que residan en la Ciudad de México.
2. Muestreo intencional, dirigido o de conveniencia: la muestra se compone de individuos que cumplan con las características que le sean relevantes al investigador.
3. Muestreo por redes (bola de nieve): se localizan a algunos individuos que conducen a otros hasta completar el tamaño de la muestra.

Cada tipo de muestreo, estocástico o no, presenta diversas características que facilitan la investigación científica, teniendo como objetivo la obtención de una muestra representativa que permita analizar el tema de estudio, considerando las particularidades de la población (León, 2018). Para el muestreo de plaguicidas, se recomienda el método de muestreo aleatorio simple (sin considerar patrones espaciales o temporales), muestreo sistemático (realizándose en base a un patrón espacial o temporal) y el dirigido o intencional (basado en la experiencia y el juicio de profesionales) (Mejías y Jerez, 2006).

4.1.2. Tipos de muestras

En el estudio de plaguicidas, se puede definir como “muestra” a una porción de matriz ambiental que permite determinar las características de ésta, algunos tipos de muestras se presentan a continuación (ITOXDEF, 2016; Mejías y Jerez, 2006):

1. Muestra simple: se obtiene en un punto y espacio determinado y se analiza individualmente.
2. Muestra compuesta: es el resultado de la mezcla de dos o más muestras simples en un mismo sitio en diferente tiempo.
3. Muestra integrada: se compone de muestras simples tomadas de forma simultánea en diferentes puntos lo más cerca posible.

4.2. Métodos de extracción del glifosato en muestras de agua y suelo

Una vez obtenida la muestra para la determinación de glifosato y AMPA en diferentes matrices ambientales, es necesario realizar procesos de extracción, limpieza y preconcentración para obtener resultados óptimos. Algunos tratamientos de muestras para el análisis se enlistan a continuación (Bohórquez, 2020):

1. Extracción con bases: para la extracción de glifosato en muestras de suelo, generalmente se hace uso de reacciones ácido-base, utilizando bases fuertes (KOH, NaOH), bases débiles (trietilamina, NH_3), sales básicas fuertes (KH_2PO_4) o ácidos débiles, pues el herbicida se liga a especies iónicas a través del grupo fosfonato.
2. Extracción en fase sólida: se ocupa con frecuencia para extraer glifosato por su rapidez y grado de selectividad. Extrae el analito, reteniendo con material absorbente en un cartucho.
3. Microextracción en fase sólida: método de adsorción y desorción usado generalmente en muestras líquidas. El analito se extrae empleando fibra de sílice fundida recubierta con material adsorbente dentro de una jeringa. Se provoca la desorción del analito por temperatura o a través de un disolvente.
4. Extracción líquido-líquido: usada para con el fin de separar componentes de una mezcla valiéndose de la diferencia entre sus solubilidades. Se usa con menor frecuencia para extraer glifosato en muestras de agua por la alta solubilidad del herbicida en esta matriz y debido a que requiere de grandes cantidades de solventes.
5. Derivatización: requiere convertir la estructura química del herbicida, añadiendo compuestos que reaccionen con un grupo específico de éste para formar un “derivado” que sea detectable por cromatografía de gases, cromatografía líquida u otro procedimiento.

4.3. Métodos analíticos instrumentales para la determinación de glifosato

El Glifosato es un compuesto que presenta alta polaridad y solubilidad en agua y baja volatilidad y solubilidad en solventes orgánicos (Bohórquez, 2020). Por lo anterior, es difícil detectar residuos de este herbicida (Bohórquez, 2020). Algunos de los métodos analíticos

instrumentales que permiten analizar niveles de concentración bajos del herbicida glifosato (según la misma autora), se presentan a continuación:

1. La cromatografía de gases (GC): pese a que no se ocupa de manera regular para detectar este herbicida por la alta polaridad, puede ser empleado para su determinación si se deriva para inhabilitados sus grupos polares, convirtiéndolo en un derivado volátil.
2. Cromatografía líquida de alta eficiencia (HPLC): por sus características, es un método ampliamente utilizado para analizar compuestos polares. La cromatografía líquida (LC) es la técnica más adecuada para determinar glifosato en muestras de agua y presenta múltiples variantes, como la cromatografía líquida acoplada a espectrometría de masas (LC-MS/MS), cromatografía líquida con ionización por electrospray y detección de masas tándem (LC-ESI/MS/MS), cromatografía líquida de alta eficiencia con espectrometría de masas con plasma acoplado inductivamente (HPLC-ICP-MS/MS), cromatografía líquida de alto rendimiento con detector de arreglo de diodos (DAD/HPLC) .
3. Cromatografía iónica (IC): útil para la determinación de compuestos iónicos como el glifosato. Puede ser utilizada para la detección del agroquímico utilizando una columna de intercambio aniónico y elución con un tampón alcalino.
4. Ensayo inmunoabsorbente ligado a enzimas (ELISA): es comúnmente usado para el análisis de plaguicidas. Utiliza una enzima para medir la formación de complejos antígeno-anticuerpo con el fin de detectar el analito.
5. Algunas otras técnicas empleadas para la determinación de glifosato son la electroforesis capilar (CE), electroforesis de microchips, resonancia magnética nuclear (RMN) y espectroscopia Raman.

4.4. Muestreo y resultados en la etapa preliminar del proyecto

En la etapa de reconocimiento del sitio de estudio en el Valle del Mezquital, con el apoyo del secretario general Petronilo Ponce Santiago del Consejo Ciudadano Democrático Indigenista, A.C, se logró ingresar a la zona y obtener muestras de agua y suelo en la comunidad de Santa Ana Ahuehuepan, perteneciente al municipio de Tula de Allende.

Los puntos de muestreo en agua (1 y 2) y suelo (3) se muestran en la **Figura 4.1** y sus coordenadas se presentan en la **Tabla 4.1**. Las muestras de suelo se obtuvieron con una pala redonda y a una profundidad no mayor a 10 cm y las de agua con el empleo de la botella de Van Dorn (**Figura 4.2**).

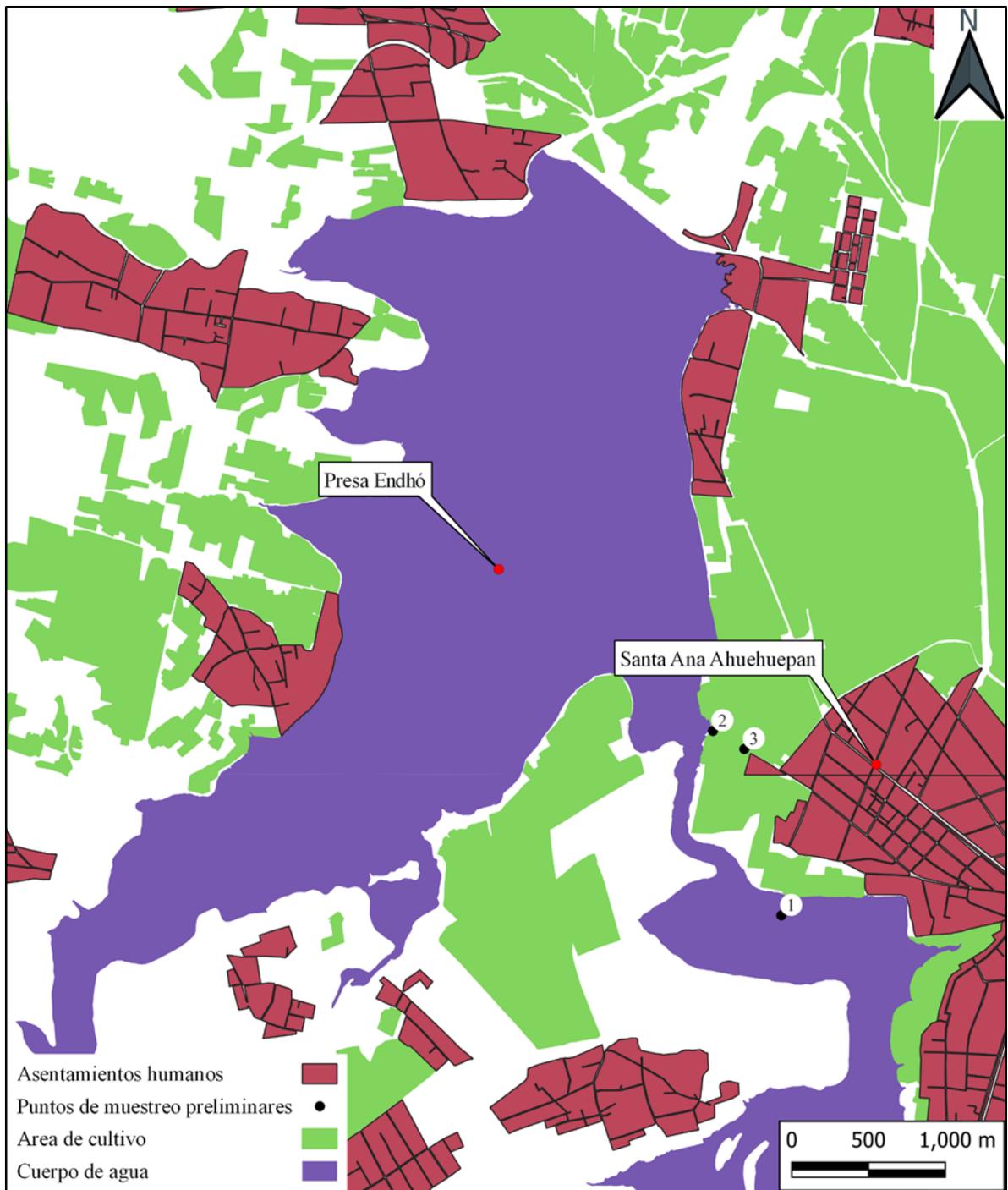


Figura 4.1: Puntos de muestreo visitados en la etapa de reconocimiento del sitio

Tabla 4.1: Coordenadas en grados decimales de los puntos de muestreo aledaños a la presa Endhó en suelo (Sitio 3) y agua (Sitio 1 y 2) en la visita de reconocimiento

Sitio	Grados decimales	
	Latitud	Longitud
1	20.11675	-99.35260
2	20.12759	-99.35689
3	20.12653	-99.35493



Figura 4.2: Toma de muestras con la botella de Van Dorn

En los sitios (1 y 2), en muestras de agua, se obtuvieron resultados cualitativos que indican la presencia de glifosato y su metabolito AMPA (Reporte técnico PAPIIT IN107622).

Es preciso aclarar que los análisis de las muestras de suelo no fueron concluidos en el periodo de elaboración del presente documento, por lo que se desarrollará el mismo tomando en cuenta sólo los sitios en los que se evaluaron las muestras de agua.

4.5. Propuesta de metodología de muestreo

4.5.1 Objetivos del muestreo

1. Generar una propuesta de muestreo para la identificación de glifosato en muestras de agua y suelo en la zona agrícola aledaña a la presa Endhó (y de los canales que la alimentan y a los que abastece) ubicada en el Valle del Mezquital, Hidalgo, México, considerando la normativa mexicana, información de campo y técnicas de percepción remota.
2. Analizar las muestras de agua del Valle del Mezquital para determinar glifosato y su metabolito AMPA, considerando el método de derivatización y la técnica analítica de cromatografía líquida de alta resolución (HPLC) y detección con detector de fluorescencia (FLD).

4.5.3. Delimitación de las áreas de interés de muestreo

Para la delimitación del área de muestreo, se tomarán en cuenta los puntos de muestreo en suelo (3) y en agua (1 y 2) visitados en la etapa de reconocimiento del lugar con el fin de validar la técnica analítica (**Figura 4.1**).

4.5.4. Tipo de muestreo

Para el muestreo en canales y pozos, dado que son estructuras existentes, se desarrollará una propuesta de muestreo dirigido o intencional.

El muestreo en suelo y en el cuerpo de agua de la presa, se hará siguiendo el principio de equiprobabilidad. Se propondrá un muestreo sistemático tomando en cuenta las recomendaciones de (Mejías y Jerez, 2006).

4.5.5. Muestreo en agua

Número de puntos de muestreo, distribución y localización

Muestreo en pozos

En pozos, dado que se trata de infraestructura dedicada a el abastecimiento de agua potable, el muestreo y análisis de muestras se debe llevar a cabo de acuerdo a las normas (NOM-230-SSA1-2002), (que aborda los requisitos sanitarios que deben cumplir los sistemas de abastecimiento de agua potable y brinda información acerca del muestreo en éstos) y la (NOM-127-SSA1-2021), (que establece procedimientos para potabilizar agua y los límites máximos permisibles de contaminantes en ésta).

Para el muestreo en pozos, conocida la dirección del flujo del agua subterránea (*Figura 3.6*) y considerando los asentamientos aledaños a la presa Endhó (*Figura 4.3*) con la intención de evaluar el riesgo a la salud humana, se propone el muestreo dirigido o intencional en el pozo 20 (*Figura 4.3*) por su cercanía con los puntos de muestreo preliminares y se recomienda tomar en cuenta los pozos 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 44 y 45 (cuyas coordenadas se concentran en la *Tabla 4.2*) para la evaluación de riesgos a la salud por posible lixiviación del herbicida. Se sugiere elegir a los que brinden mejor representatividad y la cantidad de éstos que mejor se ajuste a las limitaciones del proyecto (presupuesto, tiempo, accesibilidad, etc.).

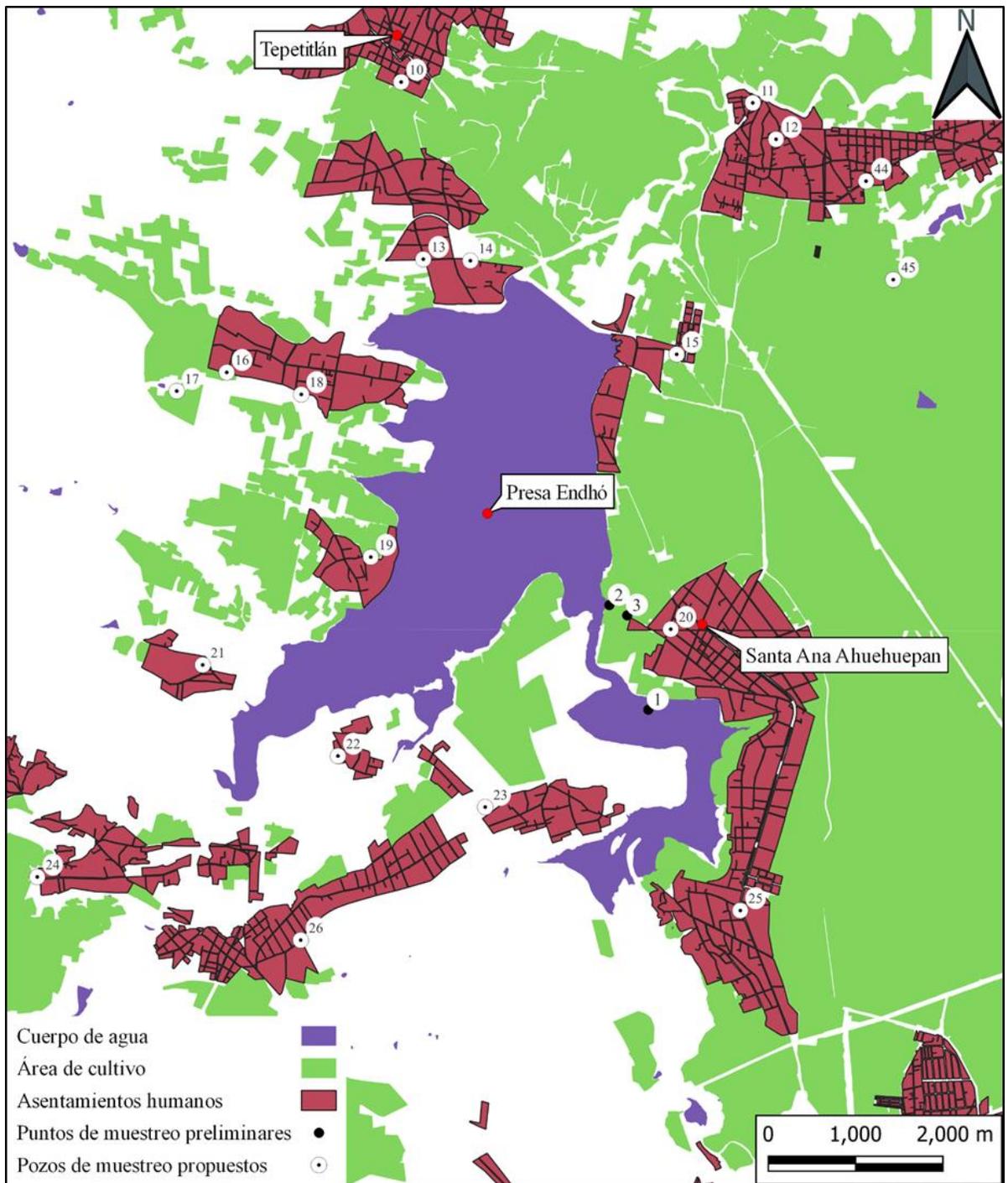


Figura 4.3: Ubicación de los pozos dedicados al abastecimiento de agua potable cercanos a la presa Endhó

Tabla 4.2: Coordenadas en grados decimales de los pozos dedicados al abastecimiento público de agua potable en la zona aledaña a la presa Endhó

Pozo	Grados decimales	
	Latitud	Longitud
10	20.18178	-99.37983
11	20.17969	-99.34128
12	20.17593	-99.33872
13	20.16341	-99.37736
14	20.16326	-99.37219
15	20.15360	-99.34956
16	20.15163	-99.39887
17	20.14967	-99.40435
18	20.14936	-99.39069
19	20.13251	-99.38304
20	20.12510	-99.35015
21	20.12129	-99.40143
22	20.11188	-99.38658
23	20.10662	-99.37043
24	20.09926	-99.41950
25	20.09595	-99.34247
26	20.09278	-99.39062
44	20.17160	-99.32884
45	20.16139	-99.32584

Profundidad del muestreo

En pozos sin llave o válvula, cuando se deba usar una extensión de brazo o cordel para alcanzar el espejo de agua para obtener la muestra, se debe introducir el frasco en el agua de 15 a 30 cm (NOM-230-SSA1-2002).

Tipo de muestras

La (NOM-230-SSA1-2002), recomienda la obtención de muestras simples.

Medición de parámetros en campo

En pozos, la (NOM-230-SSA1-2002), propone la determinación de pH, temperatura y cloro residual.

Provisiones y equipo de muestreo

La (NOM-230-SSA1-2002), sugiere contemplar el uso del siguiente equipo y demás provisiones:

1. Termómetro.
2. Comparador visual para determinar o Potenciómetro portátil.
3. Comparador visual para o Colorímetro portátil para determinar cloro residual.
4. Hielera con tapa.
5. Refrigerantes.
6. Agua destilada.
7. Solución de hipoclorito a una concentración de 100 mg/L.
8. Gasas de algodón estériles.
9. Equipos muestreadores comerciales.

Medidas para asegurar la calidad del muestreo

El agua a analizar debe provenir directamente del sistema de distribución. Si el pozo cuenta con llave o válvula, se deberá obtener la muestra de estos accesorios (limpiándolos en caso de ser necesario con una solución de hipoclorito de sodio y gasas estériles), dejando salir el agua durante 3 minutos para asegurarse que el agua en las tuberías sea renovada y reducir el flujo para llenar el recipiente donde se transportará la muestra; si el pozo no cuenta con llave o válvula y la muestra debe tomarse con una extensión de brazo o un cordel (limpio), se debe evitar tocar las paredes del pozo y apoyarse de un sobrepeso para evitar el balanceo del recipiente. En caso de requerirse, se puede recurrir a un sistema de muestreo comercial (NOM-230-SSA1-2002).

Referente al manejo de muestras provenientes de pozos, éstas deben transportarse en hieleras a una temperatura de 4 °C a 10 °C y realizar los análisis correspondientes en los próximos 40 días (tiempo máximo de almacenamiento) (NOM-230-SSA1-2002).

Para la identificación de las muestras, la (NOM-230-SSA1-2002) sugiere que los frascos y envases se etiquetan con la siguiente información:

1. Número de control de la muestra.
2. Fecha y hora de muestreo.

Referente al control de las muestras, la (NOM-230-SSA1-2002) indica que debe llevarse un registro (de todas las muestras) que contenga los siguientes datos:

1. Número de control de la muestra.
2. Fecha y hora de muestreo.
3. Identificación del punto de muestreo.
4. Temperatura del agua.

5. pH.
6. Cloro residual libre.
7. Tipo de análisis a efectuar.
8. En su caso, el reactivo empleado para la preservación.
9. Observaciones.
10. Nombre de la persona que realizó el muestreo.

Tipos de recipientes y volumen de las muestras

La (NOM-230-SSA1-2002) recomienda el empleo de envases de vidrio (color ámbar o transparente cubierto de papel aluminio) y con tapa de teflón (PTFE), con una capacidad de 1000 mL. Referente al volumen de la muestra, la misma norma recomienda el llenado de los recipientes hasta el 90 % (muestra de 900 mL).

Plan de seguridad del operario

En muestreo de pozos, se recomienda el uso de cubre bocas y guantes de nitrilo (NOM-230-SSA1-2002).

Muestreo en el cuerpo de agua de la presa Endhó:

Referente al muestreo en cuerpos receptores catalogados como embalses (vaso de formación artificial a raíz de la construcción de una cortina o bordo, según la (NOM-001-SEMARNAT-1996)) no se encontró ninguna NOM vigente que especifique el tipo de muestreo ni recomendaciones sobre el número de muestras a considerar para llevar a cabo el análisis de plaguicidas u otro contaminante. Sin embargo, la normativa mexicana pone a disposición la (NMX-AA-014-1980) (de carácter no oficial ni obligatorio y enfocada en cuerpos receptores susceptibles a recibir descargas de agua residual), que canceló en el año 1980 a la NOM-AA-14-1975 (SINEC, s. f. a). Ésta última con temas similares en su contenido. Por lo anterior, se tomará en cuenta la NMX-AA-014-1980.

La (NMX-AA-014-1980) menciona que con el fin de identificar la variación de contaminantes en las distintas partes del cuerpo receptor, se deberá muestrear aguas arriba de la descarga, en la descarga misma, aguas abajo de la descarga (en un punto en el que se considere que haya una mezcla uniforme), en los afluentes (antes de desembocar en el cuerpo receptor), dentro del cuerpo receptor (donde se mezclen los afluentes) y en las salidas de éste.

Para la obtención de puntos de muestreo en el cuerpo de la presa Endhó, considerando las limitaciones propias del proyecto referente a presupuesto y tiempo, se planteó un número contenido de muestras. En este caso una cantidad de puntos cercano a los obtenidos en el muestreo en suelo (pese a que el área que ocupa la presa es muy superior a la de la zona de muestreo propuesta en suelo), ya que no se encontró ninguna NOM o NMX que brinde un método para determinar esta cantidad en cuerpos receptores para el análisis de plaguicidas.

Considerando lo antes planteado, se optó por un muestreo sistemático en base a un patrón espacial para garantizar la cobertura del área y con el fin obtener información sobre el comportamiento del herbicida en el vaso de la presa. Los sitios de muestreo se obtuvieron a través una retícula de puntos equidistantes separados por una longitud de 750 m, delimitando el área desde la zona sur de la presa hasta la parte norte, de izquierda a derecha, eligiendo los 21 puntos que coincidieron con el área que ocupa el espejo de agua (*Figura 4.4*). Las coordenadas de los puntos propuestos se encuentran en la *Tabla 4.3*.

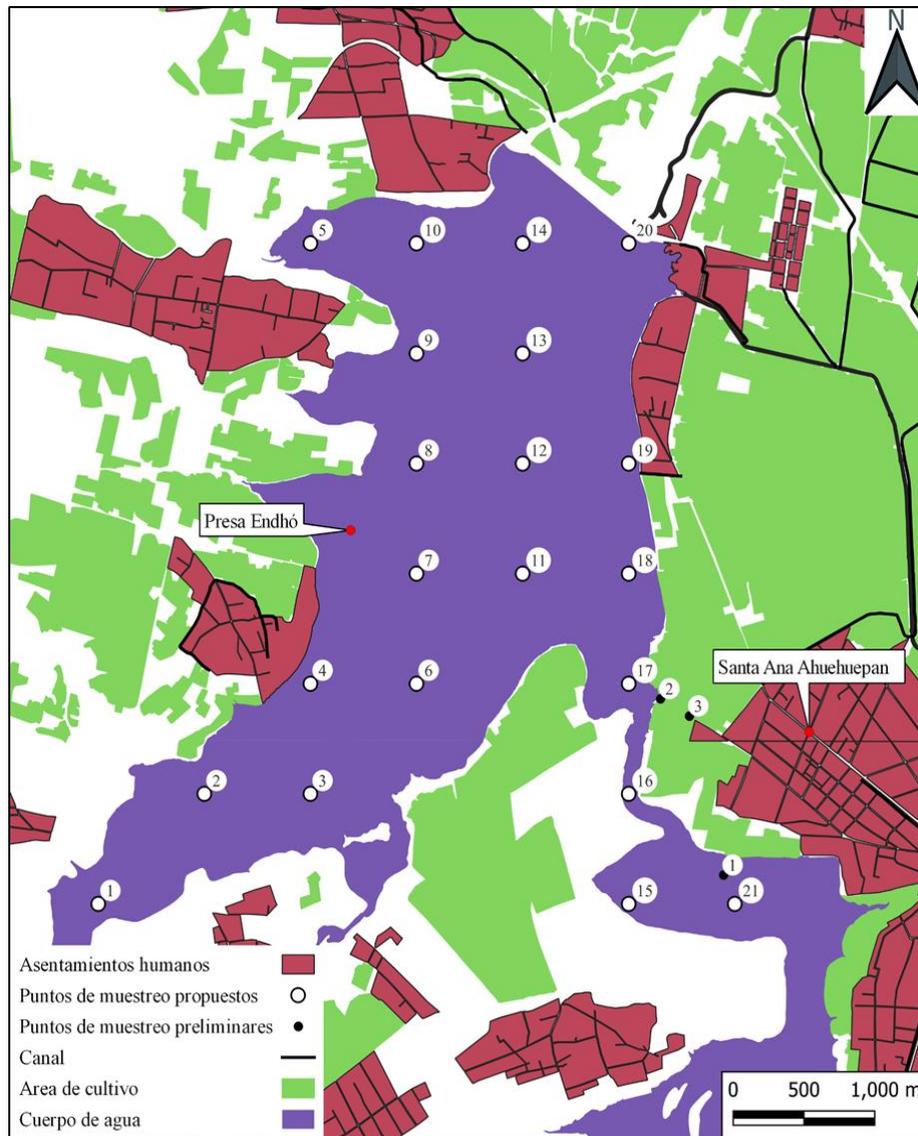


Figura 4.4: Ubicación de los puntos de muestreo propuestos en el cuerpo de agua de la presa Endhó

Tabla 4.3: Coordenadas en grados decimales de los puntos de muestreo propuestos en el cuerpo de agua de la presa Endhó

Punto	Grados decimales	
	Latitud	Longitud
1	20.11488	-99.39489
2	20.12167	-99.38773
3	20.12168	-99.38055
4	20.12846	-99.38057
5	20.15557	-99.38064
6	20.12848	-99.37339
7	20.13525	-99.37341
8	20.14203	-99.37343
9	20.14881	-99.37344
10	20.15559	-99.37346
11	20.13527	-99.36624
12	20.14205	-99.36625
13	20.14882	-99.36627
14	20.15559	-99.36628
15	20.11495	-99.35901
16	20.12173	-99.35903
17	20.12851	-99.35904
18	20.13528	-99.35906
19	20.14206	-99.35907
20	20.15562	-99.35911
21	20.11497	-99.35184

Profundidad del muestreo

La (NMX-AA-014-1980), menciona que en el caso de cuerpos receptores, las muestras pueden ser tomadas en la parte superficial, a una profundidad media o en la parte inferior de la columna de agua. (Mejías y Jerez, 2006), indican que en el caso de cuerpos de agua “estáticos”, se deberán tomar muestras en distintas profundidades por cambios en la densidad, temperatura y por variaciones en la concentración de plaguicidas y sus metabolitos por la influencia de los sedimentos de fondo en la disolución, desorción o precipitación de estos compuestos. Los mismos autores sugieren la utilización de muestreadores en serie, de tal forma que se extraigan las muestras simultáneamente.

En cuerpos de agua, la degradación del glifosato es considerablemente más lenta en los sedimentos que disuelto en el agua (Zirena, et al., 2018), por lo que se recomienda

muestrear los sedimentos de fondo si la profundidad y demás características del sitio lo permiten.

Tomando en cuenta las recomendaciones antes expuestas, se propone la toma de muestras simples tomadas a diferentes profundidades (por debajo del espejo de agua, en la parte media del tirante de agua y cerca del fondo).

Tipo de muestras

La (NMX-AA-014-1980), para la obtención de muestras en cuerpos de agua, sugiere el uso de muestreadores automáticos (muestras simples) y (Mejías y Jerez, 2006) de muestreadores en serie (muestras integradas a diferentes profundidades), aunque el empleo de estos equipos está sujeto a el presupuesto del proyecto. Por lo anterior, se recomienda el uso de la botella de Van Dorn (*Figura 4.2*) para la toma de muestras a diferentes profundidades y si el proyecto permite, cualquiera de los otros dos métodos.

Medición de parámetros en campo

La (NMX-AA-014-1980) sugiere la obtención de los siguientes parámetros:

1. Temperatura ambiental.
2. Temperatura del agua.
3. pH.

Adicional a lo anterior, (Leyva, Espinoza y Barreto, 2010) recomiendan la medición de conductividad eléctrica y de oxígeno disuelto con equipo multiparamétrico.

Provisiones y equipo de muestreo

(Mejías y Jerez, 2006) y (Leyva, Espinoza y Barreto, 2010), recomiendan el empleo de los siguientes materiales y equipos para obtener muestras en cuerpos de agua:

1. Botellas de 1000 mL de vidrio color ámbar o de teflón y tapas de este último material.
2. Agua destilada.
3. Etiquetas a prueba de agua.
4. Marcador indeleble.
5. Hielera.
6. Preservantes.
7. Equipo multiparamétrico.
8. Muestreadores en serie.
9. GPS.
10. Cámara digital.

La (NMX-AA-014-1980), permite el empleo de muestreadores automáticos (siempre que se operen de acuerdo con las recomendaciones del fabricante). Para ingresar a la zona de estudio, es necesario contemplar el uso de un vehículo acuático.

Medidas para asegurar la calidad del muestreo

Según la (NMX-AA-014-1980), se debe emplear etiquetas pegadas o colgadas con la siguiente información:

1. Cuerpo receptor en estudio.
2. Nombre de la estación de muestreo.
3. Identificación de la descarga.
4. Número de la muestra.
5. Fecha y hora de muestreo.
6. Nombre y firma de la persona que llevó a cabo el muestreo.
7. Análisis a efectuar.

Además de lo anterior, se debe elaborar una hoja de registro con información que haga posible identificar el origen de cada muestra, los datos tomados en campo, así como los necesarios para repetir el muestreo (NMX-AA-014-1980; Leyva, Espinoza y Barreto, 2010).

Las muestras deben mantenerse a una temperatura de 2°C a 5°C (NMX-AA-014-1980; Mejías y Jerez, 2006).

Tipos de recipientes y volumen de las muestras

La (NMX-AA-014-1980), recomienda el uso de recipientes fabricados con materiales inertes con capacidad de 2000 mL y tapas que logren un cierre hermético. Para el muestreo en cuerpos de agua, en consonancia con la norma (NOM-230-SSA1-2002) (utilizada para el muestreo de pozos), se sugiere el uso de botellas de vidrio color ámbar o transparentes recubiertas con papel aluminio de 1000 mL de capacidad y 900 mL de volumen de muestra.

Plan de seguridad del operario

Durante la toma de muestras (Mejías y Jerez, 2006; Leyva, Espinoza y Barreto, 2010), sugieren el siguiente EPP y demás aditamentos para minimizar el riesgo durante la toma de muestras:

1. Chaleco salvavidas.
2. Salvavidas.
3. Reporte de clima.
4. Linterna con baterías.
5. Guantes de trabajo y de nitrilo.
6. Bote, remos y motor fuera de borda.
7. Mascarilla.

Muestreo en corrientes superficiales

Para el muestreo de corrientes superficiales que contengan agua residual, no se encontró ninguna NOM vigente que brinde recomendaciones acerca del tipo de muestras, número de puntos de muestreo o recomendaciones durante la ejecución de la metodología de muestreo en ningún tipo de corriente (artificial o natural). Ya que la NOM que lo hacía (NOM-AA-3-1975), fue sustituida por la NMX-AA-003-1980 (Norma Mexicana (NMX) de carácter no oficial ni de aplicación obligatoria que brinda recomendaciones de muestreo para agua residual) en 1980 (SINEC, s. f. b). Además de las normas antes citadas, se cuenta con la (NOM-001-SEMARNAT-2021), que contiene los límites máximos permisibles de contaminantes en descargas de agua residual en cuerpos receptores, aunque está dedicada a las descargas residuales industriales y domésticas, por lo que no contempla la presencia de ningún plaguicida.

Considerando lo anterior, se optó por el uso de la NMX-AA-003-1980 (pese a que en el DOF ya está publicado el PROY-NMX-AA-003-SCFI-2019, que planea sustituir a la norma vigente) (SINEC, s. f. c).

De acuerdo con lo sugerido por la (NMX-AA-014-1980) referente al muestreo en cuerpos receptores y considerando la ubicación del área de muestreo en suelo propuesta en la **Figura 4.6**, se propone el muestreo dirigido o intencional en la corriente principal que alimenta a la presa (Entrada), en los canales que alimentan a la zona agrícola cercana a los sitios de muestreo preliminares (Canal 1 y Canal 2), en uno de los canales tributarios identificados (Canal tributario), en el canal que conduce el agua de la obra de excedencias (Salida 1), en el de la obra de toma (Salida 2) y en la corriente natural de salida en el sur de la presa (Salida 3) señalados en la **Figura 4.5** y con coordenadas indicadas en la **Tabla 4.4**.

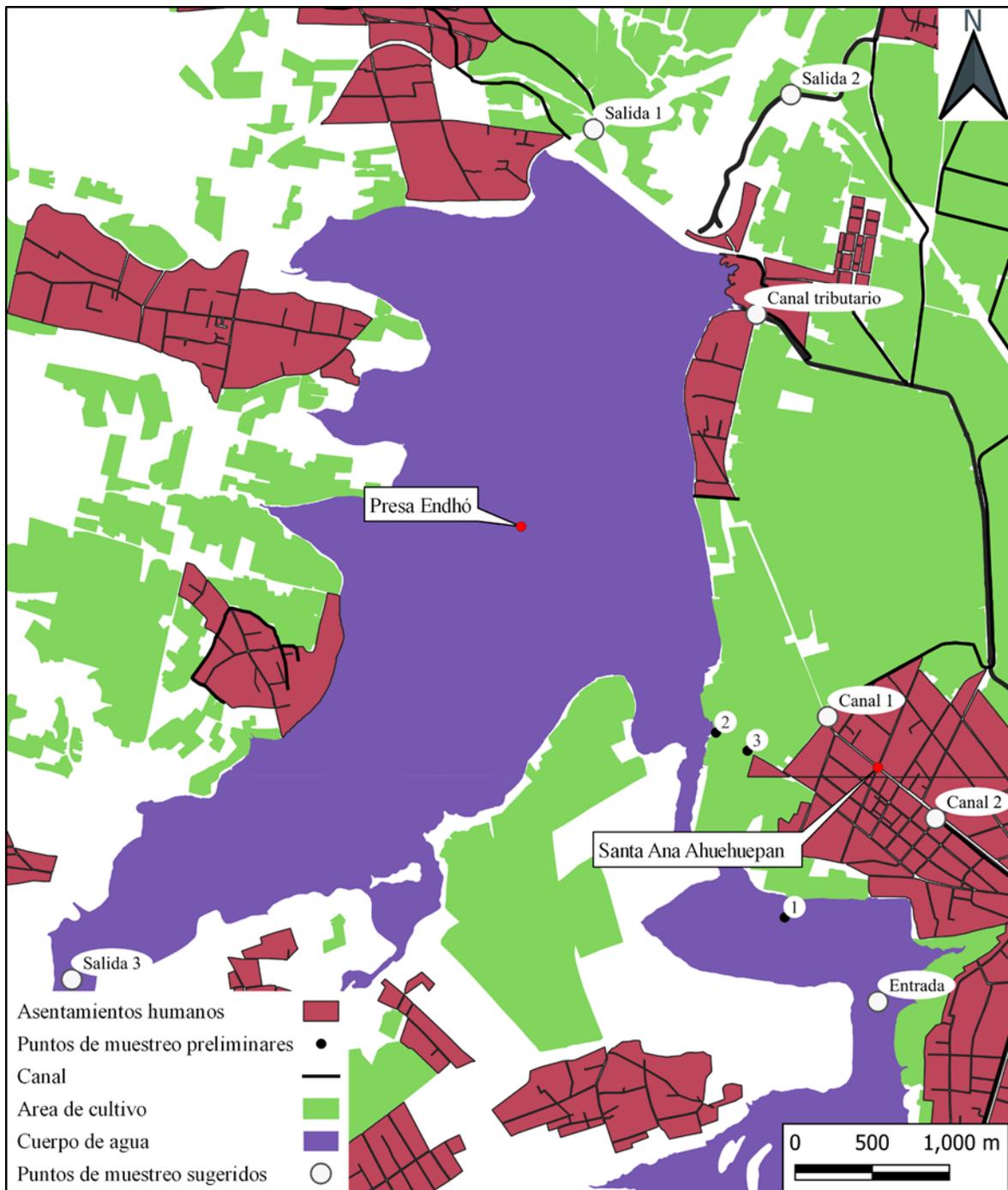


Figura 4.5: Ubicación de los puntos de muestreo propuestos en los canales y corrientes tributarias de la presa Endhó y en los que alimenta ésta

Tabla 4.4: Coordenadas en grados decimales de los puntos de muestreo propuestos en los canales y corrientes tributarias principales que alimentan y demandan agua del cuerpo de la presa Endhó

Punto	Grados decimales	
	Latitud	Longitud
Canal Tributario	20.15215	-99.35443
Entrada	20.11182	-99.34680
Salida 1	20.16298	-99.36456
Salida 2	20.16504	-99.35233
Salida 3	20.11301	-99.39683

Profundidad del muestreo

(Mejías y Jerez, 2006), mencionan que para el análisis de plaguicidas en corrientes de agua superficiales, es recomendable tomar la muestra a una profundidad media (entre el fondo del lecho y el espejo de agua) para prevenir la contaminación de la muestra.

Tipo de muestras

Para analizar plaguicidas en corrientes superficiales, se recomienda el empleo de muestras simples o compuestas (mezclando de tres a cuatro muestras simples tomadas en lo ancho de la corriente a la misma profundidad) (Mejías y Jerez, 2006). Dado que la (NMX-AA-003-1980) también sugiere el empleo de muestras compuestas, se propone la recolección de este tipo.

Medición de parámetros en campo

La (NMX-AA-003-1980), sólo sugiere la toma de la temperatura del agua, por lo que se recomienda el empleo de un medidor multiparamétrico para obtener la conductividad eléctrica y oxígeno disuelto de la muestra (Leyva, Espinoza y Barreto, 2010).

Provisiones y equipo de muestreo

La (NMX-AA-003-1980) y (Leyva, Espinoza y Barreto, 2010), sugieren el siguiente equipo de muestreo:

1. Hielera.
2. Equipo Multiparamétrico.
3. Preservantes.
4. Frascos de vidrio transparente y/o ámbar.
5. Frascos de plástico.
6. Piseta con agua destilada.
7. Balde.

Medidas para asegurar la calidad del muestreo

En corrientes superficiales (NMX-AA-003-1980; Mejías y Jerez, 2006), sugieren la toma de muestras en el centro de la corriente, de preferencia donde se presente flujo turbulento (evitando las orillas o el agua estancada), enjuagando con agua a muestrear el recipiente en varias veces. (Mejías y Jerez, 2006; Leyva, Espinoza y Barreto, 2010), aconsejan coleccionar la muestra directamente en el envase en el que se transportará y en caso de tomar más de una muestra en la misma corriente, hacerlo de aguas abajo a aguas arriba.

(Mejías y Jerez, 2006; Leyva, Espinoza y Barreto, 2010), sugieren la toma de muestras con la boca del recipiente apuntando en contra de la corriente, sumergiendo el recipiente durante 30 segundos.

La (NMX-AA-003-1980) propone el uso de etiquetas para numerar los recipientes, anotar la información de cada muestra en una hoja de registro, mantener las muestras a una temperatura de 4 °C y que el intervalo de tiempo entre la extracción de la muestra y su análisis no sea mayor a tres días.

Se recomienda llenar una hoja de registro que contenga la siguiente información de cada muestra (NMX-AA-003-1980):

1. Información necesaria para identificar el origen de cada muestra.
2. Profundidad de muestreo.
3. Número de muestra.
4. Fecha y hora de muestreo.
5. Punto de muestreo.
6. Temperatura de la muestra.
7. Nombre y firma de la persona llevó a cabo el muestreo.
8. Los datos contenidos en la etiqueta de la muestra.
9. El gasto de la descarga que se muestreó (cuando se requiera).
10. Descripción cualitativa del olor y color del agua residual.

Tipos de recipientes y volumen de las muestras

La (NMX-AA-003-1980), recomienda el uso de recipientes fabricados en materiales inertes (preferentemente de polietileno o vidrio) con tapas que brinden un cierre hermético y de una capacidad de 2000 mL. Pese a lo anterior, con el fin de homogeneizar el volumen de las muestras y el material de los recipientes, se propone el empleo de recipientes de vidrio de 1000 mL, de color ámbar o transparentes recubiertos de papel aluminio.

Plan de seguridad del operario

(Leyva, Espinoza y Barreto, 2010), sugieren el siguiente EPP:

1. Lentes.
2. Mascarillas
3. Guantes de nitrilo

4.5.6. Muestreo en suelo

Referente al muestreo de suelos contaminados por plaguicidas, no se encontró ninguna NOM que establezca la mínima cantidad de puntos de muestreo o alguna otra recomendación para analizar plaguicidas. Aunque sí se tienen lineamientos para analizar hidrocarburos (NOM-138-SEMARNAT/SSA1-2012), metales y metaloides (NMX-AA-132-SCFI-2016) y para determinar la fertilidad, salinidad y clasificar esta matriz ambiental (NOM-021-SEMARNAT-2000).

Para determinar el número de puntos de muestreo en suelo, considerando que la NMX-AA-132-SCFI-2016 no es una norma de carácter oficial ni obligatoria y que la NOM-021-SEMARNAT-2000 no brinda recomendaciones concretas respecto a la cantidad de puntos de muestreo respecto a ningún patrón espacial o temporal, se usará la NOM-138-SEMARNAT/SSA1-2012, que establece la cantidad de puntos de muestreo mínimos de acuerdo a el área de estudio que se quiere analizar (*Tabla 4.5*).

La (NOM-138-SEMARNAT/SSA1-2012) recomienda un método de muestreo dirigido, estocástico o una mezcla de ambos. Considerando lo anterior, se propondrá el muestreo en una zona cercana a la de los puntos de muestreo preliminares (*Figura 4.1*), ya que en el sitio se encontró glifosato en las muestras de agua tomadas para la validación de la técnica analítica (Reporte técnico PAPIIT IN107622).

Tabla 4.5: Cantidad de puntos de muestreo mínimos en suelo recomendados por la (NOM-138-SEMARNAT/SSA1-2012) en función del área de estudio

Área contaminada (ha) Hasta	Puntos de muestreo
0.1	4
0.2	8
0.3	12
0.4	14
0.5	15
0.6	16
0.7	17
0.8	18
0.9	19
1	20
2	25
3	27
4	30
5	33
10	38
15	40
20	45
30	50
40	53
50	55
100	60

Por la extensión del área de interés y el impedimento que pudiera ocasionar que el área de estudio abarque numerosos predios, se propuso una franja de 1 ha que se encuentre entre los sitios 2, 3 y el Canal 1 para evaluar el transporte del herbicida en el ambiente. De acuerdo con la **Tabla 4.5**, a esta área le corresponden al menos 20 puntos de muestreo.

Para determinar la ubicación de los puntos de muestreo, se propuso un polígono (de 1 ha de área) de lados alargados paralelos a los bordes de la presa con el objetivo de relacionar los resultados del análisis con los que surjan de los sitios de muestreo propuestos en el cuerpo de la presa (**Figura 4.4**). Una vez delimitada el área, se generó una retícula de puntos separados de norte a sur por 30 m y de este a oeste por 20 m, eligiendo los 20 puntos que coincidieron con el área propuesta. Por lo anterior, se trata de un muestreo sistemático con un patrón espacial combinado con un muestreo dirigido, ya que se eligió el área de estudio por su accesibilidad y debido a que el herbicida se identificó en la zona alledaña. Los puntos

de muestreo propuestos se pueden observar en la **Figura 4.6** y sus coordenadas se presentan en la **Tabla 4.6**.

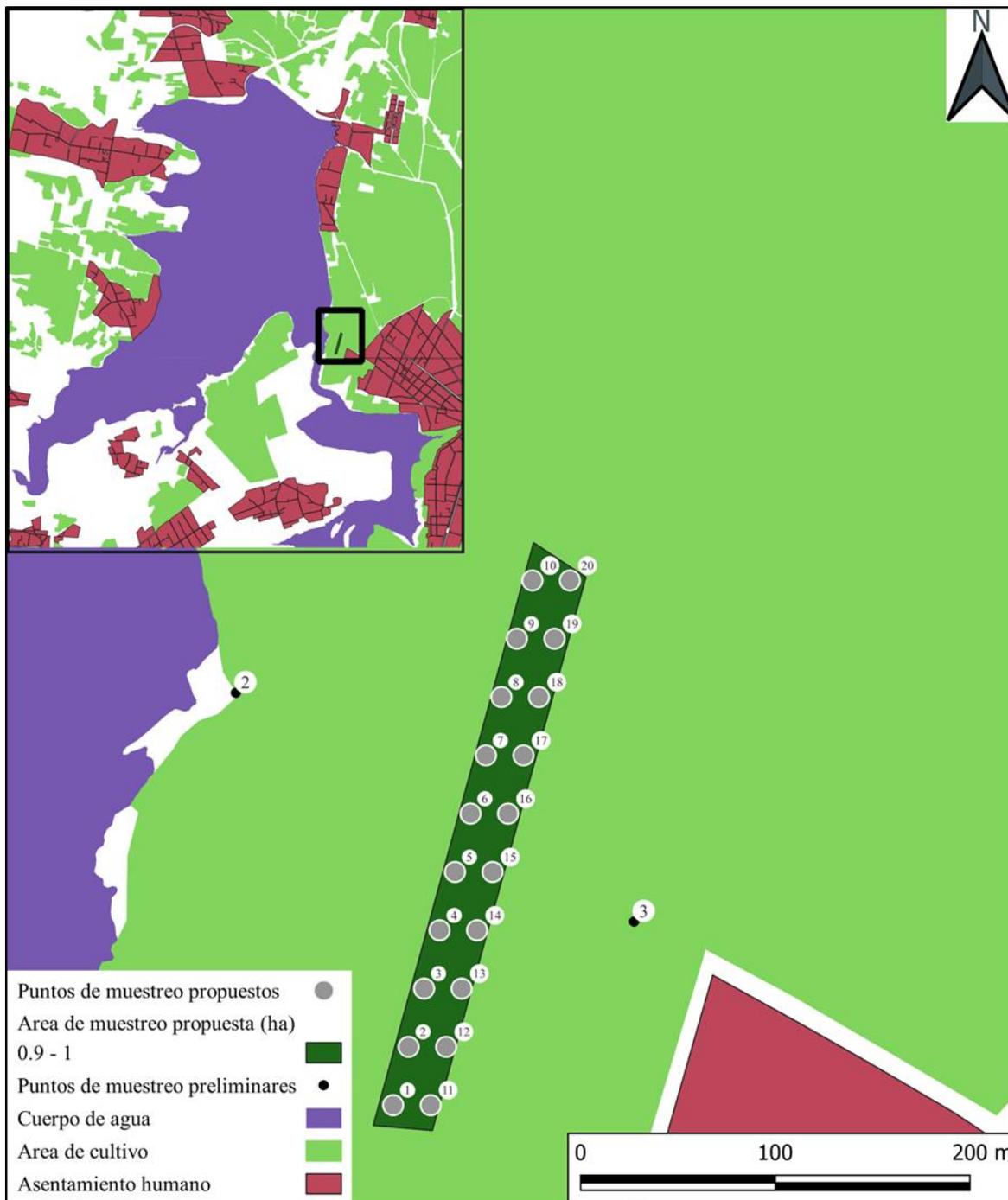


Figura 4.6: Ubicación de los puntos de muestreo propuestos en una porción de la zona agrícola cercana a la presa Endhó y a los puntos de muestreo visitados en la etapa de reconocimiento

Tabla 4.6: Coordenadas en grados decimales de los puntos de muestreo propuestos en la zona agrícola aledaña a la presa Endhó

Punto	Grados decimales	
	Latitud	Longitud
1	20.12567	-99.35611
2	20.12594	-99.35603
3	20.12621	-99.35596
4	20.12648	-99.35588
5	20.12675	-99.35581
6	20.12703	-99.35573
7	20.12730	-99.35565
8	20.12757	-99.35558
9	20.12784	-99.35550
10	20.12811	-99.35543
11	20.12567	-99.35592
12	20.12594	-99.35585
13	20.12621	-99.35577
14	20.12648	-99.35570
15	20.12675	-99.35562
16	20.12703	-99.35555
17	20.12730	-99.35547
18	20.12757	-99.35539
19	20.12784	-99.35532
20	20.12811	-99.35524

Profundidad del muestreo

En suelos, los plaguicidas se adsorben en la materia orgánica de éste o en las arcillas que lo componen (Mejías y Jerez, 2006). En el caso del glifosato y su metabolito AMPA, se puede esperar la mayor concentración del herbicida a profundidades de 0 cm a 5 cm (Salazar, 2016; Aparicio, et al., 2015). Por lo anterior, se propone el muestreo a 5 cm de profundidad.

Tipos de muestras

La (NOM-138-SEMARNAT/SSA1-2012) (referente a hidrocarburos), sugiere la obtención de muestras simples, pues el muestreo está dirigido a compuestos orgánicos volátiles y es preferible evitar la homogeneización del material al que lleva la obtención de una muestra compuesta (MA, 2014). Pese a lo anterior, la baja volatilidad del glifosato (Bohórquez, 2020) hace posible la toma de muestras simples o compuestas.

Considerando las técnicas de teledetección y en específico la resolución espacial que brindan las imágenes satelitales (EOS, 2023), se propone el empleo de muestras simples, ya que de este modo se pueden relacionar de mejor manera los datos obtenidos en campo con los resultados que arrojen la técnica de percepción remota.

Provisiones y equipo de muestreo

(Mejías y Jerez, 2006), recomiendan contemplar los siguientes materiales y equipos:

1. Barreno.
2. Envases de vidrio con tapas de teflón.
3. Solvente.
4. Navegador satelital (GPS).
5. Etiquetas.
6. Lápiz marcador permanente.
7. Hielera.
8. Preservantes.

En caso de no contar con un barreno para la toma de muestras, se recomienda el empleo de una pala o palín, intentando tomar la misma cantidad de suelo en cada muestra (IGAC, s. f.).

Medidas para asegurar la calidad del muestreo

Se debe evitar incluir en la muestra elementos o materiales de la superficie del suelo, como materia orgánica o vegetal (Mejías y Jerez, 2006).

Antes del muestreo, el equipo (barreno, pala o palín) debe lavarse con agua, posteriormente con solvente para remover cualquier residuo de plaguicidas y por último, con agua destilada. Después del muestreo, el equipo debe ser descontaminado nuevamente, esto se logra lavándose en repetidas ocasiones con agua hasta eliminar todos los restos de suelo (Mejías y Jerez, 2006).

La (NOM-138-SEMARNAT/SSA1-2012), recomienda el empleo de etiquetas en las muestras que contengan la siguiente información:

1. Fecha y hora en la que se tomó la muestra.
2. Número de muestra.
3. Las iniciales de la persona que tomó cada muestra.

Los datos de la cadena de custodia deben contener la siguiente información (NOM-138-SEMARNAT/SSA1-2012):

1. El nombre de la empresa o dependencia y del responsable del muestreo.
2. Datos para la identificación del sitio de muestreo.
3. El nombre completo y las iniciales de la persona que la tomó.

4. La fecha y hora en que se tomó la muestra
5. El número o clave única de cada muestra.
6. Nombre del laboratorio que recibe las muestras.
7. El número de envases consignados.
8. Las determinaciones analíticas requeridas para cada muestra.
9. Condiciones de preservación de las muestras.
10. La identificación de las personas que participan en cada etapa del muestreo.
11. Observaciones.

La (NOM-138-SEMARNAT/SSA1-2012), establece que los recipientes de las muestras deben ser nuevos o encontrarse libres de contaminantes, llenarse al tope de su capacidad con la muestra, protegerse de la luz solar utilizando una envoltura opaca, mantenerse a 4 °C y analizarse en un periodo no mayor a 14 días (tiempo máximo de conservación).

Tipos de recipientes y volumen de las muestras

La (NOM-138-SEMARNAT/SSA1-2012) sugiere el uso de frascos de vidrio de boca ancha, con tapa de teflón. Referente al volumen de la muestra, esta debe ser de al menos 500 mL (IGAC, s. f.).

Considerando lo anterior y las recomendaciones para asegurar la calidad del muestreo, se propone el uso de frascos de boca ancha de vidrio de color ámbar o transparentes recubiertos con papel aluminio de 1000 mL llenados en su totalidad con el suelo del punto de muestreo.

Plan de seguridad del operario

(Mejías y Jerez, 2006) recomiendan el uso del siguiente EPP:

1. Botas.
2. Guantes de nitrilo.

4.5.13. Frecuencia de muestreo

Independientemente de las características del muestreo propuesto, se recomienda conocer la tasa, época y método de aplicación del plaguicida en el sitio de estudio para localizar los puntos con mayor probabilidad de contaminación (Mejías y Jerez, 2006).

La (SAGARPA, 2017) recomienda usar los siguientes herbicidas en cultivos de maíz:

1. Primagram Gold® (Atrazina con S-metolaclor) en preemergencia para maleza de hoja ancha.
2. Marvel® (Dicamba con Atrazina) para combatir “chayotillo”.
3. Sanson® (Nicosulfuron) para eliminar pastos y “coquillo”.

4. Faena® (glifosato), para eliminar pastos.
5. Glifos® (glifosato), para el control de pastos

En cultivos de avena forrajera la (SAGARPA, 2017) recomienda el empleo de herbicidas derivados del grupo 2-4-D amina o éster para malezas de hoja ancha 35 días después de la siembra; para cultivos de alfalfa, el uso de Pivot® (Imazetapir), Poast® (setoxidim) y Select® para malezas de hoja ancha y gramíneas, aplicándolo 45 días de establecido el cultivo y en cultivos de manzana por temporal o riego el empleo de glifosato (y en particular la formulación Faena®) tres semanas después de iniciadas las lluvias.

En el sitio de muestreo 3 (*Figura 4.1*), según el delegado de riego Daniel Briseño, los cultivos se mantienen al 100 % por riego con agua residual que proviene de la presa Requena. Y en éste se cultiva maíz, avena forrajera y alfalfa. Por lo anterior, la toma de muestras de suelo puede ser en época de lluvias (de junio a septiembre (INECC, 2021)) o de estiaje, ya que en todo el año se mantienen diferentes tipos de cultivos. Aunque en este aspecto se deberá considerar el paso de satélites y nubosidad para relacionar los resultados de laboratorio de las muestras tomadas en campo con los que arrojen las técnicas de percepción remota que se consideran en el proyecto PAPIIT IN107622.

Para establecer las fechas de muestreo, se recomienda identificar a los propietarios de los predios en los que se encuentran los puntos sugeridos de muestreo en suelo y obtener de primera mano la época y el método de aplicación del herbicida glifosato, tomando en cuenta que este herbicida puede permanecer en el ambiente de 2 a 215 días, con una vida media en suelo de 6 a 20 días y en el agua de 2 a 91 días (CONACYT, 2020) para analizar el comportamiento del glifosato en el medio ambiente.

Referente a el cuerpo de agua de la presa Endhó, se recomienda contemplar los periodos de estiaje, ya que los niveles de la presa podrían verse reducidos (y la del espejo de agua), propiciando que algunos de los puntos de muestreo sugeridos cerca de las orillas de la presa queden con los sedimentos de fondo expuestos, además de que un bajo nivel del tirante de agua, podría dificultar las maniobras para ingresar al vaso de la presa con un vehículo acuático e impediría la salida de agua por la obra de excedencias (salida 1 de *Figura 4.5*).

Considerando todo lo anterior y que la (NMX-AA-014-1980) en cuerpos receptores recomienda establecer un ciclo anual que cubra las épocas de lluvias y estiaje, se sugiere llevar a cabo el muestreo en ambas épocas (si el proyecto lo permite).

4.6. Procedimientos en laboratorio

El método analítico utilizado para la identificación y cuantificación de glifosato y AMPA en muestras de agua se realizó por derivatización con 9-fluorenilmetilcloroformato (FMOC-CI),

separación por cromatografía líquida de alto rendimiento (HPLC) y detección con detector de fluorescencia (FLD) (Reporte técnico PAPIIT IN107622).

Se utilizó un desgasificador (1), con una bomba de gradiente binario (2), columna tipo ZORBAX SB-C18 (3), detector de fluorescencia (4) y el programa EZChrom Elite Chromatography Data System (Reporte técnico PAPIIT IN107622), todo lo anterior mostrado en la **Figura 4.7**.

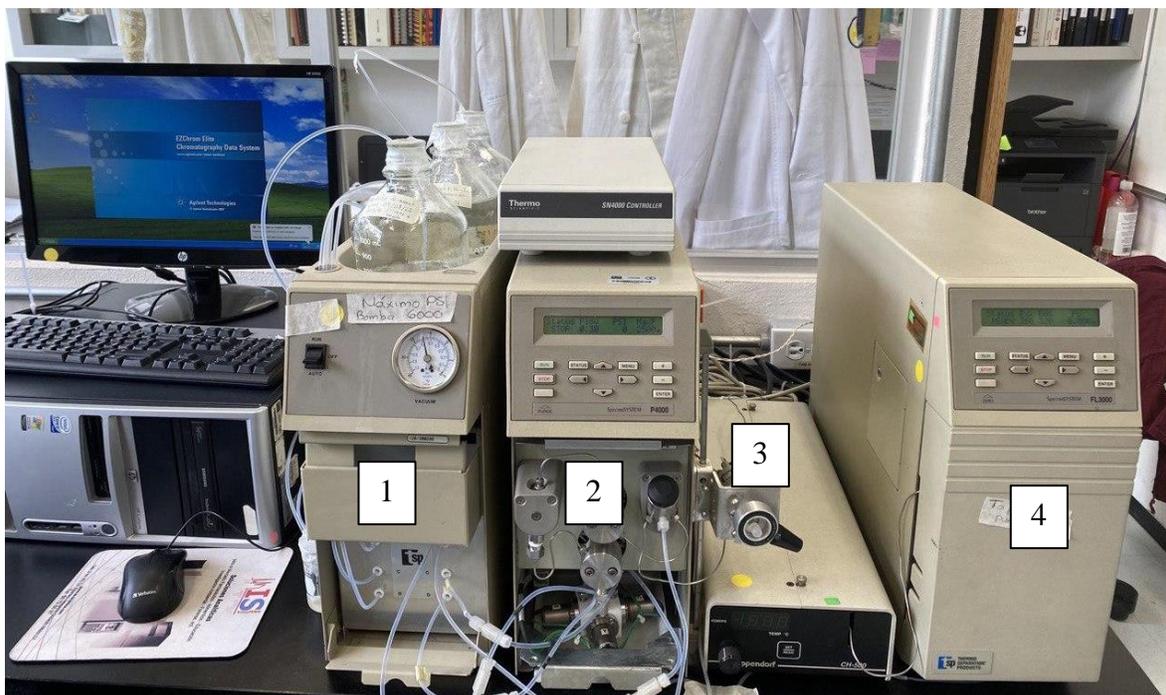


Figura 4.7: Equipo de cromatografía líquida (HPLC) con detector de fluorescencia (Reporte técnico PAPIIT IN107622)

4.6.1. Derivatización

En medio acuoso y alcalino, el cloruro de 9-fluorenilmetiloxycarbonilo (FMOC-CL) reacciona con las moléculas de glifosato y AMPA, para formar derivados estables y fluorescentes (**Figura 4.8**) (Bohórquez, 2020).

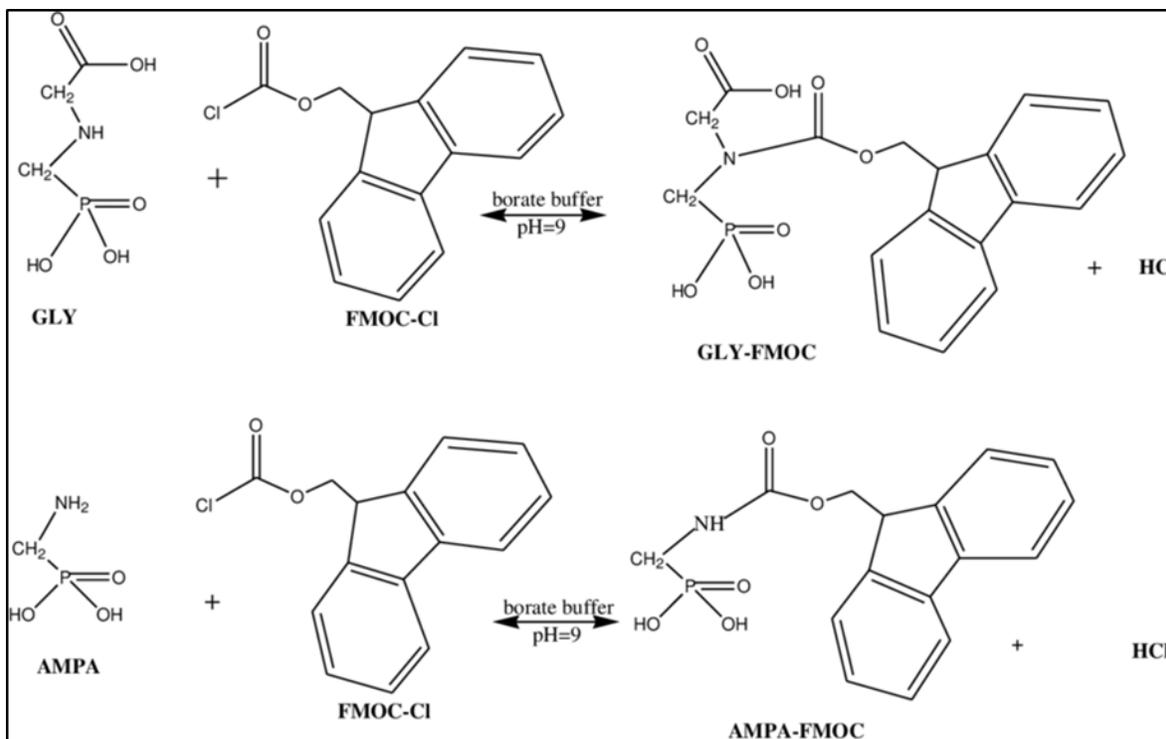


Figura 4.8: Derivatización del glifosato y su metabolito AMPA (Garba, et al., 2018)

4.6.2. Técnica de cromatografía líquida HPLC

La cromatografía es un conjunto de técnicas empleadas para la determinación de sustancias y separación de componentes de mezclas (Pássaro, et al., 2016). En la cromatografía líquida de alta resolución (HPLC) por sus siglas en inglés, se hace circular un líquido (fase móvil) que hace contacto con un sólido o líquido inmisible (fase estacionaria). Una vez introducida la muestra en la corriente de fase móvil, los analitos interactúan con la fase sólida a distintas velocidades y estos se separan, haciendo posible su detección utilizando de manera general detectores de índice de refracción, de ultravioleta y/o luz visible, fluorescencia, de conductividad eléctrica o electroquímico (USON, s. f.; MNCN, s. f.).

El equipo utilizado en HPLC (**Figura 4.9**), contempla los siguientes instrumentos (Pássaro, et al., 2016; MNCN, s. f.):

1. Depósito de la fase móvil: con frecuencia se trata de una botella de vidrio que contiene el disolvente
2. Sistema de bombeo: es la encargada de mantener un flujo constante de la fase móvil.
3. Sistema de inyección: se encargan de introducir la muestra en la fase móvil.
4. Columna cromatográfica: en ésta se produce la retención de las sustancias de la muestra, lo que promueve su separación.

5. Detector: éste detecta el analito por medio de algún fenómeno físico y genera una señal eléctrica en proporción a la cantidad de materia detectada.
6. Registrador: recibe la señal eléctrica del detector y genera un cromatograma en función del tiempo, obteniendo picos que corresponden a cada sustancia contenida en la muestra.

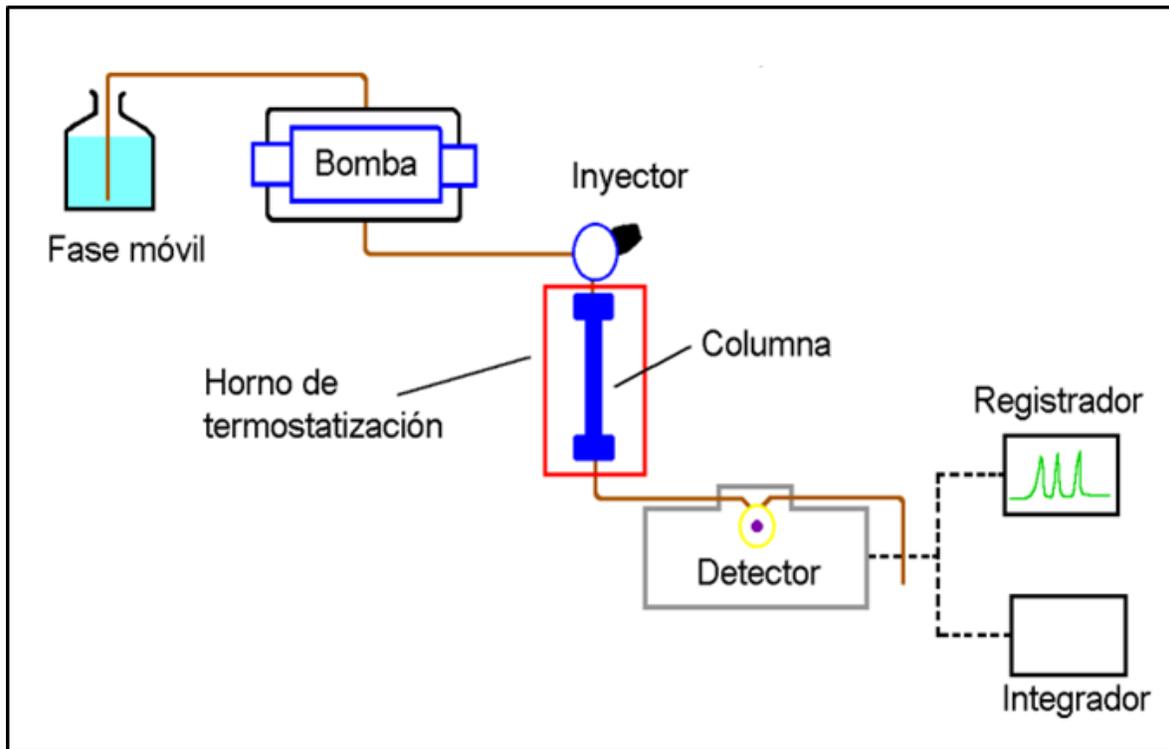


Figura 4.9: Equipo utilizado en HPLC (MNCN, s. f.).

4.6.3. Detector de fluorescencia

Tiene sus bases en la propiedad de algunos compuestos para emitir fluorescencia o de aquellos que después de un procedimiento (derivatización) pueden hacerlo (Castaños, 2015). La emisión de luz surge cuando las moléculas del analito pasan del estado excitado a su estado natural. (Bohórquez, 2020).

VI. Conclusiones

1. El glifosato es un herbicida ampliamente usado tanto en el sector agrícola como en el urbano y su presencia en el medio ambiente y en productos destinados al consumo y uso humano es constante.
2. El herbicida glifosato se ha relacionado con numerosos efectos adversos en la salud humana y en la del medio ambiente.
3. Los “compuestos inertes” contenidos en las formulaciones comerciales del herbicida glifosato contribuyen de manera importante en la toxicidad del herbicida.
4. El marco normativo en México referente al empleo de plaguicidas se encuentra poco desarrollado en el país y aún más en el caso particular del glifosato.
5. La normativa mexicana no cuenta con un límite máximo permisible del herbicida glifosato (en particular) para agua destinada al consumo humano, ni valores reglamentados en suelos o límites máximos en agua superficial.
6. Las leyes mexicanas no abordan la prohibición de numerosos plaguicidas catalogados como altamente peligrosos en otros países.
7. El conjunto de Normas Oficiales Mexicanas (NOM) y Normas Mexicanas (NMX) no brindan bases suficientes para llevar a cabo el muestreo del herbicida glifosato (ni de otro plaguicida en general) en cuerpos de agua superficiales ni en suelos contaminados por estos agroquímicos.
8. La propuesta de muestreo sugerida en este documento se llevó a cabo siguiendo las recomendaciones de la norma NOM-230-SSA1-2002 (que aborda los requisitos sanitarios que debe cumplir un sistema de abastecimiento de agua potable y brinda información acerca del muestreo en éstos) para el muestreo en pozos; la NMX-AA-014-1980 (enfocada en cuerpos receptores susceptibles a recibir descargas de agua residual) para el muestreo en el cuerpo de la presa Endhó; la NMX-AA-003-1980 (que brinda recomendaciones de muestreo para agua residual) y la NMX-AA-014-1980 para el muestreo en las corrientes de salida, de entrada y los canales que alimentan a la zona agrícola aledaña. Para el muestreo en suelo, se tomó en cuenta NOM-138-SEMARNAT/SSA1-2012 (con lineamientos para el muestreo de suelos contaminados por hidrocarburos).

Referencias

1. CEDRSSA. (2020) “Uso y regulación de herbicidas en México” [PDF] consultado el 10/01/2023 en: <http://www.cedrssa.gob.mx/files/b/13/76Herbicidas.pdf>
2. Zepeda, I. (2018) “Manejo sustentable de plagas agrícolas en México” [PDF] consultado el 10/01/2023 en: <http://www.scielo.org.mx/pdf/asd/v15n1/1870-5472-asd-15-01-99-en.pdf>
3. Ramírez, J. y Lacasaña, M. (2001) “Plaguicidas: clasificación, uso, toxicología y medición de la exposición” [PDF] consultado el 10/01/2023 en: https://archivosdeprevencion.eu/view_document.php?tpd=2&i=1270
4. Ruiz, J. y Sánchez, D. (2014) “Efecto de la concentración de glifosato presente en cuerpos de soya transgénica sobre la abeja *Apis mellifera* y la abeja sin aguijón *Tetragonisca angustula*” [PDF] consultado el 10/01/2023 en: <http://www.scielo.org.mx/pdf/azm/v30n2/v30n2a14.pdf>
5. Villalba, A. (2009) “Resistencia a herbicidas. Glifosato” [PDF] consultado el 18/01/2023 en: <https://www.redalyc.org/pdf/145/14512426010.pdf>
6. INECC. (2018) “El herbicida glifosato y su uso en la agricultura con organismos genéticamente modificados” [PDF] consultado el 18/01/2023 en: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/425676/Informe_Glifosato_Agricultura_OGMs_24.12.2018_agg.pdf
7. Agostini, L. et al. (2020) “Effects of glyphosate exposure on human health: Insights from epidemiological and in vitro studies” [Página Web] consultado el 18/01/2023 en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969719358036>
8. Peillex, C. y Pelletier, M. (2020) “The impact and toxicity of glyphosate and glyphosate-based herbicides on health and immunity” [Página Web] consultado el 18/01/2023 en: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/1547691X.2020.1804492>
9. Caiati, C et al. (2020) “The Herbicide Glyphosate and Its Apparently Controversial Effect on Human Health: An Updated Clinical Perspective” [Página Web] consultado el 18/01/2023 en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31613732/>
10. Ramírez, F. (2021) “El herbicida glifosato y sus alternativas” [PDF] consultado el 18/01/2023 en: https://conacyt.mx/cibiogem/images/cibiogem/Documentos-recopilatorios-relevantes/El_herbicida_glifosato_y_sus_alternativas_UNA.pdf
11. García, E. (2020) “El agua residual como generadora del espacio de la actividad agrícola en el Valle del Mezquital, Hidalgo, México” *Estud. soc. Rev. aliment.*

- contemp. desarro [Página Web] consultado el 18/01/2023 en:
https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2395-91692019000200106
12. Hernández, et al. (2019) “*IMPACTO DEL USO DE LA TIERRA EN LA CALIDAD DEL SUELO EN UNA ZONA SEMIÁRIDA DEL VALLE DEL MEZQUITAL, HIDALGO, MÉXICO*” [PDF] consultado el 18/01/2023 en:
<https://www.revistas.unam.mx/index.php/biocyt/article/view/65833>
 13. Moreno, B., Garret, M., Fierro, U. (2006) “*Otomíes del Valle del Mezquital*” Comisión Nacional para el Desarrollo de los Pueblos Indígenas [PDF] consultado el 18/01/2023 en:
https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/12573/otomies_valle_mezquital.pdf
 14. Hernández, B. (2018) “*Análisis de la calidad del agua de la presa Endhó y propuesta de mejora*”. Tesis de licenciatura [PDF] consultado el 18/01/2023 en:
<https://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/26905/HERN%C3%81NDEZ%20DUR%C3%81N%20BRENDA.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
 15. Universidad Tecnológica del Valle del Mezquital (UTVM). (2014) “*El Valle del Mezquital, una síntesis cultural*” [Página Web] consultado el 18/01/2023 en:
<https://www.milenio.com/opinion/varios-autores/universidad-tecnologica-del-valle-del-mezquital/el-valle-del-mezquital-una-sintesis-cultural>
 16. Cabrera, R. (2022) “*Uso histórico y reciente de plaguicidas en la agricultura del Alto Mezquital de Hidalgo*” [Página Web] consultado el 19/01/2023 en:
<https://www.ciad.mx/uso-historico-y-reciente-de-plaguicidas-en-la-agricultura-del-alto-mezquital-de-hidalgo/>
 17. Milenio Hidalgo. (2010) “*Presa Endhó registra altos niveles de contaminación*” [Página Web] consultado el 19/01/2023 en:
<https://agua.org.mx/presa-endho-registra-altos-niveles-de-contaminacion/>
 18. Muñoz, A. (2014) “*Presa Endhó*” La Jornada [Página Web] consultado el 19/01/2023 en:
<https://www.jornada.com.mx/2014/01/21/politica/002n1pol>
 19. García y Fuente, 2021 “*La disputa por el agua residual en México como conflicto ecológico- distributivo paradójico*” [PDF] consultado el 20/01/2023 en:
<https://www.berghahnjournals.com/downloadpdf/journals/regions-and-cohesion/11/3/reco110305.pdf>
 20. Cuenca, A. (2010) “*La cloaca de la Ciudad de México*” El universal [Página Web] consultado el 20/01/2023 en:
<https://archivo.eluniversal.com.mx/nacion/175506.html>
 21. Soumis, N. (2018) “*Glyphosate: The world’s most widely used herbicide*” Canadian Association of physicians for the environment” [PDF] consultado el 20/01/2023 en:
https://legacy.equiterre.org/sites/fichiers/backgrounder_glyphosate_2018.pdf

22. CONACYT. (2020) “*Expediente científico sobre el glifosato y los cultivos GM*” [PDF] consultado el 20/01/2023 en: https://conacyt.mx/wp-content/uploads/documentos/glifosato/Dossier_formato_glifosato.pdf
23. Hernández, J. (2020) “*Covid-19 en México: ¿de una crisis de salud a una crisis alimentaria?*” [Página Web] consultado el 20/01/2023 en: <https://www.iis.unam.mx/blog/covid-19-en-mexico-de-una-crisis-de-salud-a-una-crisis-alimentaria/>
24. Torres, F. (2010) “*Rasgos perennes de la crisis alimentaria en México*” [Página Web] consultado el 22/01/2023 en: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-45572010000200006
25. FAO (2022) “*Informe mundial sobre las crisis alimentarias: la inseguridad alimentaria aguda alcanza nuevos niveles máximos*” [Página Web] consultado el 22/01/2023 en: <https://www.fao.org/newsroom/detail/global-report-on-food-crises-acute-food-insecurity-hits-new-highs/es>
26. Acquavella, J. (2004) “*Glyphosate biomonitoring for farmers and their families: results from the Farm Family Exposure Study*” Environ Health Perspect [Página Web] consultado el 22/01/2023 en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1241861/>
27. CONACYT. (2022) “*Expediente científico sobre el glifosato y los cultivos GM*” [PDF] consultado el 22/01/2023 en: https://conacyt.mx/wp-content/uploads/documentos/glifosato/Dossier_formato_glifosato.pdf
28. Avila, M. et al., (2017) “*Association between Cancer and Environmental Exposure to Glyphosate*” [Página Web] consultado el 22/01/2023 en: <https://www.scirp.org/journal/paperinformation.aspx?paperid=74222#:~:text=This%20research%20detected%20an%20urban,to%20make%20direct%20causal%20assertions>
29. Avila, M. et al., (2018) “*Environmental Exposure to Glyphosate and Reproductive Health Impacts in Agricultural Population of Argentina*” [Página Web] consultado el 22/01/2023 en: <https://www.scirp.org/journal/paperinformation.aspx?paperid=83267>
30. Suárez, V. (2020) “*Crisis alimentaria en México: crónica de un desastre anunciado*” [Página Web] consultado el 24/01/2023 en: <https://www.jornada.com.mx/2008/05/13/fantasma.html>
31. Ayala, A. (2010) “*Fortalecimiento de la competitividad del sector agropecuario en Hidalgo*” [Página Web] consultado el 24/01/2023 en: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S2007-09342010000200009&lng=es&nrm=iso&tlng=es

32. Cook, K.(2019) “*Glyphosate in Beer and Wine*” [PDF] consultado el 24/01/2023 en: https://uspig.org/sites/pirg/files/reports/WEB_CAP_Glyphosate-pesticide-beer-and-wine_REPORT_022619.pdf
33. Madera, G. (2019) “*Investigadores encuentran presencia de plaguicidas en niños de comunidad autlense*” [Página Web] consultado el 24/01/2023 en: <https://archivo.udgtv.com/radio/investigadores-plaguicidas-ninos-mentidero/>
34. Sierra, E. et al. (2019) “*Urinary Pesticide Levels in Children and Adolescents Residing in Two Agricultural Communities in Mexico*” [Página Web] consultado el 24/01/2023 en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30781414/>
35. Redon-Von, J. y Dzul-Caamal, R. (2017) “*Glyphosate Residues in Groundwater, Drinking Water and Urine of Subsistence Farmers from Intensive Agriculture Localities: A Survey in Hopelchén, Campeche, México*” [Página Web] consultado el 24/01/2023 en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28587206/>
36. Kongtip, P. et al. (2017) “*Glyphosate and Paraquat in Maternal and Fetal Serums in Thai Women*” [Página Web] consultado el 24/01/2023 en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28422580/>
37. Parvez, S. et al. (2018) “*Glyphosate exposure in pregnancy and shortened gestational length: a prospective Indiana birth cohort study*” [Página Web] consultado el 25/01/2023 en: <https://ehjournal.biomedcentral.com/articles/10.1186/s12940-018-0367-0>
38. BBC. (2018) “*Demanda a Monsanto: Bayer insiste en que “el glifosato es seguro y no causa cáncer*” [Página Web] consultado el 25/01/2023 en: <https://www.bbc.com/mundo/noticias-45157068#:~:text=El%20glifosato%20fue%20introducido%20por,es%20vendida%20por%20varios%20fabricantes.&text=En%20Estados%20Unidos%2C%20m%C3%A1s%20de%20750%20productos%20lo%20contienen.>
39. US Patent. (1971) “3,799,758 *N.PHOSPHONOMETHYLGLYCNE PHYTOTOXCANT COMPOSITIONS*” [PDF] consultado el 25/01/2023 en: <https://patentimages.storage.googleapis.com/58/51/2c/48674f43baa042/US3799758.pdf>
40. Ramírez, E. (2020) “*Conacyt detecta glifosato en leche materna, tortillas, agua, sangre, orina*” [Página Web] consultado el 25/01/2023 en: <https://contralinea.com.mx/portada/conacyt-detecta-glifosato-en-leche-materna-tortillas-agua-sangre-orina/>
41. Mota, D. (2009) “*Endhó, la “cloaca más grande del mundo*” [Página Web] consultado el 25/01/2023 en: <https://archivo.eluniversal.com.mx/estados/71575.html#:~:text=Endh%C3%B3%20encabeza%20la%20lista%20de,cloaca%20m%C3%A1s%20grande%20del%20mundo%E2%80%9D.>

42. Pavani, E. et al. (2016) “*DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE GLIFOSATO EN AGUA MEDIANTE LA TÉCNICA DE INMUNOABSORCIÓN LIGADA A ENZIMAS (ELISA)*” [PDF] consultado el 02/02/2023 en: <http://www.scielo.org.mx/pdf/rica/v32n4/0188-4999-rica-32-04-00399.pdf>
43. Sasal, M. et al. (2017) “*Monitoreo de glifosato en agua superficial en Entre Ríos. La investigación acción participativa como metodología de abordaje*” [PDF] consultado el 02/02/2023 en: <https://www.redalyc.org/pdf/864/86452401016.pdf>
44. Animal Político. (2022) “*Tras 11 años de construcción, inauguran el Túnel Emisor Oriente*” [Página Web] consultado el 02/02/2023 en: <https://www.animalpolitico.com/2019/12/tunel-emisor-oriente-inundaciones-inauguracion/>
45. Silva, R. (2019) “*La turbulenta historia del agua en la Cuenca de México: Drenando la ciudad de agua*” [Página Web] consultado el 02/02/2023 en: <https://planeteando.org/2019/11/26/la-turbulenta-historia-del-agua-en-la-cuenca-de-mexico-drenando-la-ciudad-de-agua/#:~:text=La%20obra%20hecha%20para%20desalojar,condiciones%20higi%C3%A9nicas%20de%20la%20capital%E2%80%9D.>
46. Lesser, L. et al. (2011) “*Balance hídrico y calidad del agua subterránea en el acuífero del Valle del Mezquital, México central*” [PDF] consultado el 02/02/2023 en: <http://www.scielo.org.mx/pdf/rmcg/v28n3/v28n3a1.pdf>
47. Guzmán, F. (2019) “*El suelo como protector de la calidad del agua subterránea*” [Página Web] consultado el 02/02/2023 en: <https://www.eluniversal.com.mx/ciencia-y-salud/el-suelo-como-protector-de-la-calidad-del-agua-subterranea>
48. Lesser, L. et al. (2018) “*Survey of 218 organic contaminants in groundwater derived from the world's largest untreated wastewater irrigation system: Mezquital Valley, Mexico*” [Página Web] consultado el 02/02/2023 en: <https://www.sciencedirect.com.pbidi.unam.mx:2443/science/article/pii/S0045653518301711?via%3Dihub>
49. Cifuentes, M. (2016) “*Efecto del herbicida Roundup® Activo en el sistema digestivo de Paracheirodon axelrodi cultivado en sistemas de recirculación acuícola*” [PDF] consultado el 02/02/2023 en: https://cicese.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1007/2237/1/Tesis%20Martha%20Liliana%20Cifuentes%20Torres_Final.pdf
50. Román, J. (2021) “*Contaminación del Tula y Valle del Mezquital causan hasta 33 tipos de cánceres*” [Página Web] consultado el 03/02/2023 en: <https://www.jornada.com.mx/notas/2021/03/12/politica/contaminacion-del-tula-y-valle-del-mezquital-causan-hasta-33-tipos-de-canceres/>
51. OCDE. (2021) “*Gobernanza Regulatoria en el Sector de Plaguicidas de México*” [PDF] consultado el 10/02/2023 en:

- <https://www.proccyt.org.mx/wp-content/uploads/2021/12/Gobernanza-Regulatoria-en-el-Sector-de-Plaguicidas-de-Me%CC%81xico.pdf>
52. Albert, L. (2019) “Evolución del marco legal para el control de los plaguicidas en México” [Página Web] consultado el 10/02/2023 en: [https://ecologica.jornada.com.mx/2019/04/24/evolucion-del-marco-legal-para-el-control-de-los-plaguicidas-en-mexico-4491.html#:~:text=Como%20se%20dijo%20antes%2C%20el,Vegetal%20\(LFSV\)%20y%20Sanidad%20Animal](https://ecologica.jornada.com.mx/2019/04/24/evolucion-del-marco-legal-para-el-control-de-los-plaguicidas-en-mexico-4491.html#:~:text=Como%20se%20dijo%20antes%2C%20el,Vegetal%20(LFSV)%20y%20Sanidad%20Animal)
53. Gobierno de México. (s. f.) “Riesgos de los plaguicidas para el ambiente” [PDF] consultado el 10/02/2023 en: <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/26576/riesgos.pdf>
54. González, U. (2019) “Efectos de los plaguicidas sobre la salud humana” [PDF] consultado el 10/02/2023 en: https://obtienearchivo.bcn.cl/obtienearchivo?id=repositorio/10221/26823/2/Efecto_de_los_plaguicidas_en_la_Salud.pdf
55. FAO. (2021) “El cambio climático fomenta la propagación de plagas y amenaza plantas y cultivos, según nuevo estudio de la FAO” [Página Web] consultado el 10/02/2023 en: <https://www.fao.org/news/story/en/item/1402920/icode/>
56. Bedmar, F. (2009) “Informe especial sobre plaguicidas agrícolas” [PDF] consultado el 12/02/2023 en: <https://www.agro.uba.ar/users/semmarti/Usotierra/CH%20Plaguicidas%20fin.PDF>
57. Dómenech, J. (2004) “Plaguicidas: Sus efectos en la salud humana” [PDF] consultado el 12/02/2023 en: <https://www.elsevier.es/es-revista-offarm-4-pdf-13064299>
58. INSL, (s. f.) “Plaguicidas” [PDF] consultado el 12/02/2023 en: <http://www.navarra.es/NR/rdonlyres/D786F7B7-B351-49A4-8457-FB7B265AB986/0/14unidad14.pdf>
59. Ravelo, L. (2009) “Metodologías analíticas alternativas para la determinación de plaguicidas en aguas y productos agroalimentarios” Universidad de La Laguna, España. [Página Web] consultado el 12/02/2023 en: <https://riull.ull.es/xmlui/bitstream/handle/915/21050/cp582.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
60. Bejarano, F. et al. (2017) “Los Plaguicidas Altamente Peligrosos en México” [PDF] consultado el 12/02/2023 en: <https://www.rapam.org/wp-content/uploads/2017/09/Libro-Plaguicidas-Final-14-agst-2017sin-portada.pdf>
61. Gómez, T. (2019) “México se sube a la ola contra el glifosato” [PDF] consultado el 15/02/2023 en: <https://es.mongabay.com/2019/12/mexico-contra-el-glifosato-plaguicidas/>

62. WHO. (2018) “*Pesticide residues in food*” [Página Web] consultado el 15/02/2023 en:
<https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/pesticide-residues-in-food#:~:text=There%20are%20more%20than%201000,different%20properties%20and%20toxicological%20effects.>
63. Li, Z. y Jennings, A. (2017) “*Worldwide Regulations of Standard Values of Pesticides for Human Health Risk Control: A Review*” [Página Web] consultado el 15/02/2023 en:
<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28737697/>
64. SENASICA. (2020) “*Tabla de límites máximos permisibles*” [PDF] consultado el 17/02/2023 en:
<https://www.gob.mx/senasica/documentos/limites-maximos-de-residuos-toxicos-y-contaminantes?state=published>
65. Rivera, L. (2020) “*Aumentan casos de cáncer en el Valle del Mezquital, infierno ambiental del ‘Toxitour’*” [Página Web] consultado el 17/02/2023 en:
<https://noticieros.televisa.com/ultimas-noticias/aumentan-casos-cancer-valle-mezquital-infierno-ambiental-toxitour/>
66. Campos, S. y Nieto, A. (2013) “*Autodepuración de la presa Endhó en Hidalgo*” [PDF] consultado el 17/02/2023 en:
<http://docencia.uaeh.edu.mx/estudios-pertinencia/docs/hidalgo-municipios/Hidalgo-Autodepuracion-De-La-Presa-Endho.pdf>
67. Eslava, P., Ramírez, W. y Rondón, I. (2007). “*Sobre los efectos del glifosato y sus mezclas: impacto en peces nativos*”. Instituto de Acuicultura de los Llanos. Instituto de Investigaciones de la Orinoquia Colombiana.
68. Alonso, M. (2018) “*Estrategias de manejo de cultivos cubierta para optimizar el uso de agua y nitrógeno, así como el control de malas hierbas*” [PDF] consultado el 17/02/2023 en:
https://oa.upm.es/52615/1/MARIA_ALONSO_AYUSO_2.pdf
69. Succulent Avenue. (s. f.) “*El lado positivo de las malezas (malas hierbas)*” [Página Web] consultado el 18/02/2023 en:
<https://succulentavenue.com/lado-positivo-de-las-malezas/>
70. Martínez, L. (2020) “*Malas hierbas de las praderas....que no lo son tanto*” [Página Web] consultado el 18/02/2023 en:
<https://www.campogalego.es/malas-hierbas-de-las-praderas-que-no-lo-son-tanto/>
71. Navarro, D. (2019) “*Malas hierbas (que en realidad no son tan malas)*” [Página Web] consultado el 18/02/2023 en:
<https://www.heraldo.es/noticias/blog/2019/06/01/malas-hierbas-que-en-realidad-no-son-tan-malas-1317992.html>
72. Hauge, K. y Carl, J. (s. f.) “*Beneficios y riesgos del uso de cultivos resistentes a los herbicidas*” FAO [Página Web] consultado el 19/02/2023 en:
<https://www.fao.org/3/y5031s/y5031s0i.htm>

73. Casquier, J. y Ortiz, R (2012) “*Las semillas transgénicas: ¿un debate bioético?*” [PDF] consultado el 19/02/2023 en: <https://www.corteidh.or.cr/tablas/r31737.pdf>
74. Hernández, I. et al. (2018) “*Uso del glifosato y los cultivos transgénicos resistentes*” [PDF] consultado el 19/02/2023 en: <https://revista-agroproductividad.org/index.php/agroproductividad/article/download/279/207/>
75. Vargas, C. (2004) “*Cultivos ilícitos y erradicación forzosa en Colombia*” [Página Web] consultado el 21/02/2023 en: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0121-47722004000200005
76. tele SUR. (2019) “*Erradicación de cultivos ilícitos con glifosato: Claves para entender el debate en Colombia*” [Página Web] consultado el 21/02/2023 en: <https://www.telesurtv.net/news/glifosato-colombia-cultivos-ilicitos-debate-20190307-0003.html>
77. Salazar, N. y Aldana, M. (2011) “*Herbicida glifosato: usos, toxicidad y regulación*” [PDF] consultado el 21/02/2023 en: <https://biotecnia.unison.mx/index.php/biotecnia/article/download/83/76>
78. Nandula, V. K. (2010). *Glyphosate resistance in crops and weeds: history, development, and management*. Wiley.
79. Nivia, E. (2002) “*Las fumigaciones aéreas sobre cultivos ilícitos sí son peligrosas*” Mama Coca [Página Web] consultado el 01/03/2023 en: http://www.mamacoca.org/feb2002/art_nivia_fumigaciones_si_son_peligrosas_es.html
80. Ministerio del Medio Ambiente (MMA). (2000) “*Plan de Manejo Ambiental Erradicación de Cultivos Ilícitos*” [PDF] consultado el 01/03/2023 en: http://www.mamacoca.org/docs_de_base/Fumigas/glifosato_DNE.pdf
81. Greenpeace. (2020) “*Glifosato: herbicida peligroso para nuestra salud / Greenpeace*” [Página Web] consultado el 01/03/2023 en: <https://www.greenpeace.org/mexico/blog/9205/glifosato-herbicida-agente-cancerigeno/>
82. Jos, M. (2017) “*Breve historia del glifosato, el herbicida más utilizado en la agricultura*” [Página Web] consultado el 01/03/2023 en: <https://destinoalemania.com/breve-historia-del-glifosato-herbicida-mas-utilizado-la-agricultura/>
83. Rosales, E. y Sánchez, R. (2006) “*Clasificación y uso de los herbicidas por su modo de acción*” consultado el 01/03/2023 en: <https://www.compucampo.com/tecnicos/clasificacionherbs.pdf>

84. Earth Observing System (EOS). (2021) “*Manejo Integrado De Malezas: Soluciones Y Prácticas*” [Página web] consultado el 01/03/2023 en: <https://eos.com/es/blog/manejo-de-malezas/>
85. Ajiboye, T. (2022) “*What is glyphosate?*” [Página Web] consultado el 01/03/2023 en: <https://www.verywellhealth.com/glyphosate-5084577#:~:text=Glyphosate%20can%20be%20applied%20to,applicators%2C%20and%20controlled%20droplet%20applicators.>
86. WWF. (2021) “*¿Qué tan riesgoso para la salud y la naturaleza es volver a la aspersión aérea con glifosato?*” [Página Web] consultado el 01/03/2023 en: <https://www.wwf.org.mx/?366592/Que-tan-riesgoso-para-la-salud-y-la-naturaleza-es-volver-a-la-aspersion-aerea-con-glifosato#:~:text=La%20aspersi%C3%B3n%20a%C3%A9rea%20con%20glifosato%20es%20un%20mecanismo%20en%20el,tengan%20contacto%20con%20la%20sustancia.>
87. Europa Sur. (2021) “*Agaden crítica a la Diputación por fumigar con herbicidas con glifosato las cunetas de la comarca*” [Página Web] consultado el 01/03/2023 en: https://www.europasur.es/campo-de-gibraltar/Agaden-Diputacion-fumigar-glifosato_0_1551745691.html
88. Gobierno de México. (2016) “*CON PUNTO DE ACUERDO, RELATIVO AL USO DE GLIFOSATO Y OTROS QUÍMICOS TÓXICOS EN LAS FUMIGACIONES EN LA FRANJA DE DERECHO DE VÍA EN LAS CARRETERAS Y EN LA ZONA DE PROTECCIÓN O DERECHO DE VÍA DE TREN, COMO ENTRE RIEL, SILLETA CLAVO Y TRAVIESA DE MADERA, A CARGO DEL DIPUTADO ÁNGEL II ALANÍS PEDRAZA, DEL GRUPO PARLAMENTARIO DEL PRD*” [PDF] consultado el 01/03/2023 en: http://sil.gobernacion.gob.mx/Archivos/Documentos/2016/10/asun_3420687_20161006_1475765876.pdf
89. SINEC. a (s. f.) “*Sistema Integral de Normas y Evaluación de la Conformidad*” [página web] consultado el 01/03/2023 en: <https://www.sinec.gob.mx/SINEC/Vista/Normalizacion/DetalleNMX.xhtml?pidn=dnltN3lk2lrQmUxckw5RXFqMEx1dz09>
90. SINEC. b (s. f.) “*Sistema Integral de Normas y Evaluación de la Conformidad*” [página web] consultado el 01/03/2023 en: <https://www.sinec.gob.mx/SINEC/Vista/Normalizacion/DetalleNMX.xhtml?pidn=RUx4Z2ZXZEEdZdFNCRHJXaWdzb0doQT09>
91. SINEC. c (s. f.) “*Sistema Integral de Normas y Evaluación de la Conformidad*” [página web] consultado el 01/03/2023 en: <https://www.sinec.gob.mx/SINEC/Vista/Normalizacion/DetalleNMX.xhtml?pidn=MzFXNkMxeC9RaTBlcUtvSGExUXkxUT09>

92. Sterren, M. (2016) “Residualidad de glifosato en suelos de Entre Ríos y su efecto sobre los microorganismos del suelo” [Página Web] consultado el 07/03/2023 en: http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1667-782X2016000300005&lng=es&nrm=iso
93. Muñoz, A. (2018) “Efecto de la fertilización fosfórica sobre la lixiviación y mineralización del herbicida glifosato en suelos de cultivo de arroz” [PDF] consultado el 07/03/2023 en: <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/102364/MU%20C3%91OZ%20-%20Efecto%20de%20la%20fertilizaci%C3%B3n%20fosf%C3%B3rica%20sobre%20la%20lixiviaci%C3%B3n%20y%20mineralizaci%C3%B3n%20del%20herbicida%20....pdf?sequence=2>
94. Okada et al. (2016) “Adsorption and mobility of glyphosate in different soils under no-till and conventional tillage” [Página Web] consultado el 07/03/2023 en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0016706115300823>
95. Velástegui. (2018) “El glifosato: Su uso e implicaciones en la salud humana” [PDF] consultado el 07/03/2023 en: <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/6747973.pdf>
96. Puricelli, E. y Leguizamón, E. (s. f.) “Glifosato (N-fosfometilglicina)” [PDF] consultado el 07/03/2023 en: https://www.produccion-animal.com.ar/produccion_y_manejo_pasturas/pasturas_combate_de_plagas_y_malezas/32-glifosato.pdf
97. Sasal, M. et al. (2010) “Pérdidas de glifosato por drenaje y escurrimiento y riesgo de contaminación de aguas”. [PDF] consultado el 07/03/2023 en: https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-07642010000500017
98. Caicedo, L. (2021) “EVALUACIÓN DE LOS PRINCIPALES IMPACTOS AMBIENTALES DEL USO DEL GLIFOSATO COMO AGENTE PLAGUICIDA DE CULTIVOS ILÍCITOS EN ZONAS RURALES DEL PAÍS” [PDF] consultado el 07/03/2023 en: <https://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/8740/1/57332-2021-2-GA.pdf>
99. Nivia, E. (s. f.) “Efectos sobre la salud y el ambiente de herbicidas que contienen glifosato” [PDF] consultado el 08/03/2023 en: http://www.mamacoca.org/docs_de_base/Fumigas/Nivia_Efectos_salud_ambiente_herbicidas_con_Glifosato.pdf
100. Medici, S. (s. f.) “Toxicología del glifosato: composición, efectos sobre el hombre y dinámica de la contaminación en el ambiente” [PDF] consultado el 08/03/2023 en: http://www.caliba.org.ar/newsletter2015/pdf_calibanews_15-07/Nota%20Tecnica.pdf

101. INECC. (2022) “*Glifosato*” [PDF] consultado el 08/03/2023 en: <http://www2.inecc.gob.mx/sistemas/plaguicidas/pdf/glifosato.pdf>
102. Canek, E. (2020) “*EVALUACIÓN ESPACIO-TEMPORAL DEL HERBICIDA GLIFOSATO EN AGUAS DE LA LOCALIDAD DE TENAMPULCO, PUEBLA PARA LA MODELACIÓN DE LA EXPOSICIÓN HUMAN*” [PDF] consultado el 08/03/2023 en: https://www.researchgate.net/figure/Figura-5-Ruta-de-degradacion-de-glifosato-en-el-ambiente-elaboracion-propia-2017-con_fig3_346929231
103. Bohórquez, D. (2020) “*Métodos analíticos para la determinación de glifosato en matrices ambientales*” [PDF] consultado el 08/03/2023 en: <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/77955/1023906433.2020.pdf?sequence=4&isAllowed=y>
104. EOS. (2023) “*¿Qué Es La Resolución Espacial En Una Imagen Satelital?*” [Página Web] consultado el 08/03/2023 en: <https://eos.com/es/blog/resolucion-espacial/>
105. IGAC. (s. f.) “*Guía de muestreo*” [PDF] consultado el 10/03/2023 en: <https://www.igac.gov.co/sites/igac.gov.co/files/guiademuestreo.pdf>
106. Islas, G. (2013) “*Determinación del glifosato y ácido aminometilfosfónico en suelos mediante HPLC con derivatización pre-columna*” [PDF] consultado el 10/03/2023 en: https://repository.uaeh.edu.mx/bitstream/bitstream/handle/123456789/14937/Tesis_determinacion-glifosato.pdf
107. Singh, S., et al. (2020) “*Herbicide Glyphosate: Toxicity and Microbial Degradation*” [Página Web] consultado el 10/03/2023 en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7602795/>
108. Gobierno de México. (2021) “*Degradación microbiana del glifosato y sus derivados: una estrategia para la biorremediación de suelos contaminados*” [PDF] consultado el 11/03/2023 en: [https://www.ciad.mx/degradacion-microbiana-del-glifosato-y-sus-derivados-una-estrategia-para-la-biorremediacion-de-suelos-contaminados/#:~:text=El%20glifosato%20es%20degradado%20en,et%20al.%2C%202016\).](https://www.ciad.mx/degradacion-microbiana-del-glifosato-y-sus-derivados-una-estrategia-para-la-biorremediacion-de-suelos-contaminados/#:~:text=El%20glifosato%20es%20degradado%20en,et%20al.%2C%202016).)
109. Burger, M. y Fernández, S. (2004) “*Exposición al herbicida glifosato: aspectos clínicos toxicológicos*” [PDF] consultado el 11/03/2023 en: http://www.scielo.edu.uy/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1688-03902004000300006#:~:text=Tiene%20una%20vida%20media%20de,tres%20d%C3%ADas%20en%20condiciones%20aer%C3%B3bicas.
110. Gobierno de España (2022) “*Glifosato en aguas continentales*” [PDF] consultado el 11/03/2023 en: https://www.miteco.gob.es/es/agua/temas/estado-y-calidad-de-las-aguas/informe-glifosato-marzo-2022_tcm30-538839.pdf

111. Barja, B. (1999) “*Interacción química del herbicida glifosato y compuestos relacionados con Fe (III)*” [PDF] consultado el 11/03/2023 en: https://bibliotecadigital.exactas.uba.ar/download/tesis/tesis_n3192_Barja.pdf
112. INTA. (2010) “*Aspectos ambientales del uso del glifosato*” [PDF] consultado el 11/03/2023 en: https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-aspectos_ambientales_del_uso_de_glifosato_version_pa.pdf
113. Shehata, A. et al. (2012) “*The effect of glyphosate on potential pathogens and beneficial members of poultry microbiota in vitro*” [PDF] consultado el 11/03/2023 en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/23224412/>
114. Ortega, E. y Fuentes, M. (2021) “*DINÁMICA DEL GLIFOSATO EN EL SUELO Y SUS EFECTOS EN LA MICROBIOTA*” [PDF] consultado el 11/03/2023 en: <https://www.revistascca.unam.mx/rica/index.php/rica/article/view/54197>
115. van Bruggen, A. et al. (2021) “*Indirect Effects of the Herbicide Glyphosate on Plant, Animal and Human Health Through its Effects on Microbial Communities*” [Página Web] consultado el 14/03/2023 en: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fenvs.2021.763917/full>
116. López, R. (2019) “El fitoplancton, básico para la vida en la Tierra” [Página Web] consultado el 14/03/2023 en: <https://www.gaceta.unam.mx/el-fitoplancton-basico-para-la-vida-en-la-tierra/>
117. Zirena, F., et al. (2018) “*Glifosato en cuerpos hídricos: problema ambiental*” [Página Web] consultado el 14/03/2023 en: http://www.scielo.org.pe/scielo.php?pid=S2313-29572018000300006&script=sci_arttext&tlng=en
118. Márquez, J. et al. (2021) “*Una Revisión de los Impactos Ambientales Actuales desde una Perspectiva Brasileña*” [Página Web] consultado el 14/03/2023 en: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00128-021-03295-4>
119. Kanissery, R. et al. (2019) [Página Web] consultado el 15/03/2023 en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6918143/>
120. CONACYT a. (2019) “*Monografía del glifosato*” [PDF] consultado el 15/03/2023 en: https://conacyt.mx/cibiogem/images/cibiogem/comunicacion/MONOGRAFIA_SOBRE_GLIFOSATO_19.pdf
121. CONACYT_b. (2019) “*Investigación científica: El herbicida glifosato incrementa en 41% el riesgo de desarrollar linfoma no Hodgkin*” [PDF] consultado el 15/03/2023 en: https://conacyt.mx/cibiogem/images/cibiogem/comunicacion/SE-HerbicidaGlifosato_CIBIOGEM.pdf

122. Richard, S. et al. (2005) “*Differential effects of glyphosate and roundup on human placental cells and aromatase*” [Página Web] consultado el 15/03/2023 en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/15929894/>
123. Samsel, A. y Seneff, E. (2013) “*Glyphosate’s Suppression of Cytochrome P450 Enzymes and Amino Acid Biosynthesis by the Gut Microbiome: Pathways to Modern Diseases*” [Página Web] consultado el 17/03/2023 en: <https://www.mdpi.com/1099-4300/15/4/1416>
124. Lee, H. et al. (2009) “*Comparative effects of the formulation of glyphosate-surfactant herbicides on hemodynamics in swine*” [Página Web] consultado el 17/03/2023 en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/19663613/>
125. Gill, J. et al. (2022) “*Glyphosate toxicity for animals*” [Página Web] consultado el 17/03/2023 en: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10311-017-0689-0>
126. Bach, N. (2016) “*Effect on the growth and development and induction of abnormalities by a glyphosate commercial formulation and its active ingredient during two developmental stages of the South-American Creole frog, Leptodactylus latrans*” [Página Web] consultado el 17/03/2023 en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/27638798/>
127. Díaz. (2021) “*Especies de malezas tolerantes y resistentes al herbicida glifosato*” [PDF] consultado el 17/03/2023 en: <https://biblioteca.inia.cl/bitstream/handle/20.500.14001/67785/NR42562.pdf?sequence=1>
128. FAO. (2007) “*Manejo de poblaciones de malezas resistentes a herbicidas*” [PDF] consultado el 20/03/2023 en: <https://www.fao.org/3/a1422s/a1422s.pdf>
129. Motta, E. et al. (2018) “*Glyphosate perturbs the gut microbiota of honey bees*” [Página Web] consultado el 20/03/2023 en: <https://www.pnas.org/doi/10.1073/pnas.1803880115>
130. Salazar, M. (s. f.) “*Glifosato en Urgencias Toxicológicas*” [Página web] consultado el 20/03/2023 en: <https://encolombia.com/medicina/guiasmed/u-toxicologicas/glifosato/>
131. Leino, L. (2021) “*Classification of the glyphosate target enzyme (5-enolpyruvylshikimate-3-phosphate synthase) for assessing sensitivity of organisms to the herbicide*” consultado el 20/03/2023 en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33243645/#full-view-affiliation-3>
132. Rueda-Ruzafa, L. et al. (2019) “*Gut microbiota and neurological effects of glyphosate*” [Página Web] consultado el 22/03/2023 en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31442459/>
133. Franco, V. (2018) “*Utilización de normas de bioseguridad en el manejo del glifosato y la aparición de intoxicaciones en trabajadores rurales*” [PDF] consultado

- el 22/03/2023 en:
<http://rephip.unr.edu.ar/bitstream/handle/2133/19498/PTE2014-Vitelli-2018.pdf?sequence=3&isAllowed=y>
134. Rosas, M. et al. (2019) “*Leyes y organismos que regulan el uso de plaguicidas en México*” [PDF] consultado el 22/03/2023 en:
<http://rctveracruz.org/descargarlibro/libros/PyE04.pdf>
135. Agrofy News. (2022) “*Un país apostó por una agricultura libre de agroquímicos y ahora padece un derrumbe productivo*” [Página web] consultado el 22/03/2023 en:
<https://news.agrofy.com.ar/noticia/197975/pais-aposto-agricultura-libre-agroquimicos-y-ahora-padece-derrumbe-productivo>
136. Finanzas. (2018) “*Sri Lanka autoriza de nuevo el glifosato entre presiones a su té*” [Página Web] consultado el 22/03/2023 en:
https://www.finanzas.com/empresas/sri-lanka-autoriza-de-nuevo-el-glifosato-entre-presiones-a-su-te_13839290_102.html
137. BBC. (2015) “*Colombia suspende uso del polémico pesticida glifosato contra cultivos de coca*” [Página Web] consultado el 25/03/2023 en:
https://www.bbc.com/mundo/noticias/2015/05/150514_colombia_glifosato_suspension_nc
138. Sedano, R. (2022) “*La Corte Constitucional de Colombia da su negativa a la aspersión de cultivos ilícitos con glifosato*” [Página Web] consultado el 25/03/2023 en:
<https://www.france24.com/es/am%C3%A9rica-latina/20220120-colombia-corte-constitucional-prohibicion-glifosato>
139. DW. (2019) “*Austria se convierte en primer país de la UE en prohibir el glifosato*” [Página Web] consultado el 25/03/2023 en:
<https://www.dw.com/es/austria-se-convierte-en-primer-pa%C3%ADs-de-la-ue-en-prohibir-el-glifosato/a-49449118>
140. SWI. (2021) “*Austria prohíbe usar glifosato en parques y jardines pero no en agricultura*” [Página Web] consultado el 25/03/2023 en:
https://www.swissinfo.ch/spa/austria-glifosato_austria-proh%C3%ADbe-usar-glifosato-en-parques-y-jardines-pero-no-en-agricultura/46637870
141. Tierra Viva (TV). (2021) “*Alemania ratificó su intención de prohibir el glifosato*” [Página Web] consultado el 02/04/2023 en:
<https://agenciaterraviva.com.ar/alemania-ratifico-su-intencion-de-prohibir-el-glifosato/#:~:text=El%20glifosato%20tambi%C3%A9n%20est%C3%A1%20prohibido,%2C%20Malta%2C%20Eslovenia%20y%20Suiza.>
142. Kogevinas, M. (2018) “*¿Es cancerígeno el glifosato?*” [Página Web] consultado el 12/01/2023 en:
<https://www.investigacionyciencia.es/revistas/investigacion-y-ciencia/el-futuro-del-dinero-729/es-cancerigeno-el-glifosato-16126>

143. Alcántara, R. et al. (2021) “*Glyphosate ban in Mexico: potential impacts on agriculture and weed management*” [Página web] consultado el 02/04/2023 en: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/ps.6362>
144. Instituto de Toxicología de la Defensa (ITOXDEF). (2016) “*Protocolo de toma de muestras de agua residual*” [PDF] consultado el 02/04/2023 en: <https://www.defensa.gob.es/itoxdef/Galerias/documentacion/protocolos/ficheros/PROTOCOLO DE TOMA DE MUESTRAS DE AGUA RESIDUAL ver 2.pdf>
145. Hernández, C. y Carpio, N. (2019) “*Introducción a los tipos de muestreo*” [PDF] consultado el 02/04/2023 en: <https://www.lamjol.info/index.php/alerta/article/view/7535/7746>
146. USON. a (s. f.) “*Muestreo*” [PDF] consultado el 02/04/2023 en: <http://www.estadistica.mat.uson.mx/Material/elmuestrero.pdf>
147. Mejías, B. y Jerez, B. (2006) “*Guía para la toma de muestras de residuos de plaguicidas agua, sedimento y suelo*” [PDF] consultado el 03/04/2023 en: <https://biblioteca.inia.cl/handle/20.500.14001/7099>
148. León, D. (2018) “*Tipos de Muestreo*” [PDF] consultado el 03/04/2023 en: <https://www.gestiopolis.com/tipos-de-muestreo/>
149. INECC. (2021) “*Definición de zonas para mediciones ambientales en la cuenca de Tula*” [PDF] consultado el 03/04/2023 en: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/702165/133_2021_Mediciones_a_mbianales_Cuenca_Tula.pdf
150. SADER. (2011) “*PROGRAMA ESTATAL DE DESARROLLO AGROPECUARIO SUSTENTABLE 2005 - 2011*” [PDF] consultado el 03/04/2023 en: http://intranet.e-hidalgo.gob.mx/NormatecaE/Archivos/Programa_DesarrolloAgropecuario.pdf
151. Pássaro, et al. (2016) “*Guía sobre principios básicos de cromatografía y sus aplicaciones*” [PDF] consultado el 03/04/2023 en: https://repositorio.sena.edu.co/bitstream/handle/11404/4694/guia_cromatograf%EDa.pdf;jsessionid=BACBB8B52090F1AAF65E725DFCE5344C?sequence=1
152. USON. b (s. f.) “*Cromatografía líquida de alta resolución (HPLC)*” [PDF] consultado el 03/04/2023 en: <http://tesis.uson.mx/digital/tesis/docs/19630/Capitulo2.pdf>
153. MNCN. (s. f.) “*Cromatografía líquida de alta eficacia*” [PDF] consultado el 03/04/2023 en: https://www.mncn.csic.es/docs/repositorio/es_ES/investigacion/cromatografia/cromatografia_liquida_de_alta_eficacia.pdf
154. Bohórquez, D (2020) “*Métodos analíticos para la determinación de glifosato en matrices ambientales*” [PDF] consultado el 03/04/2023 en: <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/77955/1023906433.2020.pdf?sequence=4&isAllowed=y>

155. Castaños (2015) “*Detectores empleados en HPLC*” [Página Web] consultado el 04/04/2023 en: <https://cienciadelux.com/2015/08/11/detectores-empleados-en-hplc/>
156. CONAGUA (s. f.) “*Sistema Nacional de Información del Agua*” [Página Web] consultado el 04/04/2023 en: <https://sina.conagua.gob.mx/sina/>
157. Salazar, N. (2016) “Disipación de glifosato en suelos de viñedos en Sonora, México.” [PDF] consultado el 05/04/2023 en: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0187-57792016000400385&script=sci_abstract
158. Aparicio, V. et al. (2015) “Los plaguicidas agregados al suelo y su destino en el ambiente” [PDF] consultado el 05/04/2023 en: https://inta.gob.ar/sites/default/files/inta_plaguicidas_agregados_al_suelo_2015.pdf
159. Ministerio del Ambiente (MA). (2014) “*Guía para muestreo en suelos*” [PDF] consultado el 05/04/2023 en: https://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2014/04/GUIA-MUESTREO-SUELO_MINAM1.pdf
160. Leyva, M., Espinoza, G. y Barreto, P. (2010) “*Protocolo de monitoreo de agua*” [PDF] consultado el 05/04/2023 en: https://bioremhttps://docs.google.com/document/d/1_UFbHsPh-ajZMTAhhZSwMrWRYzj0-CjG/edit.univie.ac.at/fileadmin/user_upload/p_biorem/education/research/protocols/Protocolo_Agua.pdf
161. Garba, J. et al. (2018) “*Simplified method for derivatization of extractable glyphosate and aminomethylphosphonic acid and their determination by high performance liquid chromatography*” [Página Web] consultado el 05/04/2023 en: https://www.researchgate.net/publication/329936206_Simplified_method_for_deriv_atization_of_extractable_glyphosate_and_aminomethylphosphonic_acid_and_their_determination_by_high_performance_liquid_chromatography
162. SAGARPA (2017) “*Agenda técnica agrícola*” [PDF] consultado el 08/04/2023 en: https://vun.inifap.gob.mx/VUN_MEDIA/BibliotecaWeb/media/agendas/4131_48_28_Agenda_T%C3%A9cnica_Hidalgo_2017.pdf
163. SAGARPA (2005) “*Evaluación alianza por el campo 2005*” [PDF] consultado el 08/04/2023 en: https://www.agricultura.gob.mx/sites/default/files/sagarpa/document/2018/11/20/15_46/20112018-2005-hgo-fa.pdf
164. INEGI. (2017) Carta topográfica. F14C88c
<https://www.inegi.org.mx/temas/topografia/>
165. INEGI, (2017) Carta topográfica. F14C89a
<https://www.inegi.org.mx/temas/topografia/>

166. NEGI, (2017) Carta topográfica. F14C88f
<https://www.inegi.org.mx/temas/topografia/>
167. NEGI, (2017) Carta topográfica. F14C89d
<https://www.inegi.org.mx/temas/topografia/>
168. Ley General de Salud (LGS) de 1984.
169. Ley Federal de Sanidad Vegetal (LFSV) de 1994
170. Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA) de 1988.
171. Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA) de 1988
172. Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (LGPGIR) de 2003
173. Ley Federal de Sanidad Animal de 2007
174. Reglamento en Materia de Registros, Autorizaciones de Importación y Exportación y Certificados de Exportación de Plaguicidas, Nutrientes Vegetales y Sustancias y Materiales Tóxicos o Peligrosos (2004)
175. Reglamento de la Ley General de Salud en Materia de Publicidad (2000)
176. Reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente en Materia de Prevención y Control de la Contaminación de la Atmósfera (1988)
177. Reglamento de la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (2006)
178. NOM-003-STPS-1999
179. PROY-NOM-003-STPS-2016
180. NOM-032-SAG/FITO-2014
181. NOM-033-FITO-1995
182. NOM-034-FITO-1995
183. NOM-043-SCT/2003
184. NOM-047-SSA1-2011
185. NOM-052-FITO-1995
186. NOM-057-FITO-1995
187. NOM-082-SAG-FITO/SSA1-2017
188. NOM-127-SSA1-2021
189. NOM-230-SSA1-2002
190. NOM-232-SSA1-2009
191. NOM-256-SSA1-2012
192. NOM-001-SEMARNAT-1996
193. NOM-001-SEMARNAT-2021
194. NOM-138-SEMARNAT/SSA1-2012
195. NOM-021-SEMARNAT-2000
196. NMX-AA-014-1980

197. NMX-AA-003-1980
198. NMX-AA-132-SCFI-2016