

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA
ARGENTINA**

FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS AGRARIAS

“VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LOS PRINCIPALES
MÉTODOS PARA LA MEDICIÓN DE VOLATILIDAD Y
DERIVA DE HERBICIDAS.”

Trabajo final de graduación para obtener el título de:

INGENIERA AGRONÓMICA



Autor: Martina Liggieri

Tutor: Ing. Juan Ignacio Pina

Fecha: Junio 2024

Tabla de contenido

1. Introducción.....	2
2. Objetivo general del trabajo.....	3
3. Conceptos clave – Dispersión, Volatilidad y Deriva.....	4
3.1 Parámetros	6
4. Normativa a nivel nacional.....	10
4.1 Servicio Nacional de Sanidad y Calidad Agroalimentaria (SENASA)	10
4.2 Resoluciones y Normativas:	13
4.3 Legislación Provincial y Municipal:	13
4.4 Guías complementarias a la normativa Nacional.....	14
4.4.1 Buenas Prácticas de Laboratorio	14
4.4.2 Buenas Prácticas Agrícolas (BPA).....	16
5. Implicancias de la incorrecta medición de deriva y volatilidad	18
6. Revisión de métodos generales	20
6.1 Métodos de medición en Laboratorio	20
6.1.1 Método de Bioensayo.....	22
6.1.2 Humidómetros	23
6.1.3 Cromatografía gas-líquido.....	25
6.1.4 Evaporación controlada y Cromatografía Líquida	26
6.2 Métodos de medición a campo	28
6.2.1 Efectos fitotóxicos sobre un cultivar susceptible.	29
6.2.2 Trampas de aire	31
6.2.3 Micro túneles.....	34
7. Discusión	37
7.1. Evaluación de las ventajas y desventajas de los métodos citados	37
7.2. Consideraciones sobre la Normativa y Buenas Prácticas de Aplicación de Productos Fitosanitarios	39
7.3. Otros factores a considerar	40
8. Conclusiones	43
Bibliografía	45

1. Introducción

El principal desafío en el control y manejo de malezas durante la última década ha sido la resistencia de estas a los herbicidas comúnmente utilizados. Particularmente, se ha puesto énfasis en la evolución de malezas resistentes al glifosato. Con la aparición de nuevas tecnologías que permitieron el desarrollo de cultivos resistentes al glifosato, este herbicida fue inicialmente considerado una solución ideal para el control químico de malezas. Sin embargo, su uso excesivo e indiscriminado ha acelerado la aparición de resistencias por parte de las malezas, incluyendo casos de resistencias múltiples. Esta situación ha restringido significativamente las opciones disponibles para el control químico de ciertas malezas, lo que ha impulsado el desarrollo de nuevas moléculas con el propósito de mantener una gestión efectiva de las malezas.

La aplicación de fitosanitarios es un proceso complejo en el cual influyen y confluyen múltiples factores que inciden en el resultado final, sea este el deseado o no. Una de las mayores problemáticas que puede acarrear este proceso es cuando los fitosanitarios utilizados, especialmente los herbicidas, no logran alcanzar el objetivo blanco para el cual fueron indicados y, en cambio, alcanzan el cultivo al cual se intenta proteger. Esto puede traducirse en pérdidas millonarias para los productores si el cultivo resulta ser susceptible al activo aplicado.

De aquí surge el interés por parte de la industria para documentar y cuantificar la deriva de los herbicidas químicos. Hoy en día, aunque se disponen de diversas técnicas para analizar la volatilización y la deriva de herbicidas en entornos de laboratorio y controlados, los ensayos que puedan realizarse a campo son particularmente valiosos, ya que ofrecen datos directos que son fundamentales al evaluar el potencial de riesgo asociado a la volatilización de un producto herbicida.

Sin embargo, a nivel mundial no se disponen de numerosos datos registrados a partir de experimentaciones a campo, que permitan valorar la capacidad de deriva de diferentes formulaciones de herbicidas hormonales en distintos ambientes. “Es menor aún la información documentada al respecto en Argentina” (Gigón y Yannicari, 2015).

2. Objetivo general del trabajo

El objetivo principal de este trabajo final de graduación es llevar a cabo una revisión exhaustiva de la literatura actual relacionada con las variadas metodologías de medición de volatilidad y deriva de herbicidas de manera indirecta (a campo) y en condiciones controladas de laboratorio.

El resultado de esta revisión será un cuadro de efectividad donde se plasmará el desempeño de cada metodología en diversas situaciones que puedan presentarse en la práctica.

A diferencia de una tesis convencional que se centra en la formulación y prueba de hipótesis específicas, este trabajo se enfoca en la síntesis y análisis de investigaciones previas para ofrecer una comprensión más profunda de las distintas metodologías y explorar posibles mejoras que podrían ser consideradas en la medición de la volatilidad y deriva de herbicidas.

La elección de un método adecuado para medir la volatilidad y deriva de herbicidas en el agro debe considerar tres variables principales: económica, rapidez de medición y exactitud de los resultados, según las siguientes definiciones:

- **Económica:** Viabilidad financiera de la implementación de un método particular;
- **Rapidez de medición:** Tiempo necesario para obtener resultados confiables;
- **Exactitud:** Capacidad del método para proporcionar mediciones precisas y representativas.

A través de esta investigación, se intentará demostrar si ciertos métodos, ya sea de laboratorio o a campo, pueden cumplir con estos criterios de manera más efectiva que otros. La identificación de tales métodos tiene como objetivo permitir a agricultores, científicos y reguladores tomar las decisiones más asertivas sobre el uso de los herbicidas, minimizando así los posibles impactos negativos y maximizando los beneficios de la agricultura moderna.

La pregunta central que guiará a esta investigación es: ¿Cuáles son las mejores metodologías disponibles, ya sea de laboratorio o de campo, para medir la volatilidad y deriva de herbicidas en términos de economía, rapidez y exactitud?

3. Conceptos clave – Dispersión, Volatilidad y Deriva.

La volatilidad y la dispersión de un producto fitosanitario son dos conceptos relacionados pero distintos uno del otro.

La **dispersión** se refiere a la distribución aleatoria o a la propagación de un producto químico en el ambiente. Puede ocurrir de diversas formas, como la dispersión atmosférica de contaminantes o la dispersión de productos químicos en el suelo o el agua. En la dispersión, los compuestos químicos pueden moverse a través de procesos naturales como el viento y las corrientes de agua, o bien puede ser resultado de actividades humanas, como la dispersión de pesticidas durante la aplicación agrícola.

La **deriva** se refiere específicamente al movimiento involuntario y no deseado de un producto químico fuera del área de aplicación prevista durante su aplicación. En el contexto agrícola, por ejemplo, la deriva puede ocurrir cuando los pesticidas aplicados sobre un cultivo son transportados por el viento o por otras condiciones ambientales hacia áreas no destinadas, como cultivos adyacentes, cuerpos de agua o hábitats naturales. Puede variar dependiendo de factores climáticos, características del terreno y las prácticas de aplicación. Esta deriva, a su vez, puede clasificarse como:

- Exoderiva: Gotas que salen del área objetivo del cultivo a tratar.
- Endoderiva: Que son gotas que se pierden dentro del mismo cultivo a tratar pero que entran en contacto con el suelo o agua, por ejemplo.

En resumen, mientras que la dispersión se refiere a la propagación general de un producto químico en el medio ambiente, la deriva se refiere específicamente al movimiento no deseado de un producto

Según Andersen et al. (2004), se identifican al menos dos modalidades de deriva durante la aplicación de herbicidas, lo que resalta la complejidad de este proceso. En primer lugar, se menciona la deriva ocasionada por el transporte de las gotas del caldo de aplicación por la acción del viento hacia áreas no deseada, previo a alcanzar su destino previsto. Por otro lado, se describe la deriva resultante de la volatilización del herbicida tras impactar en el objetivo deseado, convirtiéndose en forma gaseosa y desplazándose fuera del sitio de aplicación.

Lo que describe Andersen en su trabajo también se conoce como deriva primaria y secundaria.

- Deriva primaria: La deriva primaria se refiere al movimiento de las gotas de pulverización desde el equipo de aplicación hacia áreas no deseadas, antes de alcanzar el objetivo previsto. Esta forma de deriva suele ser causada por factores como la velocidad y dirección del viento, la altura de aplicación y las características del equipo utilizado.

Como el agua es el principal vehículo de aplicación, siempre hay un potencial riesgo de que algunas gotas se movilicen hacia zonas en donde no deberían hacerlo. Es por eso que la deriva primaria suele ser la más problemática en la aplicación de la mayoría de los productos. Sin embargo, puede ser fácilmente evitada o controlada mediante modificaciones al momento de la aplicación.

- Deriva secundaria: la deriva secundaria ocurre cuando el producto químico aplicado impacta en el objetivo deseado, pero luego se desprende o se volatiliza, y es transportado fuera del área de tratamiento original. Esto puede ocurrir debido a factores como la volatilidad del producto químico, la temperatura y la humedad del aire, así como la característica del suelo y de los cultivos. La deriva secundaria puede llevar a la contaminación del aire y del suelo en áreas cercanas, incluso si la aplicación inicial fue realizada de manera cuidadosa y precisa.

La **volatilidad**, representa la tendencia del plaguicida a pasar a la fase gaseosa. Es una propiedad intrínseca del compuesto y está influenciada por factores como la presión de vapor, la temperatura, la humedad relativa y las propiedades fisicoquímicas del producto que ocurre después de la aplicación. Se refiere al movimiento del fitosanitario vía evaporación.

“La volatilidad de los compuestos en estado puro se relaciona directamente con la presión de vapor (PV) inherente al compuesto químico. Es así, como, la estructura molecular de un plaguicida determina sus propiedades químicas, como la PV y la solubilidad, y su reactividad química” (Montoya et al. 2023)

La presión de vapor es un factor que puede ser considerado al predecir si la probabilidad de volatilidad de un producto fitosanitario. Las sustancias con mayor presión de vapor se evaporan más fácilmente que las sustancias con una menor presión de vapor.

Esto se registra en una sustancia pura, pero en las aplicaciones de productos fitosanitarios donde es una solución con un vehículo como el agua, pueden existir cambios comparados al comportamiento de la sustancia pura.

En una solución, si el soluto que se agrega posee un bajo potencial de volatilidad, se producirá un descenso de la presión de vapor, ya que este reduce la capacidad del disolvente a pasar de la fase líquida a la fase vapor. El grado en que un soluto no volátil disminuye la presión de vapor, es proporcional a su concentración.

Todas las sustancias orgánicas son volátiles en algún grado dependiendo de su presión de vapor, del estado físico en que se encuentren y de la temperatura ambiente. Si bien estos tres últimos son los factores más influyentes, no son los únicos. De acuerdo con los datos ofrecidos por AAPRESID (2022), otros aspectos que podrían tener un impacto son: la tasa de absorción química de la hoja, la composición del producto fitosanitario, la humedad relativa, la temperatura del aire y la textura del suelo. Es importante destacar que los suelos más gruesos, como la arena, tienen una mayor tendencia a la volatilidad.

La volatilidad puede afectar la exposición y la dispersión del producto químico en el ambiente, ya que los vapores pueden desplazarse y ser transportados por el aire a distancias significativas desde el lugar de aplicación.

En definitiva, la volatilidad se basa en la capacidad de un producto químico para cambiar de estado, de líquido o sólido a gaseoso. Mientras que la dispersión se refiere a la distribución y movimiento de un producto en el ambiente, sin importar los procesos de transporte.

3.1 Parámetros

La “Escala de Mensink” es una escala numérica que va de 0 a 100 donde:

- **Valor 0-25:** la deriva es mínima o poco probable.
- **Valor 26-50:** la deriva es baja, pero no debe descartarse su deriva potencial. Como ejemplo se recomienda en estas condiciones el uso de boquillas de bajo volumen y ajuste en el equipo de aplicación.
- **Valor 51-75:** la deriva es moderada y existe riesgo significativo que las partículas de herbicida se desplacen más allá de la zona de aplicación. Como ejemplo se requieren precauciones adicionales como limitar la velocidad del viento y utilizar boquillas de baja deriva.
- **Valor 76-100:** La deriva es máxima, muy probable y se considera peligrosa. La aplicación de herbicidas en estas condiciones es arriesgada y no se recomienda su realización.

La Escala se utiliza como una herramienta de evaluación rápida para tomar decisiones sobre cuándo y cómo aplicar herbicidas de manera segura y efectiva. Permite a los agricultores considerar las condiciones adecuadas para la aplicación de herbicidas o en todo caso, si es necesario tomar precauciones adicionales para minimizar la deriva.

De acuerdo con la escala de Mensink et al (1995), las sustancias con presiones de vapor de $7,5 \times 10^{-6}$ - $7,5 \times 10^{-3}$ mm Hg son ligeramente a moderadamente volátiles, lo cual indica que varios de los ésteres anteriores pueden volatilizar después de la aplicación. Si bien es esperable que se produzcan daños en cultivos no blanco por deriva de la pulverización, es bastante probable que un daño significativo en realidad pueda ocurrir debido a la volatilización en particular cuando se utilizan las formulaciones de éster de etilo, éster de butilo y éster de isobutilo. Estos ésteres de cadena más corta son mucho más volátiles que los ésteres de cadena más larga y formas de sal de 2,4-D. Además, persisten en la atmósfera durante largos períodos de tiempo lo que aumenta el tiempo y espacio de exposición.

La guía OPPTS 835.6100 proporciona algunos cálculos y sistemas de clasificación para examinar la volatilidad de los productos químicos de superficies secas no adsorbentes, del agua y del suelo húmedo.

A continuación, se proporciona un sistema de clasificación de los productos fitosanitarios que permite establecer el potencial de volatilización de superficies secas no adsorbentes a partir de la presión de vapor (CUADRO 1).

Presión de vapor a 25° C				Clase de potencial de volatilización
Torr	atm	Pa	mPa	
$\leq 9.98 \times 10^{-7}$	$\leq 1.32 \times 10^{-9}$	$\leq 1.33 \times 10^{-4}$	≤ 0.133	Bajo o nulo potencial de volatilización en condiciones de campo
$< 3.90 \times 10^{-5} - > 9.98 \times 10^{-7}$	$< 5.13 \times 10^{-8} - > 1.32 \times 10^{-9}$	$< 5.20 \times 10^{-3} - > 1.33 \times 10^{-4}$	$< 5.20 - > 0.133$	Moderado potencial de volatilización en condiciones de campo
$\geq 3.90 \times 10^{-5}$	$\geq 5.13 \times 10^{-8}$	$\geq 5.20 \times 10^{-3}$	≥ 5.20	Intermedio a alto potencial de volatilización en condiciones de campo

Cuadro 1 - Fuente: Atanor SCA (2017) "Potencial de Volatilización de productos fitosanitarios a base de 2,4-D"

El índice más apropiado para evaluar la capacidad de un herbicida a volatilizarse desde el agua o del suelo húmedo es la constante de Henry, la cual tiene en cuenta la presión de vapor, el peso molecular y la solubilidad del herbicida. Aquellos herbicidas que puedan disolverse en agua tienen una baja presión de vapor, una alta solubilidad y un alto potencial de lixiviación, tendrán una baja a nula volatilidad y se considera como una constante de Henry baja. Aquellos herbicidas que tengan una constante de Henry alta, van a tener una presión de vapor elevada, una solubilidad baja y un potencial alto de volatilizarse desde el suelo húmedo, por ende su volatilidad va a ser moderada a alta.

VOLATILIDAD DE LA PLAGUICIDA		RANGOS DEL VALOR (atm m ³ /mol)	
No volátil	El plaguicida puede disolverse en agua	Menor a 3×10^{-7}	Constante (H) BAJA <ul style="list-style-type: none"> ● Presión de vapor baja ● Alta solubilidad ● Tiene potencial para lixiviarse
Baja volatilidad		3×10^{-7} a 1×10^{-5}	
Volatilidad moderada	El plaguicida puede evaporarse	1×10^{-5} a 1×10^{-3}	Constante (H) ALTA <ul style="list-style-type: none"> ● Presión de vapor alta ● Solubilidad baja ● Tiene potencial alto para volatilizarse del suelo húmedo
Alta volatilidad		Mayor a 1×10^{-3}	

Cuadro 2 – Constante de la ley de Henry

Egan y Mortensen (2012), sugieren que el uso de formulaciones con baja capacidad de volatilización son una buena estrategia para disminuir la deriva de estos herbicidas, dado que la volatilización y el riesgo de deriva son inversamente proporcionales.

El uso de formulaciones de baja volatilidad es una estrategia importante en la agricultura para reducir la deriva y minimizar los riesgos asociados. Estas formulaciones, a menudo incluyen aditivos especiales que retardan la evaporación del herbicida o que lo hacen más pesado para que permanezca en la superficie tratada. Esto permite una aplicación más controlada y dirigida, lo que es fundamental para la protección de cultivos y la reducción de los impactos ambientales y económicos.

Dependiendo de la reacción que presenten las formulaciones a las variaciones en las condiciones meteorológicas, su volatilidad se puede clasificar de tres maneras:

Condición de Volatilidad	Condiciones meteorológicas
Volátiles	Son siempre volátiles
Medianamente volátiles	Dependen de la temperatura y humedad relativa del ambiente
Baja o Nula volatilidad	Independientes de las condiciones meteorológicas ambientales.

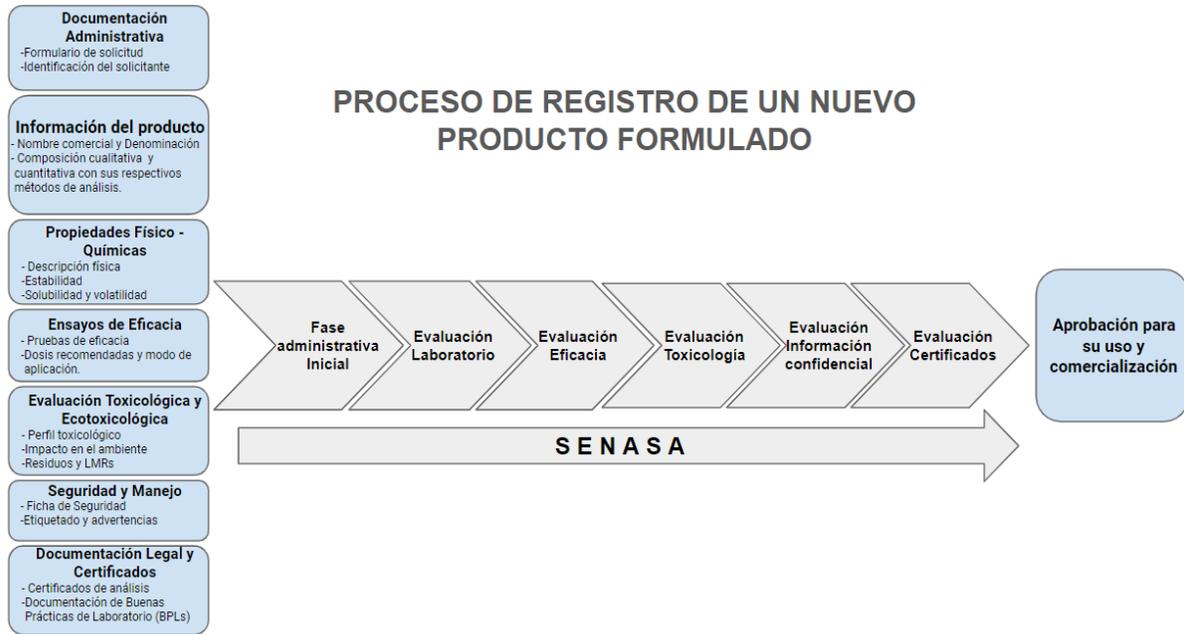
4. Normativa a nivel nacional

4.1 Servicio Nacional de Sanidad y Calidad Agroalimentaria (SENASA)

SENASA es la principal autoridad responsable de la regulación y el control de los productos fitosanitarios en Argentina. Esta entidad es la encargada de evaluar y aprobar estos productos antes de su uso comercial, asegurando que cumplan con los estándares de seguridad y eficacia, y abarcando aspectos críticos como su volatilidad.

En Argentina, la regulación de la volatilidad de los productos fitosanitarios se enmarca dentro de una normativa más amplia que supervisa su uso, comercialización y aplicación. Este marco normativo tiene como objetivo principal garantizar la seguridad ambiental y proteger la salud humana.

El proceso de registro de un nuevo producto fitosanitario se inicia con la presentación de un extenso paquete de datos que cubre varios aspectos técnicos, científicos y legales del producto. Este comprende documentación administrativa, información detallada del producto, estudios de eficacia y residuos, evaluaciones toxicológicas y medidas de seguridad y manejo. Tras la presentación del paquete de datos completo, la autoridad competente (SENASA) procede a una evaluación exhaustiva de la documentación y los estudios presentados. Esta evaluación puede incluir revisiones técnicas realizadas por expertos, inspecciones de las instalaciones de fabricación y, en ciertos casos, la solicitud de información adicional o estudios complementarios. Este proceso (*Esquema 1*) asegura que el producto sea seguro, eficaz y de calidad adecuada para su uso en la agricultura.



Esquema 1: “Resumen de las etapas principales que componen el proceso de registro de un nuevo producto formulado”

Primero, se debe presentar documentación administrativa que incluye un formulario oficial de solicitud de registro e información detallada sobre la empresa solicitante (nombre, dirección y datos de contacto). En el caso de productos importados, también se requiere un certificado de libre venta emitido por la autoridad competente del país de origen.

A continuación, se debe proporcionar información detallada del producto, como su nombre comercial y denominación genérica. Es esencial describir la composición cualitativa y cuantitativa del producto, detallando los ingredientes activos e inertes junto con sus respectivas concentraciones. Además, es necesario presentar los métodos analíticos utilizados para determinar la composición del producto y la concentración de los ingredientes activos.

La presentación de las propiedades físico-químicas del producto es crucial. Esto incluye una descripción física del producto, indicando su estado (líquido, sólido, etc.), color, olor y otras características físicas. Se deben aportar datos sobre la estabilidad del producto bajo diferentes condiciones de almacenamiento, así como información sobre su solubilidad en agua y otros disolventes, y su volatilidad.

Los ensayos de eficacia del producto son otro componente vital del paquete de datos. Se deben presentar resultados de estudios de campo y laboratorio que demuestren la eficacia del producto contra las plagas o enfermedades para las cuales se propone su uso. Además, es necesario proporcionar instrucciones claras sobre la dosis recomendada y el modo de aplicación del producto.

La evaluación toxicológica y ecotoxicológica incluye estudios que evalúan la toxicidad aguda, subcrónica y crónica del producto en diferentes organismos. También se deben presentar datos sobre el impacto ambiental del producto, incluyendo su efecto en organismos no objetivo, como abejas, aves y peces, así como su persistencia y degradación en el suelo y el agua. Es crucial incluir estudios de residuos en cultivos tratados y establecer los Límites Máximos de Residuos (LMRs) permitidos.

En términos de seguridad y manejo, se debe proporcionar una ficha de seguridad del material (MSDS) que incluya información sobre los riesgos del producto y las medidas de manejo seguro. También es necesario presentar una propuesta de etiqueta que cumpla con los requisitos de SENASA, incluyendo advertencias, instrucciones de uso y medidas de precaución.

Además, se deben presentar certificados de análisis emitidos por laboratorios acreditados que confirmen la composición y calidad del producto. La documentación debe incluir certificaciones de Buenas Prácticas de Laboratorio (BPL) para asegurar que la producción del producto cumple con los estándares establecidos.

En algunos casos, pueden ser necesarios estudios adicionales para productos con características específicas, como formulaciones nuevas o combinaciones de ingredientes activos.

4.2 Resoluciones y Normativas:

- **Resolución SENASA N° 350/1999:** Esta resolución establece las normas para el registro, importación, elaboración, formulación, fraccionamiento, distribución y comercialización de productos fitosanitarios. Aunque no se enfoca exclusivamente en la

volatilidad, sí considera las propiedades fisicoquímicas de los productos, incluidas las relacionadas con la volatilidad.

- **Resolución SENASA N° 367/2014:** Establece requisitos específicos para el etiquetado y la clasificación de los productos fitosanitarios, incluyendo advertencias sobre los riesgos de volatilización.
- **Resolución SENASA N° 271/2010:** Establece las condiciones que deben reunir los Laboratorios que realicen ensayos biológicos y químicos, con fines de producción de datos toxicológicos, ecotoxicológicos y de residuos de plaguicidas.

4.3 Legislación Provincial y Municipal:

Además de las regulaciones nacionales, existen leyes y ordenanzas provinciales y municipales que pueden establecer restricciones adicionales sobre la aplicación de fitosanitarios cerca de áreas sensibles, como zonas urbanas, escuelas y cuerpos de agua, para minimizar los riesgos asociados con la volatilidad.

En resumen, la volatilidad de los fitosanitarios está regulada en Argentina a través de un conjunto de normativas y medidas que buscan proteger el ambiente y la salud humana. Estas regulaciones son implementadas y supervisadas principalmente por SENASA, con el apoyo de legislaciones provinciales y municipales que pueden establecer controles adicionales.

Sin embargo, hoy en día no existen protocolos estandarizados (OECD) para evaluar volatilidad a campo ni requisitos establecidos de propiedades fisicoquímicas relacionadas a la volatilidad. Esta falta de regulación y de metodologías precisas genera un vacío crítico en la evaluación de riesgos y en la implementación de prácticas seguras en el uso de productos fitosanitarios.

4.4 Guías complementarias a la normativa Nacional

Con el objetivo de facilitar la correcta implementación de las normativas mencionadas y mejorar la práctica profesional, diversas instituciones y organismos han desarrollado guías de buenas prácticas y manuales complementarios. Estas herramientas no solo ayudan a interpretar y aplicar las regulaciones de manera más eficiente, sino que también proporcionan recomendaciones prácticas basadas en la experiencia y el conocimiento acumulado en el sector.

4.4.1 Buenas Prácticas de Laboratorio

Las Buenas Prácticas de Laboratorio (BPL) son establecidas por SENASA en la resolución N° 274/2010. Esta resolución establece los requisitos y condiciones que deben cumplir los laboratorios que realizan ensayos biológicos y químicos con el fin de producir datos toxicológicos, ecotoxicológicos y de residuos de plaguicidas en Argentina.

Los laboratorios que deseen obtener reconocimiento por el cumplimiento de los Artículos 3°, 4° y 9° de la Resolución N° 617/2002, deben presentar documentación que respalde su adhesión a las Buenas Prácticas de Laboratorio, tal como lo exige la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE). Esta documentación debe ser emitida por el Organismo Argentino de Acreditación (OAA), organismo responsable del monitoreo de BPLs en la Republica Argentina.

A continuación, se detallarán los principios fundamentales establecidos por la OCDE en relación con las Buenas Prácticas de Laboratorio (BPL).

En cuanto a la organización y gestión del laboratorio, las BPL exigen una estructura organizativa claramente definida, con roles y responsabilidades específicas para cada miembro del equipo. Además, se requiere la implementación de un sistema de gestión de calidad que abarque todos los aspectos operativos del laboratorio. Es fundamental contar con un responsable técnico cualificado que supervise las actividades del laboratorio y garantice el cumplimiento de las normas establecidas. Todo el personal del laboratorio debe estar debidamente cualificado y recibir formación continua para mantener y mejorar sus competencias.

En cuanto a las instalaciones del laboratorio, estas deben estar adecuadamente diseñadas y mantenidas para minimizar riesgos y asegurar la calidad de los resultados obtenidos. Las condiciones ambientales, como temperatura y humedad, deben ser controladas según las especificaciones requeridas para los ensayos. Todos los equipos e instrumentos utilizados en el laboratorio deben ser adecuados y recibir mantenimiento regular para asegurar su correcto funcionamiento y precisión. Además, deben seguirse procedimientos de calibración y verificación periódica para garantizar la exactitud de las mediciones.

En cuanto a la metodología, las BPL exigen el uso de métodos de ensayo validados y normalizados que aseguren la reproducibilidad y la fiabilidad de los resultados. Las instrucciones y procedimientos para la realización de los ensayos deben estar documentados, asegurando la uniformidad y el cumplimiento de las normas.

Los materiales y reactivos utilizados en el laboratorio deben ser seleccionados y almacenados adecuadamente para mantener su integridad. Es fundamental mantener registros de los lotes de reactivos y materiales utilizados en los ensayos para asegurar la trazabilidad.

El manejo de muestras requiere procedimientos claros para su recepción, identificación y registro, asegurando su correcta trazabilidad y manejo adecuado. Además, las muestras deben conservarse bajo condiciones adecuadas durante el tiempo necesario para su análisis.

Finalmente, es crucial mantener registros completos y precisos de todos los datos obtenidos en los ensayos y elaborar informes claros y concisos que reflejen los resultados y conclusiones de los mismos. Las BPL también incluyen la implementación de controles de calidad internos y la participación en programas de intercomparación y ensayos de aptitud externos para monitorear la precisión y exactitud de los resultados. El cumplimiento de normas de seguridad y procedimientos para la gestión adecuada de residuos químicos y biológicos es esencial para proteger al personal y al medio ambiente.

Esta regulación busca asegurar que los ensayos biológicos y químicos se realicen bajo estándares rigurosos de calidad y seguridad, contribuyendo así a la protección del ambiente y la salud pública en el contexto de la producción y uso de plaguicidas.

4.4.2 Buenas Prácticas Agrícolas (BPA)

Las Buenas Prácticas Agrícolas (BPA) son un conjunto de principios, normas y recomendaciones técnicas aplicables a la producción, procesamiento y transporte de alimentos, orientadas a asegurar la protección de la higiene, la salud humana y el medio ambiente, mediante métodos ecológicamente seguros, higiénicamente aceptables y económicamente factibles.

La Cámara de Sanidad Agropecuaria y Fertilizantes (CASAFE) posee amplia documentación sobre las Buenas Prácticas Agropecuarias (BPA). Estas se enfocan en el uso responsable de productos fitosanitarios para proteger los cultivos de plagas, malezas y enfermedades, garantizando así la producción de alimentos en cantidad y calidad sin comprometer la salud humana ni el ambiente. En las mismas, establecen que el manejo responsable de los agroquímicos se lleva a cabo en tres etapas: antes, durante y después de su aplicación.

Antes de la aplicación, es esencial adquirir los productos fitosanitarios mediante una receta agronómica, lo cual asegura que se empleen los productos adecuados para cada situación específica.

Durante la aplicación, se debe prestar atención a las condiciones climáticas para asegurar una aplicación efectiva y minimizar el riesgo de deriva o contaminación. Además, es crucial utilizar el equipo de protección personal adecuado para proteger la salud de quienes manejan estos productos.

Después de la aplicación, es importante lavar los envases vacíos de fitosanitarios, perforarlos y entregarlos a un centro de reciclado o disposición final, evitando así su reutilización indebida y contribuyendo a la gestión adecuada de residuos.

De esta manera, las BPA:

- Promueven que los productos agrícolas no hagan daño a la salud humana y animal ni al ambiente.
- Protegen la salud y la seguridad de los trabajadores.
- Tienen en cuenta el buen uso y manejo de los insumos agrícolas.

El siguiente capítulo abordará en detalle las implicancias de la incorrecta medición de deriva, donde se explorará cómo las deficiencias en las metodologías actuales pueden influir negativamente en la gestión de riesgos, en la protección del ambiente y la salud pública.

5. Implicancias de la incorrecta medición de deriva y volatilidad

La agricultura desempeña un papel crítico en la seguridad alimentaria y la economía global. En el caso de Argentina, en el año 2022 la agricultura representó un 25,6% del Producto Bruto Interno (PBI) del país.

La volatilización de productos fitosanitarios puede afectar significativamente a estos parámetros. Algunos de los numerosos riesgos asociados a la deriva de herbicidas son:

1. **Contaminación de cultivos y alimentos:** Los productos fitosanitarios volátiles pueden dispersarse en el aire y depositarse en cultivos cercanos, contaminando tanto los cultivos en crecimiento como a los alimentos ya cosechados. Esta contaminación puede conducir a la presencia de residuos de químicos en los alimentos, lo que plantea riesgos para la salud humana cuando estos alimentos son consumidos.

2. **Reducción de la calidad de los cultivos:** Los efectos fitotóxicos de los agroquímicos volátiles pueden manifestarse en forma de daños en las hojas, malformaciones en las plantas o una disminución en la cantidad de los alimentos producidos.

3. **Pérdida de ingresos para los agricultores:** Esto puede estar asociado a la reducción en el rendimiento y en la calidad de los cultivos, o a la necesidad de una aplicación adicional para compensar la pérdida causada por la volatilización.

4. **Impacto en la Biodiversidad:** Puede afectar la vegetación y la vida silvestre en áreas cercanas. Los herbicidas pueden dañar o matar plantas no objetivo en los alrededores, lo que a su vez puede tener un impacto negativo en la fauna que depende de esas plantas.

5. **Contaminación de Agua:** Los herbicidas transportados por la deriva pueden llegar a cuerpos de agua cercanos, como ríos, arroyos y lagos. Esto puede dar lugar a la contaminación del agua y afectar negativamente a los ecosistemas acuáticos y la calidad del agua potable.

6. **Resistencia de Malezas:** contribuir al desarrollo de resistencia de las malezas a estos productos químicos. Las malezas que están expuestas a dosis subletales de herbicidas debido a la deriva pueden volverse resistentes con el tiempo, lo que complica la gestión de malezas en el futuro.

7. **Impacto en la Salud Humana:** La exposición involuntaria a la deriva de herbicidas puede plantear riesgos para la salud humana. Los trabajadores agrícolas, las comunidades cercanas a los campos de cultivo y las personas que consumen agua contaminada pueden estar en riesgo en cuanto a su salud.

8. **Desafíos Regulatorios y Legales:** La deriva de herbicidas puede llevar a conflictos legales y disputas entre agricultores y propietarios de tierras vecinas. También puede dar lugar a sanciones regulatorias si se demuestra que se ha incumplido con las normativas de aplicación de herbicidas.

9. **Pérdida de Recursos y Costos Adicionales:** Como se enunció anteriormente, la deriva puede resultar en una pérdida de recursos económicos para los agricultores, ya que pueden tener que reemplazar cultivos dañados.

10. **Contaminación del Suelo:** La deriva puede llevar a la contaminación del suelo. Esto afecta la calidad del suelo y la salud de los cultivos. Adicionalmente puede llegar a perjudicar la capacidad del suelo para mantener la vida microbiana necesaria para favorecer los cultivos.

11. **Impacto en la Apicultura:** La deriva de herbicidas puede ser perjudicial para las abejas y otros polinizadores. La exposición a herbicidas puede debilitar o matar a las abejas, lo que a su vez puede afectar la polinización de los cultivos.

12. **Residuos de Herbicidas en Productos Agrícolas:** Si la deriva de los herbicidas se efectúa hacia cultivos destinados al consumo humano o animal, puede dejar residuos en los productos agrícolas. Esto genera problemas de seguridad alimentaria y puede requerir retirar de la comercialización lotes de productos.

13. **Impacto en la Calidad del Aire:** La deriva de herbicidas puede contribuir a la contaminación del aire en zonas cercanas a las operaciones agrícolas. Esto puede implicar riesgos para la salud respiratoria de las personas y animales.

14. **Impacto en la Vida Silvestre Acuática:** Si los herbicidas derivan hacia cuerpos de agua, pueden dañar la vida silvestre acuática, con efectos negativos en la biodiversidad del lugar.

15. **Impacto en la Comunidad Local:** La deriva de herbicidas puede crear tensiones y conflictos en comunidades agrícolas y vecinas, especialmente cuando daña propiedades, plantas o la salud de las personas. Este impacto genera costos adicionales por temas legales y regulatorios.

Obviamente ante lo expuesto, abordar de manera efectiva y responsable la deriva de herbicidas en la agricultura a través de la implementación de prácticas adecuadas, tecnologías de aplicación avanzadas y la elección de herbicidas que minimicen estos efectos adversos es cuasi crucial para la comunidad agrícola.

6. Revisión de métodos generales

Para llevar a cabo la presente investigación, la empresa Atanor S.C.A ha puesto a disposición un conjunto de ensayos recopilados de distintas entidades, en los que se emplean diferentes metodologías para evaluar la volatilidad y deriva de diversos compuestos químicos.

En este trabajo, el propósito no consiste en evaluar el desempeño de compuestos específicos, sino en estandarizar los métodos utilizados, partiendo del supuesto de que dichos métodos pueden aplicarse de manera indiscriminada a cualquier compuesto objeto de análisis.

6.1 Métodos de medición en Laboratorio

Como indica Mueller (2015), el primer objetivo en los estudios de laboratorio se centra en analizar cómo una mezcla cambia de su estado líquido o sólido a gaseoso. Esto se consigue agregando una cantidad conocida de la solución a un recipiente para luego pesarlo tras haberlo expuesto a diferentes temperaturas y humedades relativas variadas. De esta manera, se consigue cuantificar la cantidad de producto evaporado.

La elección del método depende del tipo de compuesto químico que se quiera analizar, los objetivos de la investigación y los recursos disponibles en el laboratorio. En todos los casos es importante seguir las buenas prácticas de laboratorio y utilizar las técnicas y equipos adecuados para obtener mediciones precisas y confiables.

Normalmente un estudio de volatilidad en laboratorio dura unas 24 a 48 hs y los resultados suelen compararse con los valores de una sustancia con una volatilidad ya conocida.

La siguiente es una lista de los principales medios de medición **en laboratorio**:

- 1. Método de Captura en Superficies Lisas:** Utiliza superficies lisas, como vidrio o plástico, que se exponen a la aplicación del herbicida. La deriva se captura en estas superficies, y luego se mide y cuantifica utilizando técnicas como el análisis de lavado con solventes.

2. **Método de Almohadillas Hidro sensibles:** Almohadillas o sustratos hidro sensibles son expuestos al herbicida y cambian de color cuando entran en contacto con la humedad del herbicida deriva. La cantidad de cambio de color se utiliza para estimar la deriva.
3. **Técnica de Análisis de Partículas:** Implica el uso de técnicas de análisis de partículas para medir el tamaño, la velocidad y la cantidad de partículas de herbicida que se dispersan en el aire o en otras direcciones durante la aplicación.
4. **Método de Cromatografía Líquida de Alta Resolución (HPLC):** Se utiliza para analizar la presencia y la concentración de herbicidas en muestras de aire recogidas en proximidad a la zona de aplicación. Este método es muy preciso pero se realiza en laboratorios altamente especializados.
5. **Métodos de Medición de Partículas por Imagen (PIM):** Utilizan cámaras y software de análisis de imágenes para cuantificar y caracterizar las partículas de herbicida en muestras de aire o en superficies.
6. **Método de Espectroscopía de Masas (MS):** La espectroscopía de masas se utiliza para identificar y cuantificar la presencia de herbicidas en muestras de aire y superficies mediante la medición de masas moleculares.
7. **Método de Inmunoanálisis:** Utiliza anticuerpos específicos para detectar herbicidas y sus derivados en muestras de aire y superficies

6.1.1 Método de Bioensayo

Para llevar a cabo el análisis de este método de medición, se tomó como punto de referencia el ensayo realizado por la Ingeniera Agrónoma Jorgelina C. Montoya y la Ingeniera RRNN Carolina Porfiri en el año 2019 para evaluar la volatilidad de diferentes formulaciones de 2,4-D. Este ensayo consiste en la utilización de plantas bioindicadoras de síntomas de fitotoxicidad.

Especie bioindicadora: Son organismos o comunidades de ellos que pueden responder a la contaminación ambiental mediante alteraciones en su fisiología o a través de su capacidad para acumular contaminantes. (Pignata, 2003)

- **Condiciones:** Cámara de cultivo bajo condiciones controladas de luz, humedad y temperatura. Temperatura a 35°C durante la exposición al tratamiento para simular las temperaturas diurnas estivales. El resto de los días, 25°C durante el día y 15°C durante la noche. 12hs de luz y 12hs noche. Riegos día por medio de aproximadamente 50cc de agua para mantener una humedad constante.
- **Materiales:** Macetas estandarizadas con cantidad y origen de suelo conocidos. Recipientes de diámetro, altura y cantidad de suelo conocidos para la aplicación del herbicida. Bolsa de nylon y alambres para formar el biodomo y aislar cada tratamiento de herbicida. Cada tratamiento fue repetido tres veces con una distribución aleatoria de las macetas dentro de la cámara; y cada ensayo fue replicado tres veces.
- **Fuente de aplicación:** Solución del herbicida en evaluación según el tratamiento correspondiente aplicado en un recipiente sobre la superficie de suelo de cada maceta.
- **Tiempo de exposición al tratamiento:** 24hs.
- **Forma de evaluación:** Evaluación visual para determinar el daño de las plantas de 0 a 100%. Los distintos tratamientos se compararon contra un grupo control en tres instancias (0, 3 y 7 días desde la exposición). Posteriormente, se retiraron las plantas de las macetas y se analizó la altura, el peso fresco aéreo (PFA), peso aéreo (PSA) y el peso seco de las raíces (PSR).



- *Fotos 1 y 2. Vistas de la cámara de crecimiento. Recuperado de: Ing. Agr Jorgelina Montoya y Ing. RRNN Carolina Porfiri (2017) “Estudio de volatilidad de diferentes formulaciones de 2,4-D”*

En 2023 Montoya et al, aseguran que, debido a cómo actúa el 2,4-D y la susceptibilidad de ciertas plantas a sus vapores, el bioensayo se presenta como una técnica precisa, sensible y fácil de reproducir para evaluar la volatilización

6.1.2 Humidomos

Para llevar a cabo el análisis de este método de medición, se tomó como punto de referencia el ensayo realizado por Thomas C. Mueller y Lawrence E. Steckel en 2019 presentado para la Sociedad de Ciencias de las Malezas de América. El objetivo del ensayo originalmente fue evaluar la volatilidad de distintas formulaciones de Dicamba mediante la utilización de humidomos.

Se trata de cámaras cerradas, sobre las cuales se aplica una succión controlada de aire que luego se analiza químicamente. Mediante este método obtenemos una medida exacta de la concentración de herbicida en el aire, valor que se puede relacionar directamente con la capacidad de volatilización del herbicida.

- **Condiciones:** Este ensayo se realizó en invernaderos desprovistos de ventiladores. La temperatura no fue controlada directamente. Se corrieron los ensayos con temperaturas cercanas a los 40°C y se repitieron con temperaturas menores a 20°C.

Para, de esta forma, reflejar correctamente las condiciones a campo en la que se aplicaría el producto.

- **Materiales:** Bandejas de plástico para contener el material pulverizado; Domos ventilados de plástico transparente, suelo de peso y características conocidas y muestreadores de aire.

Los componentes clave de los muestreadores de aire incluyeron la unidad principal del muestreador de aire equipada con lecturas digitales tanto para el flujo de aire acumulativo como para el muestreo de intervalos de tiempo, un soporte de filtro de microfibra y un filtro de poliuretano.

- **Fuente de aplicación:** Las distintas mezclas de herbicidas se aplicaron a suelo tamizado y secado al aire con cada bandeja llena hasta la mitad. En cada bandeja se utilizó el mismo volumen y peso de tierra y se aplicó el mismo volumen de herbicida. Los humidomos fueron colocados en el mismo ambiente y se utilizó el mismo flujo de aire para todos los humidomos.

La aplicación de los herbicidas se realizó fuera de los invernaderos y alejados de la zona donde operarían los muestreadores de aire para evitar que las partículas en el aire restantes de la aplicación pudieran interferir en las mediciones más adelante.

El flujo de aire que se utilice en el ensayo debe ser medido y controlado. Si la succión de aire por parte de los muestreadores es muy fuerte, esto puede generar un movimiento de partículas y volatilización del producto que normalmente no ocurriría si el producto se aplica bajo las condiciones climáticas adecuadas. Lo recomendado es que el flujo de aire sea menor a las condiciones recomendadas para la aplicación del producto. Esto se controla mediante un anemómetro

- **Tiempo de exposición al tratamiento:** Las bandejas se dejaron descansar durante 10 minutos después de su aplicación y luego fueron introducidas a los humidomos, donde permanecieron 12 hs.
- **Forma de evaluación:**

Se realizaron ocho pruebas con dos repeticiones de cada tratamiento, utilizando un diseño de bloques completos al azar. Estas pruebas produjeron tres tipos de muestras. Primero, se recolectaron muestras en papeles de filtro cualitativos de 12,5 cm de diámetro

para verificar la aplicación del herbicida. En segundo lugar, se utilizaron papeles de filtro de microfibras en los muestreadores de aire como principal medio de recolección. En tercer lugar, se utilizaron filtros de poliuretano para recolectar muestras secundarias.

Las concentraciones de Dicamba se determinaron utilizando una técnica estándar externa de estándares analíticos de ácido Dicamba disuelto en metanol. Se utilizó un cromatógrafo líquido para el análisis.

Según Thomas C. Mueller, una limitante para esta metodología es que, según la cantidad de tratamientos que quieran evaluarse, es la cantidad de muestreadores de aire que se debe poseer. El autor sostiene que es conveniente realizar todos los ensayos a la misma vez, para de esta forma, evitar la mayor variación posible.

6.1.3 Cromatografía gas-líquido

Se tomó como referencia para este método un estudio en laboratorio realizado por el Laboratorio de Investigación y Desarrollo de Métodos Analíticos (LIDMA) en la Facultad de Ciencias Exactas de la Universidad Nacional de La Plata (2021) El objetivo del estudio fue informar la presión de vapor de siete muestras de distintas formulaciones de 2,4-D para la empresa solicitante.

La cromatografía de gas líquido es una técnica analítica indirecta donde se lleva a cabo la separación, identificación y cuantificación de componentes individuales en una mezcla de compuestos volátiles.

Se basa en la distribución de los componentes de una mezcla entre dos fases inmiscibles, una fija estacionaria y otra móvil. La fase estacionaria suele ser un líquido de alta pureza recubierto sobre la superficie interna de un tubo capilar o empaquetado en una columna. La fase móvil es un gas inerte, como helio, nitrógeno o hidrogeno que transporta la muestra a través de la columna.

- **Materiales:** Cromatógrafo de gases con detector espectrométrico de masas; Columna capilar 25m x 250um x 0.20um; Acetona como solvente para las muestras.
- **Fuente de aplicación:** La muestra a evaluar se introduce en el sistema cromatográfico mediante una inyección en la entrada del sistema. La muestra se vaporiza inmediatamente en el inyector, convirtiéndose en una fase gaseosa.

- **Forma de evaluación:** Los componentes de la muestra se separan a medida que interactúan de manera única con la fase estacionaria. El resultado de esta técnica es el cromatograma. Cada pico representa un analito a medida que va llegando al detector. Los picos que salen antes corresponden a los analitos más volátiles y los que salen después a los analitos más pesados o que, por algún motivo, fueron más retenidos por la fase estacionaria. Por otra parte, mientras mayor sea la altura y el área de cada pico, mayor va a ser la concentración de ese analito en la muestra.

Realizando las mediciones a la misma temperatura, se evalúa la sustancia cuya presión de vapor se desea conocer simultáneamente con un estándar analítico. De esta manera se obtiene el tiempo de retención, el cual siendo ajustado, es inversamente proporcional a la presión de vapor, y, por lo tanto, al potencial de volatilización de la sustancia en cuestión.

6.1.4 Evaporación controlada y Cromatografía Líquida

Se tomó como referencia para este método un estudio en laboratorio realizado por el Laboratorio de Investigación y Desarrollo de Métodos Analíticos (LIDMA) en la Facultad de Ciencias Exactas de la Universidad Nacional de La Plata (2021). El objetivo del estudio fue determinar las concentraciones residuales de fitosanitarios en muestras de formulados diluidos y sujetos a evaporación controlada.

La evaporación controlada de una muestra se realiza previo a una cromatografía con varios objetivos que pueden ir desde concentrar la muestra para facilitar la detección de componentes en niveles más bajos, a eliminar sustancias que puedan interferir y afectar la precisión de la cromatografía.

- **Materiales:**
 - Cámara de extracción en fase sólida Supelco
 - Cromatógrafo de líquidos Agilent HP1100
- **Fuente de aplicación:** Para llevar a cabo la evaporación controlada se prepararon soluciones acuosas cumpliendo las concentraciones de aplicación de las muestras a analizar.
- **Condiciones:** Las soluciones se colocan en una cámara de vidrio conectada a un manómetro y trampa de vacío. La cámara se calefacciona con un baño de arena a una temperatura externa de unos 55°C y el vacío se mantiene en -60kPa. Las muestras son

colocadas en una cámara de evaporación y son mantenidas para extraer un vial de cada muestra a tiempos fijos (de hasta 48hs).

En este caso, la evaporación controlada previo a la cromatografía se realizó con la intención de simular la volatilización de los productos y calcularla a través del remanente concentrado.

La restitución con agua después de la evaporación controlada se realiza para devolver las muestras a su estado original de concentración. Cuando se evaporó el solvente, los componentes de interés se concentraron, pero para realizar mediciones precisas de las concentraciones residuales, es necesario volver a la concentración original. Al añadir agua, se restablece la cantidad inicial de muestra, lo que permite una comparación más precisa de las concentraciones residuales de fitosanitarios entre las muestras. Además, esta restitución con agua también ayuda a preparar las muestras para su posterior análisis, asegurando que estén en un estado adecuado para la inyección en la columna cromatográfica y otros procesos de medición.

- **Forma de evaluación:**

Las muestras diluidas se introdujeron en una columna de C18 Shimadzu de 15 x 0,25 cm, con partículas de 5 μ M. Se utilizó una fase móvil compuesta por una mezcla de 50% acetonitrilo y 50% de un tampón ácido tricloroacético a un pH de 2. La columna se mantuvo a una temperatura constante de 45°C y el flujo se estableció en 0,5 ml/min.

6.2 Métodos de medición a campo

A campo la medición de la volatilización de compuestos químicos puede ser más difícil que en un entorno de laboratorio debido a las condiciones atmosféricas cambiantes y los factores ambientales externos, pero pueden proporcionar una evaluación directa en condiciones reales a campo.

Las especies específicas de malezas o cultivos, las condiciones del suelo, la disponibilidad de equipos de aplicación, la contaminación cruzada de diferentes tratamientos entre sí y específicamente las condiciones climáticas son todos parámetros importantes.

Los estudios a campo generalmente se realizan en grandes áreas de tierra de cultivo utilizando parcelas designadas dentro de ese espacio.

En este tipo de ensayos hay varios factores que se deben considerar. En primera instancia está el tamaño de la parcela, se debe asegurar que el mismo permita evidenciar los síntomas de la volatilidad. Por otro lado, se debe tener en cuenta la distancia entre parcelas para evitar que la deriva de una parcela genere efectos en la parcela contigua. Y por último, es importante que los ensayos se realicen en áreas donde no haya posibilidad de recibir deriva de cultivos en campos linderos.

Como indica Mueller (2015), en los estudios de campo surgen dos opciones. Por un lado, se puede optar por tomar muestras de aire y luego realizar un análisis químico. O bien, se puede llevar a cabo un bioensayo para determinar la volatilización por medio de la fitotoxicidad manifestada en plantas bioindicadoras.

El muestreo de aire seguido de un análisis químico proporciona mediciones más cuantitativas y los resultados no dependen del crecimiento de las plantas de bioensayo.

La ventaja del sistema de bioensayo radica en la mayor simplicidad del equipo necesario y la medición directa de la respuesta en la planta.

La siguiente es una lista de los principales medios de medición **en campo**:

- 1. Trampas de Aire:** Se instalan trampas de aire en diversas alturas y ubicaciones para recoger partículas de herbicida suspendidas en el aire. Luego se analizan **en laboratorio** para determinar la cantidad de herbicida presente.

2. **Placas de Depósito:** Se colocan placas de recolección en áreas determinadas alrededor del área de aplicación. Estas placas recogen el herbicida deriva durante la aplicación y se pesan o analizan posteriormente en laboratorio para determinar la cantidad de herbicida que ha llegado a cada ubicación.
3. **Análisis de Sustratos en el Campo:** Se toman muestras de sustratos, como hojas o superficies, en diferentes ubicaciones y se analizan para detectar la presencia de herbicidas.
4. **Sensores Remotos:** Se utilizan drones y sensores remotos para medir la dispersión de herbicidas y su impacto en áreas específicas.
5. **Estaciones Meteorológicas:** Las estaciones meteorológicas en el campo registran datos climáticos relevantes, como la velocidad y la dirección del viento, la temperatura y la humedad, que pueden ayudar a entender la deriva de herbicidas en condiciones climáticas particulares.

6.2.1 Efectos fitotóxicos sobre un cultivar susceptible.

Para llevar a cabo el análisis de este método de medición, se tomó como punto de referencia el ensayo a campo realizado por el Ingeniero Ramon Gigón y el Ingeniero Marcos Yannicari en el año 2018 “Comparación del potencial de deriva de formulaciones de Dicamba y 2,4-D en condiciones de campo”.

- **Material:** Se utilizó un cultivo de soja RR en estado V4, de buen crecimiento y uniformidad. Se realizarán aplicaciones de distintas formulaciones de herbicidas.
- **Objetivo:** Evaluar mediante este método el efecto de las derivas de los herbicidas mencionados sobre el cultivo de soja.
- **Mecánica operacional:**

Cuando el cultivo estaba en estado de V4 (escala de Fehr et al 1971, 1977), se marcaron parcelas de 3m x 10m, distanciadas a 5m una de otra, siguiendo un diseño al azar con tres repeticiones y se realizó la aplicación de los diferentes tratamientos.

En todos los casos se empleó una pulverizadora experimental de presión constante de CO₂, provista de pastillas 11002 y calibrada para liberar 140 L ha⁻¹.

El día y momento de aplicación se realizó en forma deliberada, cuando las condiciones ambientales propiciaran la deriva de los herbicidas, tanto al momento de la pulverización como en post aplicación en forma gaseosa. En este sentido, el viento en dirección oeste perpendicular al sentido de aplicación de las parcelas (fig.1), fue de 15 km/h.

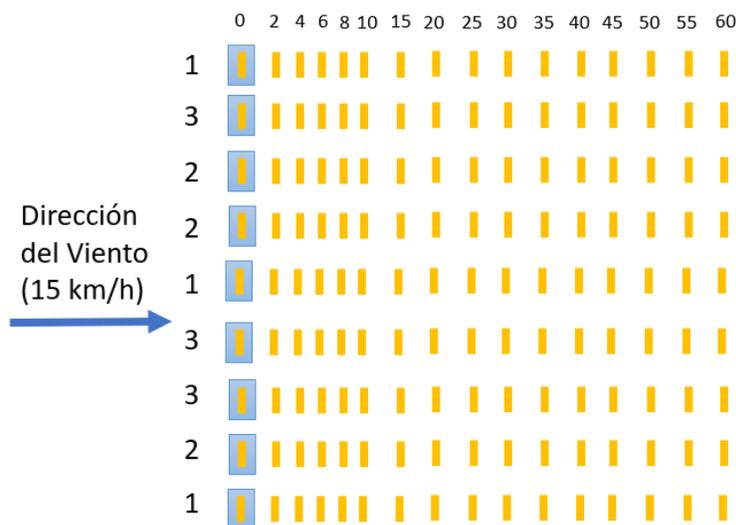


Figura 1 – Esquema del diseño del ensayo sobre el cultivo de soja. Se representan las parcelas, distanciadas 5m una de otra, con sus tratamientos (1,2 y 3) y las estaciones de evaluación a diferentes distancias de las parcelas tratadas (0, 2, 4, 6, 8, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55, y 60 m).

A 10 y 60 días post-aplicación se evaluó el porcentaje de plantas que mostraban algún síntoma de fitotoxicidad, mediante la utilización de un índice cualitativo de nivel de afectación (ver Cuadro 3).

Grado de Afectación afectación	Sintomatología asociada
1	Planta sana (sin síntomas)
2	Planta con síntomas leves (hasta un 25% de la planta afectada)
3	Planta con síntomas graves (tallos deformados y cloróticos, en hasta un 50% de la planta afectada)
4	Planta con síntomas muy graves (deformación y clorosis de tallos, sin brotación, hasta un 75% de la planta afectada)
5	Muerte de la planta

Cuadro 3: índice fitotoxicidad de plantas

Este tipo de medición puede considerarse subjetivo ya que está sujeto a la opinión del medidor, el cual es humano y hay un margen de error considerable. Sin embargo, hay ciertos síntomas a los que se prestan atención para determinar si la planta fue o no afectada. Estos síntomas incluyen epinastia, enrulamiento de hojas, estimulación del crecimiento en zonas inter nervales, engrosamiento de pecíolos y disposición paralela de nervaduras. Estos síntomas se observaron concentrados, principalmente, en el tercio apical de las plantas, independientemente del tratamiento

Luego, a partir de 20 plantas tomadas al azar se estimó el porcentaje de fitotoxicidad con la siguiente fórmula:

$$\frac{\text{N}^\circ \text{ de plantas con síntomas de fitotoxicidad}}{20} \times 100$$

Finalmente, cuando el cultivo alcanzó la madurez de cosecha, a 0, 5, 15, 30 y 60 m de distancia de las parcelas tratadas, se muestrearon las plantas presentes en 1,4 m². Luego, se trillaron y se determinó el rendimiento en grano (ajustando la humedad a 10 %).

6.2.2 Trampas de aire

Son dispositivos capaces de medir un gran conjunto de compuestos orgánicos volátiles y compuestos orgánicos semivolátiles en espacios abiertos y cerrados. Estas trampas pueden ser dispositivos pasivos o activos.

Según lo definen Mills y Jones (2007) y se puede ver en la **Figura 2 y 3**, un muestreador pasivo consiste en un dispositivo que contiene un sorbente sólido dentro de recipiente con una abertura de medidas conocidas ($A \cdot L$), que permite el paso de aire a una velocidad constante y conocida.

Las trampas de aire pasivas se colocan en el área de interés y están diseñadas para permitir que el aire ambiente entre en contacto con un medio de captura, como ser una resina o un adsorbente. A medida que el aire pasa a través de la trampa, los compuestos volátiles se adsorben o absorben en el medio, quedando atrapados. Este tipo de trampas pueden estar expuestas durante períodos de tiempo determinados para capturar las emisiones de los productos químicos a lo largo del tiempo. Se puede configurar con una barrera difusora porosa o una membrana no porosa para controlar la tasa de recolección de compuestos orgánicos volátiles por parte del medio adsorbente.

Ventajas de las trampas pasivas:

- Son dispositivos más sencillos y livianos, facilitando su instalación y transporte.
- Operan sin riesgo de pérdida de energía, obstrucción o fugas que pueden afectar las muestras de las trampas activas.

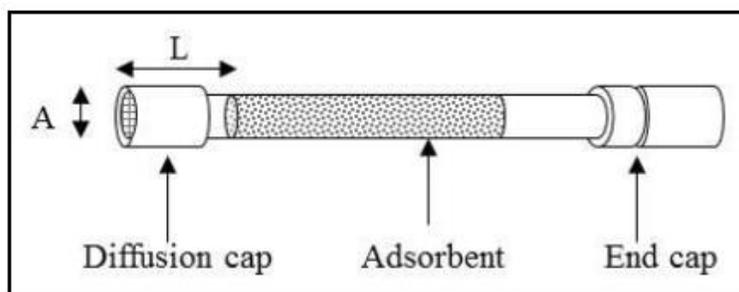


Figura 2 – Trampa de aire pasiva estilo tubo. Recuperado de Mills, G. P., & Jones, B. M. (2007)

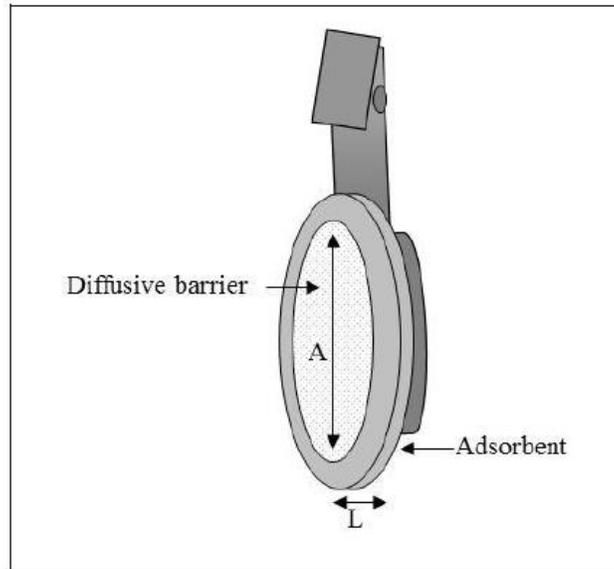


Figura 3 - Trampa de aire pasiva estilo insinia. Recuperado de Mills, G. P., & Jones, B. M. (2007)

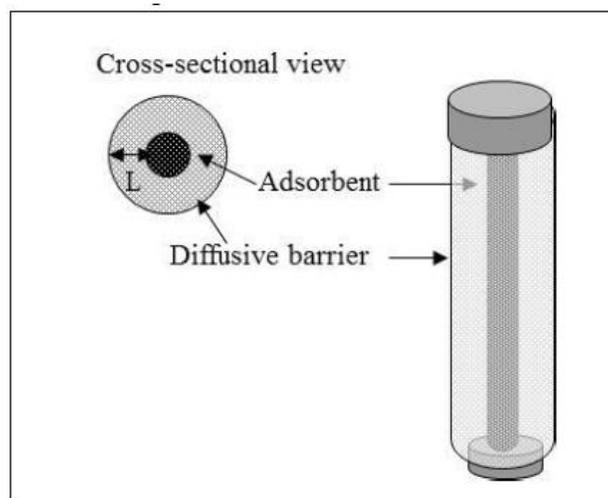


Figura 4 - Trampa de aire pasiva estilo radial. Recuperado de Mills, G. P., & Jones, B. M. (2007)

Las trampas de aire activas utilizan un sistema de muestreo que aspira activamente el aire a través de la trampa. El aire se dirige a través de un flujo controlado hacia un medio de captura, como puede ser un tubo lleno de adsorbente o un cartucho de sorbente.

Ventajas de las trampas activas:

- Permite un control más preciso sobre el volumen de aire muestreado y el tiempo de exposición.
- Pueden ser más sensibles para la detección de compuestos en concentraciones bajas.
- Pueden adaptarse a distintas configuraciones experimentales.

Una vez recolectada la muestra se retira el medio de captura y se lleva a laboratorio para ser analizado por distintas técnicas analíticas para identificar y cuantificar los compuestos volátiles capturados. Estas técnicas pueden ser, cromatografía de gases o cromatografía de gases acoplada a espectrometría de masas.

En definitiva, la principal diferencia entre las trampas de aire activas y pasivas radica en la forma en la que se recopila el aire. Las activas emplean un sistema de bombeo, mientras que las pasivas confían en la difusión molecular. La elección entre ellas depende de los objetivos del estudio, las condiciones del entorno y la naturaleza de los compuestos que se están monitoreando.

6.2.3 *Micro túneles*

Este método de medición fue originalmente propuesto por Marth Paul en el año 1949. Para llevar a cabo el análisis del mismo, se tomaron como punto de referencia distintos ensayos que utilizaron esta metodología:

- Los ensayos realizados por la Cátedra de Protección Vegetal de la Facultad de Agronomía de la Universidad de Buenos Aires en el año 2015 y 2016. El objetivo general de estos ensayos fue comparar la volatilidad de diferentes formulados del herbicida 2,4-D, mediante el uso de plantas indicadoras, con y sin adición de adyuvantes de aplicación.
- El ensayo fue realizado por la Cátedra de Terapéutica vegetal, de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional del Nordeste (UNNE) en 2005. El objetivo de este ensayo fue comparar la volatilidad de dos formulaciones distintas de 2,4-D.

Una planta indicadora en un bioensayo es una planta que se utiliza como un organismo sensible o un “indicador” para evaluar el efecto de sustancias químicas en un entorno determinado. Estas plantas son seleccionadas por su capacidad para responder de manera

visible o medible a la presencia de factores específicos. En un bioensayo típico que utiliza plantas indicadoras, se exponen las plantas a una sustancia bajo investigación y luego se observan los efectos en su crecimiento, desarrollo, fisiología o salud en general. Y se cuantifican mediante un índice cualitativo de nivel de afectación.

- **Materiales:** Microtúneles plásticos de 1 metro de ancho por 12 metros de largo y 1 metro de altura, cubiertos con polietileno transparente de 100 micrones de espesor. Cada túnel corresponde a un tratamiento distinto.
- **Fuente de aplicación:** Se colocó la fuente de volatilización en el centro del túnel. En este caso, una bandeja con arena, pulverizadas con la cuádruple dosis que normalmente se utiliza a campo del compuesto a analizar. Se distribuyeron las plantas indicadoras en bloques ubicados a 1m, 2m, 3m, 4m y 5m de la fuente de volatilización. Los extremos de los túneles permanecieron abiertos para favorecer el flujo de aire.

En otro ensayo realizado por la misma facultad en el año 2015, se utilizó la misma metodología, pero difirió la fuente de aplicación.

En este caso se pulverizó el suelo de los túneles con las formulaciones a evaluar. Considerando para cada formulación las dosis normalmente utilizadas a campo. Las plantas bioindicadoras se colocaron sobre el suelo tratado y los microtúneles fueron cerrados herméticamente, favoreciendo al aumento de la temperatura y, por ende, la volatilización de los compuestos en evaluación. Una vez abiertos los microtúneles, las plantas fueron llevadas a un invernáculo para registrar la sintomatología asociada a fitotoxicidad hasta el día 28 post aplicación.

- **Tiempo de exposición al tratamiento:** Luego de las 48hs de exposición a las bandejas con el compuesto, se procede a comenzar el registro de las sintomatologías asociadas a la fitotoxicidad. Las mismas se evaluaron a los 7, 14, 21 y 28 días post exposición.



Imágenes 3 y 4 – Microtúneles y plantas bioindicadoras. Recuperado de Cátedra de Protección Vegetal, FAUBA. 2016.

7. Discusión

A lo largo del trabajo se han presentado diversas metodologías disponibles para medir la volatilidad y dispersión de productos fitosanitarios, tanto en entornos controlados de laboratorio como en condiciones de campo reales. Tal como se ha discutido, la elección del método de medición no es una decisión universal, sino que depende de varios factores específicos. En este capítulo se detallarán los puntos clave a considerar al definir qué metodología utilizar. Entre estos factores se incluyen las ventajas y desventajas de cada método, otros factores relevantes, las normativas aplicables y las buenas prácticas agrícolas.

7.1. Evaluación de las ventajas y desventajas de los métodos citados

La investigación preliminar generalmente se lleva a cabo bajo condiciones controladas de laboratorio, porque estos estudios son más rápidos y cuesta menos realizarlos. Luego se da una migración natural hacia los métodos de investigación de campo, que suelen ser más difíciles y costosos. La capacidad de controlar los factores ambientales disminuye y, en consecuencia, aumenta el rango de posibles errores en las mediciones. Este es el principal motivo por el cual las mediciones en condiciones controladas de laboratorio no suelen coincidir con los resultados generados a campo. Esto último no quiere decir que los estudios de laboratorio no sean valiosos, pero no representan adecuadamente el escenario real de lo que ocurre en los campos.

Se realizó un cuadro comparativo para destacar algunas ventajas y desventajas de los principales métodos para la medición de volatilidad de compuestos químicos.

Metodología	Ventajas	Desventajas
Bioensayo	Evalúa el efecto real en organismos vivos y proporciona información integral sobre el impacto biológico.	Puede ser específico para ciertos organismos y no representar completamente la volatilidad química.
	Es sensible a los efectos sinérgicos de los compuestos químicos.	Consumo de tiempo ya que abarca el proceso desde la germinación de las plantas bioindicadoras hasta sus distintas etapas de medición de efectos fisiológicos.
	Es una técnica sensible, costo-efectiva, simple y reproducible. (Montoya, 2023)	

Metodología	Ventajas	Desventajas
Humidomas	Es un método rápido y de bajo costo	No proporciona información detallada sobre los compuestos individuales. Por lo que resulta menos preciso y selectivo que otras técnicas analíticas.
	Sirve para evaluar volatilidad en condiciones ambientales simuladas	
Cromatografía Gaseosa	Es una técnica con alta resolución y sensibilidad.	Requiere equipos especializados y entrenamiento técnico para utilizarla.
	Puede separar y cuantificar compuestos individuales.	No es aplicable a todos los compuestos, especialmente a aquellos que poseen baja volatilidad.
	Técnica que es ampliamente utilizada en la investigación y controles de calidad	Puede tener alto costo por la preparación de las muestras.
Evaporación controlada y cromatografía líquida	Al contrario que la cromatografía gaseosa, es útil para compuestos no volátiles.	Es menos eficiente para los compuestos altamente volátiles.
		Lleva más tiempo que la cromatografía gaseosa
Efectos fitotóxicos sobre un cultivar susceptible	Evalúa el impacto directo sobre las plantas reales	Es específico para un cultivar puede no representar correctamente a otros.
	Relevante para la evaluación del riesgo en entornos agrícolas.	Puede ser influenciado por factores ambientales y genéticos del cultivar.
	Se obtiene información sobre efectos a nivel biológico	El tiempo para observar efectos significativos es mayor.
Trampas de Aire	Captura compuestos volátiles en el aire ambiental.	Eficiencia sujeta a la ubicación de la trampa y la meteorología.
	Se obtienen datos cuantitativos sobre las concentraciones de compuestos en el aire	No ofrece información sobre los efectos directos en las plantas.
	Se puede obtener una curva de volatilidad a lo largo del tiempo.	Requiere de personas con capacitación técnica para su correcta instalación y mantenimiento.

Metodología	Ventajas	Desventajas
Micro Túneles	Ofrece condiciones controladas en el campo	El tamaño y la forma de los túneles pueden afectar los resultados
	Permite la evaluación de daños a nivel cultivo	Es necesaria una inversión importante en infraestructura.

7.2. Consideraciones sobre la Normativa y Buenas Prácticas de Aplicación de Productos Fitosanitarios

Como se ha mencionado, el marco regulatorio de los productos fitosanitarios en Argentina es complejo y está diseñado para proteger la salud humana y el ambiente, al mismo tiempo que permite el uso efectivo de estos productos en la agricultura. Cumplir con estas normativas no es solo una obligación legal, sino una práctica esencial para garantizar una agricultura sostenible y segura.

Sin embargo, dado el amplio abanico de opciones y productos disponibles, la elección del método adecuado puede resultar compleja. Esta situación resalta la necesidad de contar con una evaluación más rigurosa y normativas claras para asegurar que se contemplen adecuadamente los posibles efectos de la volatilidad de los productos fitosanitarios.

Por esta razón, siempre que se aplique alguno de los métodos discutidos, es imprescindible que los aplicadores sigan estrictamente las normativas y buenas prácticas de aplicación establecidas. La capacitación adecuada de los aplicadores sobre el uso seguro y efectivo de estos productos es fundamental. Esta formación debe incluir el manejo de equipos de protección personal y técnicas de aplicación.

El principal impacto de no seguir estas buenas prácticas y normativas es la generación de daños económicos significativos en los cultivos vecinos. La deriva, es decir, el movimiento no intencional de los productos fitosanitarios desde el área tratada a áreas adyacentes, y el uso inapropiado de estos productos pueden llevar a la contaminación de plantaciones cercanas. Esta contaminación puede provocar daños en los cultivos no objetivo,

afectando su crecimiento y producción, resultando así en pérdidas financieras sustanciales para los agricultores afectados.

Además, la presencia de residuos de productos fitosanitarios en cultivos vecinos puede generar problemas de cumplimiento con las normas de seguridad alimentaria y restricciones comerciales, afectando negativamente la reputación y la capacidad de mercado de los productores locales.

Por lo tanto, la observancia estricta de las normativas y buenas prácticas en la aplicación de productos fitosanitarios no solo es crucial para la protección de la salud y el ambiente, sino también para la sostenibilidad económica de la agricultura local.

7.3. Otros factores a considerar

Al elegir el método adecuado para la medición de la volatilidad y dispersión de herbicidas, es crucial tener en cuenta varios factores adicionales que pueden influir significativamente en la efectividad y viabilidad de los métodos seleccionados.

7.3.1 Presupuesto disponible

El costo de implementación y operación varía considerablemente entre los distintos métodos de medición. Algunos métodos pueden requerir equipos costosos y mantenimiento especializado, mientras que otros pueden ser más accesibles desde el punto de vista financiero. Es esencial evaluar el presupuesto y los recursos disponibles antes de tomar una decisión. Optar por un método que exceda las capacidades económicas puede resultar insostenible a largo plazo y afectar la continuidad y consistencia de las mediciones.

7.3.2 Precisión requerida

El nivel de precisión necesario en las mediciones es otro factor determinante. Algunos métodos ofrecen mediciones altamente precisas y detalladas, mientras que otros pueden proporcionar datos más generales. Si el proyecto o investigación requiere un alto grado de exactitud, es fundamental elegir un método que pueda satisfacer estas demandas. Por el

contrario, si se trata de obtener una visión más general, un método menos preciso pero más económico podría ser suficiente.

7.3.3 Condiciones del entorno

Las características del entorno donde se llevarán a cabo las mediciones también juegan un papel crucial. Es importante considerar si las mediciones se realizarán en un entorno controlado de laboratorio o en condiciones de campo reales. Como se discutió, algunos métodos pueden ser más adecuados para ciertas condiciones ambientales, como temperaturas extremas, alta humedad o terrenos accidentados. Adaptar el método a las condiciones específicas del entorno puede mejorar la precisión y fiabilidad de los resultados.

7.3.4 Tipos de compuestos a medir

La naturaleza de los compuestos a medir puede influir en la elección del método. Algunos métodos son más efectivos para detectar y medir ciertos tipos de herbicidas debido a sus propiedades químicas. Es importante conocer las características específicas de los compuestos que se pretenden medir y seleccionar un método que sea adecuado para estos. Esto garantizará que los datos obtenidos sean precisos y relevantes para el tipo de compuesto en cuestión.

Considerar todos los factores puede ayudar a tomar una decisión informada y adecuada sobre el método de medición de volatilidad y dispersión de herbicidas, asegurando así que los resultados sean precisos, relevantes y sostenibles en el tiempo.

Por ejemplo, si se busca un método de medición que sea económico, rápido y preciso, sería correcto considerar el uso de trampas de aire activas. Como ya se ha discutido, las trampas de aire activas pueden proporcionar mediciones en tiempo real o con intervalos cortos de tiempo, lo que permite obtener resultados de manera más rápida en comparación con otros métodos. También ofrece un mayor control sobre las tasas de muestreo y la frecuencia de las mediciones, lo que puede traducirse en mediciones más precisas y reproducibles. Aunque los equipos de muestreo y análisis son más sofisticados que en otros métodos, las trampas de aire son más accesibles en comparación con otros equipos de laboratorio como pueden ser las columnas de destilación. Otra ventaja para los productores

agropecuarios es que las trampas de aire activas pueden utilizarse en el lugar donde necesitas realizar las mediciones, habilitando su implementación en los campos.

8. Conclusiones

Considerando los objetivos propuestos para el desarrollo de este proyecto, se ha llevado a cabo una revisión de la literatura actual relacionada con las variadas metodologías de medición de volatilidad y deriva de herbicidas de manera indirecta (a campo) y en condiciones controladas de laboratorio. Retomando la pregunta planteada en el inicio del trabajo: ¿Cuáles son las mejores metodologías disponibles, para medir la volatilidad y deriva de herbicidas en términos de economía, rapidez y exactitud? Podemos concluir que existen distintas metodologías disponibles y que no hay una “mejor” que la otra, sino que la elección de la misma dependerá de distintos factores a considerar.

El trabajo en definitiva, ofrece una comprensión más profunda de las distintas metodologías y explora posibles mejoras que podrían ser consideradas en la medición de la volatilidad y deriva de herbicidas. En este sentido, el mismo destaca la importancia de considerar factores como la precisión requerida, el costo, la disponibilidad de recursos y el tipo de fitosanitario que se está evaluando. La elección del método adecuado implica un análisis exhaustivo de las necesidades específicas de cada situación.

La agricultura moderna está mostrando una tendencia creciente hacia la adopción de prácticas agrícolas sostenibles y la responsabilidad social corporativa. Los productores se están enfocando en métodos que promueven la biodiversidad, la salud del suelo y la conservación de recursos naturales. Y a su vez, las empresas agroquímicas también están adoptando políticas de responsabilidad social corporativa que incluyen la investigación y desarrollo de productos más seguros y sostenibles. Esta evolución se debe a una combinación de factores, entre los que destacan la mayor conciencia ambiental y de salud pública, las presiones regulatorias, la innovación tecnológica y las demandas del mercado.

Teniendo en cuenta todas las implicancias y consecuencias relacionadas a la utilización de productos fitosanitarios y su respectivo riesgo de volatilidad desarrolladas a lo largo de este trabajo, cabe destacar que la búsqueda de un método universal para la medición de volatilidad de estos productos es esencial para garantizar la seguridad y eficacia en diversas industrias.

Optar por un enfoque que no esté sujeto a variaciones de presupuesto promoverá la equidad y la consistencia en la medición de estos compuestos. Definir un método común para toda la industria simplificaría los procesos, fomentaría la transparencia y la responsabilidad, y contribuiría significativamente a la protección del ambiente y la salud pública. Así, se lograría promover estándares elevados y la unificación de prácticas, asegurando que todas las partes interesadas operen bajo los mismos criterios y condiciones, lo que es indispensable para una gestión segura y efectiva de los productos fitosanitarios.

Se espera que este trabajo sirva como guía y referencia para quienes lo necesiten, proporcionando una visión clara y general de las opciones disponibles. Es esencial tener en cuenta que más allá de las mediciones y los resultados que arrojen las mismas, es responsabilidad de los usuarios finales conocer las normativas y buenas prácticas de aplicación de productos fitosanitarios.

Dejando de lado el contenido desarrollado, a lo largo de todo el proyecto se trabajó de manera interdisciplinaria. Se pudieron materializar muchos de los conocimientos vistos a lo largo de distintas materias. Se adquirieron además conocimientos sobre técnicas de laboratorio. Se logró obtener una visión general de los pasos que implica la evaluación y aprobación de nuevos productos químicos para su aplicación en el campo.

Bibliografía

- AAPRESID (2022) Manteniendo los herbicidas a raya: ¿qué es la deriva y cómo controlarla? – Recuperado de <https://www.aapresid.org.ar/blog/manteniendo-herbicidas-rama-deriva-controlarla>
- Alan C. York. Crop Science Extension Specialist – Weed control. North Carolina cooperative Extension Service. College of Agriculture and Life Sciences. North Carolina State University.
- Andersen S.M, Clay S.A, Wrage L.J, Matthees D. (2004) Soybean foliage residues of dicamba and 2,4-D and correlation to application rates and yield. *Agronomy Journal* 96: 750-760.
- Atanor SCA (2017) “Potencial de Volatilización de productos fitosanitarios a base de 2,4-D”
- BPA, Red de Buenas Prácticas Agrícolas. (2017) “Recomendaciones para normativas de departamentos, municipios y partidos que regulen sobre aplicaciones de productos fitosanitarios. Recuperado de: <https://www.casafe.org/pdf/2018/BUENAS-PRACTICAS-AGRICOLAS/NormativaFitosanitarios.pdf>
- Cátedra de Protección Vegetal, FAUBA (2015). “Evaluación comparativa de la volatilidad de diferentes formulaciones de 2,4-D en condiciones de campo”
- Cátedra de Protección Vegetal, FAUBA (2016). “Evaluación comparativa de la volatilidad de diferentes formulaciones de 2,4-D en condiciones de campo”
- Clore WJ, Bruns VF (1953) The sensitivity of the Concord grape to 2,4-D. *Proceedings of the American Society for Horticultural Science* 61: 125-134.
- Egan J.F, Mortensen D.A (2014) – A meta-analysis on the effects of 2,4-D and Dicamba drift on soybean and cotton. *Weed Science* 62: 193-206.
- Egan J.F, Mortensen D.A (2012) - Quantifying vapor drift of dicamba herbicides applied to soybean. *Environmental Toxicology and Chemistry* 31: 1023-1031

- EPA. Guidance for Reporting on the Environmental Fate and Transport of the Stressors of Concern in Problem Formulations for Registration Review, Registration Review Risk Assessments, Listed Species Litigation Assessments, New Chemical Risk Assessments, and Other Relevant Risk Assessments. Diciembre 2009.
- EPA. Fate, Transport and Transformation Tests Guidelines (2008). “OPPTS Guideline 835.6100. Terrestrial field dissipation.”
- Gigón, R & Yannicari, M (2018) “Comparación del potencial de deriva de formulaciones de dicamba y 2,4-D en condiciones de campo.”
- LIDMA – Laboratorio de Investigación y Desarrollo de Métodos Analíticos (2021) – Informe de volatilidad (presión de vapor) de siete muestras de agroquímicos (formulaciones de 2,4-D) a temperatura ambiente. Realizado en la Facultad de Ciencias Exactas de la Universidad Nacional de La Plata.
- Masia, G et al. INTA Instituto de Ingeniería Rural. (2002) Desempeño de productos reductores de la deriva.
- Massaro Rubén A., García Andrea V. (2017) – Evaluación de la deriva en pulverización aérea y terrestre con plaguicidas en situación de barbecho.
- Marth Paul C & Mitchell John (1949). Comparative volatility of various forms of 2,4-D. Botanical Gazette 110: 632-636.
- Marvin J. McGuinness y William J. Adams. (1991) "Pesticide Volatilization: Modeling and Field Studies"
- Mills, G. P., & Jones, B. M. (2007). Passive samplers in air quality studies: A review with focus on spatial representativity. Atmospheric Environment, 41(29), 6167-6175.
- Montoya J.C, Platz J.P, Azcarate M.P, Porfiri C, Cristos D.S (2023) Protocolo para evaluar la volatilización relativa de productos formulados del herbicida 2,4-D. Publicación técnica N° 120/2023. ISSN 0325-2132
- Montoya J.C, Porfiri C., (2019) “Estudio de volatilidad de diferentes formulaciones de 2,4-D”

- Mortensen D.A, Egan JF, Maxwell BD, Ryan MR, Smith RG (2012) – Navigating a critical juncture for sustainable weed management. *Bioscience* 62: 75-85.
- Mueller T.C. (2015) “Methods to measure herbicide volatility”. *Weed Sci* 63:116-120.
- Mueller T.C & Steckel E. L (2019) – “Dicamba volatility in humidomes as affected by temperature and herbicide treatment”
- Pignata ML (2003) Curso sobre: Empleo de biomonitores en estudios de contaminación atmosférica. Auspiciado por Swiss Contact, IBTEN, Instituto de ecología, La Paz, Bolivia.
- T. Dubus y M. Schröder (2002) "Pesticide Volatilization: Measurement and Modelling"
- Terrago, J. R., Fernandez, F., Marinich, M. J., & Lilles, L. (2005). Universidad Nacional del Nordeste (UNNE) Cátedra de Terapéutica Vegetal – Estudio comparativo de la volatilidad de dos formulaciones del herbicida 2,4-D.
- T. Roberts y P.C. Kearney (2012) "Pesticide Properties in the Environment"
- WHO - International Programme On Chemical Safety (1989) “Environmental Health Criteria 84 - 2,4-Dichlorophenoxyacetic Acid (2,4-D) - Environmental Aspects”