

**UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA
FACULTAD DE AGRONOMÍA**

**AJUSTE DEL VOLUMEN DE CALDO A PULVERIZAR EN MONTE DE
MANZANO CON SISTEMA DE PLANTACIÓN DE MURO BAJO**

por

Elizabeth CORREA

**TESIS presentada como uno de
los requisitos para obtener el
título de Ingeniero Agrónomo.**

MONTEVIDEO

URUGUAY

2023

Tesis aprobada por:

Director: -----

Ing. Agr. PhD. Roberto Zoppolo

Dr. Juan José Olivet Martínez

Ing. Agr. Msc. Danilo Cabrera

Dr. Antonio Sozzi

Fecha: 1°. de febrero de 2023

Autora: -----

Elizabeth Correa

AGRADECIMIENTOS

En 2010 llegué a esta casa de estudios con la esperanza de obtener el título de Ingeniera agrónoma, hoy once años después, ese momento ha llegado. En este camino de paso lento, pero seguro, se me hace difícil recordar a cada persona, familiar, amigo y compañero que ha transitado algún tramo de este camino, GRACIAS a ellos.

Particularmente debo un agradecimiento al fondo sectorial INNOVAGRO de la Agencia Nacional de Investigación e Innovación (ANII), quien financió el proyecto presentado por Juan Olivet y Roberto Zoppolo, en cuyo marco se desarrolló esta tesis.

A INIA donde realizamos el ensayo y que además ha sido un actor relevante en mi formación técnica, no solo por su aporte mediante la Facultad de Agronomía (FAgro) sino en todas las charlas y talleres abiertas a estudiantes.

A mi querida casa de estudios, ¡¡la Fagro!!, y con ella a cada docente que a su forma siempre aportaron. A los funcionarios, siempre con buena onda y disposición, los choferes junto a los que hicimos tantos kilómetros; bibliotecólogas, funcionarios de Unidad de Enseñanza y Bedelía, GRACIAS.

Juan Olivet, llegué pidiendo una oportunidad y aceptó, siempre con la palabra justa, con el comentario a veces duro pero acertado, siempre pidiendo más. Gracias por eso. Roberto Zoppolo, siempre dándome para adelante. Marcando el camino, transmitiendo tranquilidad, siempre dándome confianza. Ambos fueron una mezcla perfecta para este tramo tan difícil en tantos sentidos.

Javier Peñagaricano, quien colaboró en la etapa de campo y me enseñó técnicas de laboratorio. En él conocí a un compañero de trabajo excelente.

Dos mujeres marcaron mi formación en enseñanza, investigación y extensión, mis pilares en lo profesional, Daniela Bresciano y Beatriz Bellenda, aprendí de ellas mucho, ¡las quiero tanto!

Hoy miro con profunda tristeza la falta del IRA y los talleres, esa etapa de la carrera me acercó a la praxis. Agradezco a los productores que me recibieron en sus predios, especialmente en el IRA la familia Chiapella, en taller II la familia Morgan Morales y en taller VI la familia Fresia.

A la familia Dell Oca, especialmente a nuestro gran amigo Eduardo, productor hortícola de Canelones, quien siempre está dispuesto a enseñarme lo que sabe. ¡Gracias infinitas!

Tito... Que decirte, eres mi pilar, quien me levantó las mil veces que me caí, quien siempre creyó en mí y me dio para adelante. La vida no me alcanza para agradecerte.

TABLA DE CONTENIDO

	Página
PÁGINA DE APROBACIÓN.....	ii
AGRADECIMIENTOS.....	iii
LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES.....	vii
1. <u>INTRODUCCIÓN</u>	1
2. <u>REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA</u>	3
2.1. EVOLUCIÓN DE LOS SISTEMAS DE PLANTACIÓN EN MANZANOS	3
2.2. TECNOLOGÍAS DE APLICACIÓN	5
2.3. NECESIDADES DE CALDO A PULVERIZAR Y POTENCIALES DE REDUCCIÓN.....	7
2.4. METODOLOGÍA PARA MEDIR COBERTURA, DEPOSICIÓN Y ANÁLISIS DE IMAGEN.....	9
3. <u>MATERIALES Y MÉTODOS</u>	12
3.1. ETAPA DE CAMPO.....	12
3.1.1. <u>Regulación del equipo</u>	16
3.1.2. <u>Diseño experimental</u>	17
3.2. ETAPA DE LABORATORIO.....	18
3.2.1. <u>Análisis cualitativo de deposición sobre el follaje</u>	18
3.2.2. <u>Análisis cuantitativo de deposición sobre el follaje</u>	19
3.2.3. <u>Análisis de la cobertura de tarjetas hidrosensibles</u>	19
3.3. ANÁLISIS ESTADÍSTICO.....	19
4. <u>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</u>	20
4.1. ESTIMACIÓN DEL ÍNDICE DE ÁREA FOLIAR.....	20

4.2.	CARACTERIZACIÓN VISUAL DE LA DEPOSICIÓN SOBRE EL FOLLAJE.....	21
4.3.	CARACTERIZACIÓN CUANTITATIVA DE LA DEPOSICIÓN SOBRE EL FOLLAJE	25
4.4.	CARACTERIZACIÓN DE TARJETAS HIDROSENSIBLES	29
5.	<u>CONCLUSIONES</u>	30
6.	<u>RESUMEN</u>	31
7.	<u>SUMMARY</u>	32
8.	<u>BIBLIOGRAFÍA</u>	33
9.	<u>ANEXOS</u>	38

LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES

Cuadro No.	Página
1. Caudales de aplicación (L/ha) logrados con diversas velocidades de avance del tractor (km/h) y dos presiones de trabajo en la pulverizadora.....	17
2. Datos para el caudal Q 1 (250 L/ha) de caracterización de cobertura por estrato del árbol, en haz y envés de las hojas.....	22
3. Datos para el caudal Q 2 (200 L/ha) de caracterización de cobertura por estrato del árbol, en haz y envés de las hojas.....	22
4. Datos para el caudal Q 3 (150 L/ha) de caracterización de cobertura por estrato del árbol, en haz y envés de las hojas.....	23
5. Análisis de varianza para $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ modificado.....	25
6. Medias de deposición de trazador (en $\mu\text{g}/\text{cm}$) según caudal de aplicación: Q1 (250 L/ha), Q2 (200 L/ha) y Q3 (150 L/ha).....	26
7. Análisis medias de deposición de trazador (en $\mu\text{g}/\text{cm}$) según los estratos en altura del árbol	27
8. Cálculo de trazador (kg/ha) y concentración por caudal (L/ha) aplicado.....	28
9. Porcentaje de cobertura según caudal, zona del árbol y punto cardinal.....	29
 Figura No.	
1. Ubicación del ensayo.....	12
2. Pulverizadora.....	13

3. Cuadrícula que delimita el área de cada árbol a relevar y clasificar para determinar IAF.....	14
4. Cálculo del TRV.....	15
5. Diseño experimental.....	17
6. Escala visual de cobertura.....	18

Gráfico No.

1. Análisis visual haz: distribución porcentual por escala de cobertura (1 sub aplicación a 5 sobre aplicación) según caudal aplicado, Q1 (250 L/ha), Q2 (200 L/ha) y Q3 (150 L/ha).....	24
2. Análisis visual envés: distribución porcentual por escala de cobertura (1 sub aplicación a 5 sobre aplicación) según caudal aplicado, Q1 (250 L/ha), Q2 (200 L/ha) y Q3 (150 L/ha).....	24
3. Análisis de interacción caudal por estrato.....	28

1. INTRODUCCIÓN

Hoy es difícil realizar una producción de alimentos sin aplicación de agroquímicos, pero sí es posible implementar la idea de producción sustentable, realizando un manejo del sistema que vaya en dirección, ya no del uso racional de los agroquímicos solamente, sino al uso de las diversas tecnologías para un manejo eficiente del sistema.

Al realizarse una pulverización en montes frutales, siempre es importante actuar en función del problema particular a resolver, ya que no todos son iguales ni deben realizarse de la misma manera. Al respecto, es imperante considerar que cada tipo de aplicación tiene sus exigencias individuales según el cultivo, considerando los fitosanitarios a utilizar, las plagas y enfermedades a combatir, el estado del suelo, clima y otros factores que incidan en el entorno del cultivo a proteger de plagas, malezas y enfermedades de diferentes orígenes, motivo por el cual las estrategias de acción deben ser específicas.

El alto costo de operación de las aplicaciones de plaguicidas, asociado al requerimiento de las empresas agrícolas de reducir sus costos de producción, ha generado la imperiosa necesidad de mejorar la eficiencia de los sistemas de aplicación tradicionales.

Para Zeballos et al. (2014), el desafío en la actualidad es una producción sustentable, *“el aumento en los costos de producción y la aparición de tolerancias de algunos patógenos a determinados productos, hace que se enfoque la atención en las técnicas de aplicación, de manera de aumentar su eficacia y precisión”*. Debido a la baja performance de los equipos de pulverización presentes en el sector, los productores realizan aplicaciones muy poco eficientes. Para obtener un mojado de toda la planta se exceden en los volúmenes de caldo que emplean, lo que conlleva un gasto económico alto y un exceso de caldo que termina en sitios no objetivo como el suelo. Aun así, no siempre se controla adecuadamente la plaga o enfermedad, dado que la distribución de los productos no llega a ser la adecuada.

A su vez, los nuevos sistemas de plantación y los nuevos sistemas de conducción de las plantas están variando sustancialmente la ubicación y distribución del follaje a cubrir. La búsqueda de plantaciones más eficientes y mecanizables, está llevando a priorizar la instalación de muros frutales con menor distancia entre filas y menor ancho de las filas impactando en el volumen de copa a cubrir. Para maximizar la intercepción de luz solar, el acercamiento de las filas lleva también al ajuste de la altura a la que llegan los árboles, generándose allí también cambios importantes.

Mejorando la tecnología de aplicación mediante una pulverizadora más eficiente es posible alcanzar mejores resultados en el control y reducir el volumen de caldo. Hay resultados que muestran que el sistema de aplicación equipado con atomizadores rotativos de disco utilizó apenas un cuarto del volumen de caldo aplicado por los sistemas de pulverización tradicionales (Veliz et al., 2010).

El agua es un recurso finito, escaso en algunas zonas y vital para la actividad productiva. La contaminación es un problema ambiental que lleva a legislaciones cada vez más duras y el gasto en productos, tiempo y otros recursos hacen que se esté investigando en tecnologías que vayan en dirección a disminuir los volúmenes de caldo, pero sin perder e incluso buscando mejorar la calidad de aplicación.

Con este trabajo se pretende aportar al fortalecimiento de los tres pilares de la sustentabilidad: el económico, el ambiental y el social. En lo económico, reduciendo los volúmenes de caldo a aplicar, aumenta la capacidad de trabajo, se emplea menos combustible por hora trabajada, disminuyen los tiempos de recarga de tanque y el costo de mano de obra. En cuanto al pilar ambiental, el ajuste del volumen de caldo se traduce en menor cantidad de ingrediente activo en las aplicaciones, y una mayor eficiencia al mejorar la llegada al objetivo de trabajo y no a otros recursos naturales (suelos, agua, otros vegetales). Por último, socialmente, el ajuste de las aplicaciones a los cultivos permite sumar al bienestar y la seguridad ocupacional de las personas vinculadas a las tareas. La reducción de los volúmenes es una ganancia en tiempo de trabajo para el productor, permite una mayor flexibilidad en el trabajo y posicionar el producto a aplicar, en el lugar necesario, en el momento ideal.

El objetivo general del presente trabajo es determinar el potencial de reducción en el volumen de caldo aplicado a un muro frutal. Como objetivos específicos se estimará el área foliar del muro frutal; se evaluará la cobertura lograda y la deposición del producto al variar los caudales de aplicación.

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1. EVOLUCIÓN DE LOS SISTEMAS DE PLANTACIÓN EN MANZANOS

Un aspecto fundamental en la instalación de un monte frutal es el sistema de plantación y el sistema de conducción que se empleará, ya que de él depende la eficiencia productiva. Un sistema de plantación debe garantizar un aprovechamiento máximo de la luz solar, permitir la expresión vegetativa y productiva de las plantas, también debe asegurar la realización adecuada de las labores culturales, todo con el objetivo de obtener fruta de calidad.

Arjona y Santionini (2007) clasifican los sistemas de conducción según la función que cumplen en tres tipos. Es así como en función del volumen los clasifica en forma globosa (vaso), forma plana (palmeta, épsilon, cordón, parral, etc.) o piramidales (eje central, pirámide, solaxe). En segundo lugar, clasifica según la permanencia o no del eje de la planta, con eje, son ejemplo la palmeta, solaxe, y eje central; y sin eje: vaso y épsilon. Por último, los clasifica según la necesidad de emplear estructuras de soporte, si son libres como el vaso o pirámide o si, por el contrario, necesitan sostén, como palmeta, épsilon o parral.

La evolución de los sistemas de plantación de manzano hacia sistemas más intensivos se da según Tustin (2012) desde la década de los 60, refiriéndose a intensivos por un aumento en la densidad de plantación. Para Cabrera y Rodríguez (2017), esta intensificación en Uruguay comienza a darse en los últimos 20 años, lo que se ve reflejado en el aumento de productividad y calidad de la fruta. También, el aumento de la densidad en los sistemas constituye una herramienta de la fruticultura a nivel mundial que la lleven a sistemas más eficientes económica y productivamente, como también más sostenibles (Zoppolo et al., 2013).

La intensidad de plantación de los sistemas frutícolas refiere a la densidad de los montes, es decir, a la cantidad de plantas por hectárea que posee el sistema. Dicho de otra forma, a la superficie que ocupa cada planta. Lo más frecuente es expresar el número de plantas por hectárea, siendo de baja densidad 250 a 500, media densidad 500 a 1000, alta densidad 1000 a 3000 y muy alta densidad o sistema prado 6000 a 10000 plantas por hectárea (Arjona y Santionini, 2007).

Las diversas investigaciones llevan a que los montes frutales eviten producir madera y volcar todos los recursos en la producción de fruta. Para lograrlo es fundamental el manejo de la luz en el monte frutal, porque este factor determina la calidad y productividad. La intercepción de la luz por la copa del árbol se debe optimizar a través del sistema de conducción, disminuyendo áreas

sombreadas (Cabrera y Rodríguez, 2019). Estos autores en 2017 analizan como los montes frutales se han ido convirtiendo en sistemas con alta densidad de plantas, donde se prioriza la producción sobre el eje de la planta en estructuras cortas como dardos, lamburdas y brindillas coronadas, menores a 20 cm.

Cabrera y Rodríguez (2017) realizaron ensayos en montes de sistemas planos, como el muro frutal. Estos sistemas se caracterizan por sumar la mayor cantidad de líderes por unidad de superficie, produciendo la fruta sobre ellos. Arjona y Santionini (2007) recuerdan que el crecimiento vegetativo (madera, brotes y raíces) y el crecimiento reproductivo (yemas y frutos) son procesos antagónicos y competitivos. Es importante mantener el equilibrio dentro de las plantas, ya que, si bien la madera en gran cantidad no es deseable, es necesaria. Es decir, la instalación de plantaciones en sistemas planos (muro frutal), conducidos con multilíder, implica la utilización de un paquete tecnológico, que prioriza en forma fundamental el concepto de la productividad, relacionada con establecer y mantener un dosel eficaz. Los factores vinculados y variables a tener en cuenta son: el portainjerto y el cultivar, el primero confiere al segundo características más o menos vigorizantes, que determinarán la cantidad de líderes que podrá tener cada planta en el monte buscando el máximo equilibrio; marco de plantación, importante mantener la densidad correlacionada con el número de líderes por superficie; factores climáticos y edafológicos; nutricionales y riego.

Cabrera y Rodríguez (2017) encuentran una correlación positiva entre el número de frutos y el número de líderes por árbol. Destacan la importancia del número de líderes o ejes por unidad de superficie para obtener buenos resultados productivos. También aclaran que, a un mismo número de ejes por hectárea, la cantidad de plantas en la misma superficie será menor en la medida que tenga más ejes el árbol y viceversa.

La evolución de los montes frutales responde a la búsqueda de una mejor eficiencia a nivel económico y social, los muros bajos y bidimensionales MURBA, permiten realizar los manejos culturales desde el suelo, en menor tiempo haciendo más eficiente el recurso mano de obra dentro del sistema. Los nuevos modelos responden a trabajar el manejo eficiente de la luz dentro del monte frutal y a dejar de producir madera, que requiere un mantenimiento importante, y tiene un intenso uso de nutrientes, que luego se pierde por efecto de la poda. En definitiva, el objetivo productivo de un monte frutal es producir fruta y no leña. Plantaciones con mayor densidad, al inicio llevan una mayor atención y trabajo, pero en la siguiente etapa productiva varias de las labores se pueden mecanizar. Esto genera un ahorro de tiempo, que ayuda a realizar las tareas en los momentos adecuados, y también un ahorro en mano de obra.

La evolución de los sistemas de plantación es acompañada por un cambio en el índice de área foliar (IAF) de esos montes, los sistemas se hacen más densos en cuanto a número de plantas, pero con copas menos abundantes. El cálculo IAF, ha sido estudiado por diversos autores, en un intento por encontrar un método que logre la mejor estimación, dadas las dificultades para su medición. Los principales problemas son, que el IAF varía con el tamaño de la planta, con el desarrollo vegetativo de las mismas durante el ciclo anual, y según el sistema de conducción elegido. Los métodos utilizados para su medición y cálculo pueden ser destructivos o no. Los primeros generan el problema de deshojado total de la planta, mientras los segundos corren el riesgo de ser imprecisos. Los valores encontrados para manzanos oscilan entre 1,5 y 3,48, pero algunas publicaciones llegan a mencionar un IAF de 8, sin aclarar dimensiones de los árboles ni el método de estimación (Magdalena, 2004).

Yuri y Ormazábal (2002), concuerdan con el concepto que relaciona el desarrollo foliar de manzanos con la obtención de fruta de calidad, también hace al manejo racional de los recursos, particularmente las aplicaciones foliares de agroquímicos. Estos autores inician investigaciones que ayuden a determinar el IAF en manzanos de diferentes edades y variedades. La literatura señala que con radiación incidente del 70%, correspondiente a $IAF = 1$, se obtendrían fruta de calidad (color), pero Yuri y Ormazábal (2002), aclaran que esto no se corresponde con la realidad, donde los manzanos tienen IAF entre 2 y 5, con producciones de calidad, pero encuentran una relación entre la altura de la planta y la penetración de la radiación incidente, logrando la calidad deseada.

2.2. TECNOLOGÍAS DE APLICACIÓN

Para Sanz et al. (2010) la técnica de pulverización se divide en hidráulica, neumática, centrífuga e hidroneumática. Cada uno de estos tipos se adapta al tipo de cultivo, alto o bajo; generan diferente tamaño de gota, tienen determinada altura de aplicación; pueden ser de uso manual, mediante arrastre o autopropulsadas.

Sarubbi (2010) caracteriza los equipos para cultivos altos. Para los huertos frutales se emplean pulverizadores de arrastre, de tipo hidroneumático, comúnmente denominados atomizadoras. Estos equipos pulverizan el caldo a asperjar generado por una boquilla hidráulica, esas gotas son transportadas al interior de la masa vegetal mediante una corriente de aire. Es decir, realizan la aplicación del caldo mediante dos componentes, uno hidráulico, la formación de la gota y otra neumática, transporte de la gota hacia el blanco.

Un equipo pulverizador para montes frutales generalmente es de arrastre y se acciona mediante la toma de fuerza del tractor. Se conforma básicamente por tres elementos: el depósito con capacidad entre 1000 L y 2500 L, la bomba de agua y el ventilador. Estos equipos pueden tener sobre el ventilador deflectores tanto en el centro del arco que porta las boquillas como deflectores en torre, donde el aire es conducido en altura hasta el lugar donde están las boquillas.

Con el paso del tiempo las pulverizadoras empleadas en fruticultura se han modernizado, empleando tecnología similar a la empleada en agricultura extensiva. Es así que existen equipos con comandos computarizados que controlan el volumen de caldo en función de la velocidad de avance, y mediante el uso de sensores conectados a válvulas que se accionan según exista o no vegetación (Sarubbi, 2010).

Con respecto a los pulverizadores las directivas de la Organización Internacional de Lucha Biológica (OILB) en el Capítulo 11 enuncian que “*Los pulverizadores tradicionales son ineficientes y generan un alto porcentaje de deriva*”. Un requerimiento importante dentro de la producción integrada de frutas es el uso más seguro y eficiente de los pulverizadores y que se introduzcan gradualmente nuevos modelos. Los pulverizadores deben ser inspeccionados y calibrados frecuentemente. La tasa de aplicación debe ser adaptada al tamaño de la planta. Al respecto, Baraldi et al. (1986) realizan una comparación entre dos pulverizadores, uno de ellos con deflectores verticales y otro convencional, con el primero obtienen una aplicación uniforme sobre el objetivo, una reducción en la endoderiva y del depósito de plaguicida en el suelo. También encuentran un importante ahorro en el uso de energía por parte del pulverizador con deflectores. Planas de Martí (1994), plantea el uso de nuevas tecnologías para los tratamientos fitosanitarios en los diversos vegetales con tres objetivos importantes. El primero, mejorar el recubrimiento del vegetal; lo segundo realizar una distribución uniforme en el objetivo a tratar, y tercero minimizar la deriva y endoderiva de la aplicación. Menciona que el uso de pulverizadores hidroneumáticos permite realizar aplicaciones de calidad, siendo que el acercamiento de las boquillas al objetivo a través de los deflectores constituye el éxito en la mejora, permitiendo que la gotita (líquido pulverizado) llegue al objetivo de forma más eficiente.

A nivel mundial se proponen, entre otras medidas y opciones, nuevas tecnologías de aplicación, entre ellas, las pulverizadoras de torre, que mejoran la homogeneidad de cobertura en altura y profundidad, debido a que uniformizan la distancia a recorrer por las gotas y el patrón de penetración a la planta (Zeballos et al., 2014).

2.3. NECESIDADES DE CALDO A PULVERIZAR Y POTENCIALES DE REDUCCIÓN

Uno de los métodos empleado para calcular la necesidad de caldo de un monte frutal es el Tree row volumen (TRV), metodología propuesta por Byers et al. (1984). El TRV surge como respuesta a un cambio en la forma de producción, en el sistema de conducción de los montes frutales, particularmente manzanos (*Malus domestica*). Hasta el momento previo al uso del TRV, las recomendaciones de fitosanitarios se realizaban de manera estándar, pensando en plantas que median 6,1 m de alto, 7,0 m de ancho y 10,6 m entre fila. Pero para ese entonces, los huertos no se ajustaban a este estándar (Sutton y Unrath, 1988).

El método de TRV se desarrolló en EEUU; para un huerto frutal, sobre la base de una aplicación diluida a punto de goteo que requiere un litro de agua para cubrir 10.67 m³ de follaje, en otros términos 0,0937 L/m³ (Byers et al., 1984).

Los montes frutales tienen diferentes características ya sea por el tipo de frutal del que se hable (variedad, vigor, estado fenológico), como del manejo que se lleve adelante (conducción, tipo de poda). Sutton y Unrath (1988), propusieron un ajuste por densidad foliar que adquiere valores extremos de 0,7 para árboles muy abiertos y 1 para árboles sin poda y sin penetración de luz a través del follaje.

Hall (1991) observó que a medida que se intensifican las plantaciones y consecuentemente decrece el TRV, la captura de agroquímicos de las aplicaciones se incrementa. A pesar de que los sistemas intensivos presentaron 5 a 6 veces más producto químico que los sistemas menos intensivos, el control fue similar. Por este motivo el autor reflexiona sobre el exceso de producto con el consecuente problema económico y contaminación del medio ambiente.

Siegfried y Holliger, citados por Magdalena (2004), informaron que el concepto de TRV fue estudiado en Suiza para predecir la tasa de aplicación (L/ha) en frutales. Esta metodología permitió obtener ahorros de agroquímicos de 15 a 20%.

Si bien el uso del TRV para el cálculo de necesidad se ajusta en buena parte a la variación de los montes frutales, no parece lograr acompañarse totalmente a las nuevas tecnologías que buscan la eficiencia de producción. Existen otras metodologías, una de ellas es el leaf wall area (LWA), que según Walklate y Cross (2013) que permiten avanzar en esa dirección. Gil et al. (2014) realizaron una investigación donde se ajusta la pulverización en viña basada en el concepto de LWA, donde relacionan cobertura y dosel para diferentes

aplicaciones. Los resultados indican la conveniencia de emplear la tasa de volumen de pulverización basada en el LWA.

La eficiencia en la deposición y penetración de las gotas en la copa de los árboles va a depender de múltiples factores. Considerando el monte la arquitectura (Travis et al., 1987), la forma y dimensiones de la copa son un primer limitante para la llegada de las gotas a cada estrato y profundidad de los árboles. Desde la óptica de la pulverizadora a emplear inciden, la población de gotas generadas por el tipo de boquilla y la presión de trabajo, estos dos elementos definen el caudal a asperjar, junto con la velocidad de avance (Salyani, 1988). Elevar la presión de trabajo no garantiza la llegada del líquido a toda la copa (altura y profundidad), por el contrario, un exceso en la presión genera una población de gotas susceptibles a la deriva y/o evaporación antes de llegar al objetivo (Magdalena et al., 2011). Los mayores depósitos de plaguicidas ocurren en la parte externa e inferior de la copa de los árboles las cuales son fácilmente alcanzadas por el chorro del pulverizador, al contrario de lo que ocurre con las partes interna y superior de la copa las cuales reciben muy poco o nada del producto químico (Juste et al., 1990). Un factor determinante en la eficiencia de deposición sobre todo en las partes internas y superior de la planta es el flujo de aire. La regulación del aire es tan importante como los otros factores, ya que este es el vehículo mediante el cual llega el líquido a asperjar a la planta (Homer et al., 2010).

En algunas situaciones, para compensar la distancia a recorrer entre las gotas y el objetivo, se divide la tasa de aplicación en tercios y se ajusta su distribución. Al tercio superior de la planta se le asignan dos tercios de la tasa de aplicación y el tercio restante de caldo a asperjar se destina a los 2/3 que ocupan los estratos medios e inferior de la copa de los árboles (Homer et al., 2010).

Existe tendencia a reducir el volumen de los caldos en las aplicaciones fitosanitarias, para la disminución de costos y el aumento de la eficiencia de pulverización, lo que es posible mediante el uso de sistemas que proporcionen una deposición y un espectro de gotas uniformes (Voll et al., 2006). Esta tendencia que busca la eficiencia económica de los sistemas, sin perder calidad de aplicación, puede alcanzar un beneficio sustancial de ahorro en el uso de agua empleada en la pulverización.

Reducir el volumen de caldo, en cualquier cultivo permite, con numerosos productos, optimizar la aplicación. Para lograr ese mejor resultado es muy importante, una vez determinado el producto a aplicar, realizar una correcta calibración (caudal / presión) seleccionando las boquillas adecuadas (las que se deben ajustar). El uso de un bajo volumen no significa per se una buena aplicación; debe estar asociado con un tamaño de gotas o un diámetro

volumétrico mediano (DMV) correcto. Por otra parte, en tratamientos a volumen reducido, se deben proteger las gotas de la deriva, de la desecación en la pulverización y sobre el objetivo (Bon, 2011).

Dosaviña® es una aplicación desarrollada por la Unidad de mecanización agraria de la Universidad Politécnica de Cataluña. Esta app permite de forma sencilla y rápida calcular el volumen de aplicación para los distintos tratamientos en el cultivo de viña, teniendo en cuenta el estado de desarrollo de este cultivo y el equipo pulverizador que se empleará. Para validar la aplicación Gil (2019) realizó numerosos ensayos cuyos resultados arrojan un rango de aplicación óptimo entre 20% y 45% en la cobertura del área foliar. Con estos valores se lograron resultados adecuados en el control de plagas y enfermedades.

El uso de pulverizadoras con deflectores en cultivos cítricos parecen ser un gran avance en la reducción de la dosis de aplicación. Según Planas de Martí (1994), se llegan a reducciones de hasta 50% en relación con pulverizadores convencionales.

Xun et al. (2022) en su trabajo recientemente publicado, concluyen no solo que es posible disminuir el volumen de caldo aplicado en montes de manzana en hasta un 75%, según el desarrollo del dosel, sino que también la tasa de volumen a aplicar debe definirse en base a la estructura del dosel (TRV) teniendo en cuenta las características de la pulverizadora. Los autores encuentran potencial de reducción si se determina un método de ajuste adecuado ente las características del dosel, y las características técnicas de la pulverizadora. Extremar el ajuste de los parámetros operativos determina una adecuada calidad en la distribución de la pulverización.

2.4. METODOLOGÍAS PARA MEDIR COBERTURA, DEPOSICIÓN Y ANÁLISIS DE IMAGEN

Existen diversas metodologías para medir y evaluar la cobertura o deposición del caldo en el objetivo. Para evaluar cobertura una técnica rápida, muy visual son las tarjetas hidrosensibles, las cuales se pueden procesar con diversos programas de computación y extraer otros valores y datos útiles (DMV, AR, etc.). La deposición se puede medir empleando una sustancia que oficia de marcador dentro del agua pulverizada, permitiendo no solo un análisis visual (cualitativo) sino también un análisis cuantitativo midiendo la deposición del trazador.

Diversos autores y en variadas áreas de la ciencia han estudiado la posibilidad de trabajar con trazadores fluorescentes, particularmente los colorantes alimenticios que se emplean como trazadores presentan ventajas

como su fácil disponibilidad, son económicamente accesibles y no representan riesgo al manipular porque no son tóxicos (ya sea por su inocuidad o por sus bajas dosis). Cai y Stark (1997) estudiaron 5 marcadores fluorescentes por su alta sensibilidad a la luz (fotosensibilidad), encontraron vidas medias de degradación del marcado expuesto a la radiación solar que van de 7, 15 y 30 minutos, hasta 3 horas. Concretamente el tinopal ® es un colorante fluorescente que se emplea en la industria de la lavandería por su poder blanqueador, que tiene según los autores una vida media de 7 minutos.

En cuanto al uso con objetivos biológicos, según Olivet (2009) los trazadores fluorescentes son una técnica que se ajusta bien si el objetivo es cuantificar depósito por unidad de superficie. Las tintas fluorescentes tienen un gran uso dentro de las investigaciones de deposición por su sencillez de trabajo pos-aplicación.

Las hojas, son los elementos comúnmente utilizados como blanco de observación en las evaluaciones de aplicación de agroquímicos en árboles frutales. Los motivos de esta elección se basan en que constituyen el porcentaje vegetal más elevado dentro del blanco de aplicación, en forma comparativa con ramas y frutos, además de ser los órganos vegetales más utilizados por las plagas fitófagas para su alimentación y refugio (Magdalena, 2004).

Existen numerosos criterios con respecto al número y posición de hojas que conformen una muestra estadísticamente válida para evaluar el depósito resultante de la aplicación. Pero existen coincidencias en tomar 2 o 3 estaciones de muestreo en altura y dos estaciones de muestreo en profundidad en el árbol (externa e interna). Sin embargo, no existe un criterio unificado sobre las alturas exactas de muestreo, ya que este criterio se adopta de acuerdo con la altura y porte de los árboles (Magdalena, 2004).

Los blancos vegetales sometidos a la aplicación de marcadores fluorescentes son evaluados en laboratorio por diferentes técnicas según el marcador empleado. La fluorescencia ocurre cuando una molécula es excitada por una irradiación de onda corta, como la luz ultravioleta, absorbe un fotón y entonces alcanza un nivel de energía alto e inestable. Al retornar a un nivel de energía estable, ese cambio es acompañado por la emisión de un fotón a diferentes longitudes de onda de la fuente de excitación. Este comportamiento es importante en la evaluación de aplicaciones de agroquímicos ya que pueden ser detectadas cantidades extremadamente pequeñas del trazante (Cooke et al., citados por Magdalena, 2004).

Palladini (2000) emplea esta técnica de visualización de la deposición en hojas mediante luz ultravioleta, generando una escala de 0 a 8, la cual varía

según la cantidad y distribución del material depositado en la superficie (haz y envés) de las hojas.

Las pulverizaciones de plaguicidas son generalmente clasificadas en función del tamaño de la gota con particular referencia al DMV, definido como el diámetro de la gota que divide el volumen de pulverización en dos partes iguales. Así, la mitad del volumen pulverizado formará gotas con diámetros mayores al DMV y la otra mitad con diámetros menores al DMV (Matthews, 2000).

La variación entre los diámetros de las gotas de una pulverización determina el espectro de gotas, característica definida como amplitud relativa (AR). Si las gotas presentan una diferencia pequeña entre sus diámetros, la pulverización tendrá un espectro de gotas homogéneo. De lo contrario el espectro será heterogéneo y el valor de AR será mayor. Otra característica importante que debe ser evaluada en las pulverizaciones es la densidad de gotas (DG), definida como la cantidad de gotas por unidad de superficie (Monteiro, 2006). A mayor densidad de gotas mayor eficiencia biológica ya que habrá mayor probabilidad de que la plaga entre en contacto con la superficie tratada (Veliz et al., 2010). Esto es válido siempre y cuando no se pase de un umbral determinado.

Las tecnologías para el análisis de imágenes están compuestas por un universo diverso de programas que caracterizan la aplicación, con el objetivo de realizar de forma más rápida la evaluación, hacerla más eficientemente, y mejorar la precisión de los datos.

Los programas existentes permiten a partir de tarjetas hidrosensibles generar datos de impactos por cm^2 y porcentaje de cobertura. Brindan los parámetros de caracterización de la población de gotas de esa pulverización, tales como: diámetro volumétrico mediano, diámetro numérico mediano, amplitud relativa, entre otros (Lauric et al., 2016).

Pi (2019) realiza ensayos empleando el programa Image J, el cual realiza análisis de imagen transformando las mismas a un sistema binario monocromático, este programa presenta un buen desempeño en la estimación de cobertura. También muestra similitud con otros, dado que esos programas usan como base de desarrollo el Image J. Cabe destacar que este programa tiene acceso libre.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

Durante el mes de abril de 2019 se llevó adelante la primera etapa del ensayo, donde se caracterizó el monte frutal, se calibró la pulverizadora y en función de esto se realizó la aplicación. Posteriormente en una segunda etapa de laboratorio, se evaluó la cobertura de la aplicación y se cuantificó la cantidad de producto que quedó depositado en las hojas de los árboles seleccionados.

3.1. ETAPA DE CAMPO

El monte donde se realizó el ensayo está ubicado en la Estación Experimental "Wilson Ferreira Aldunate" de INIA Las Brujas (ver figura 1). Es un cuadro de manzana cv Gala Baigent® Brookfield, con portainjerto M9 NAKB T337, implantado en 2014 con un sistema de plantación en muro bajo (MURBA), y sistema de conducción de planta en eje central. El marco de plantación es de 3 x 0,75 metros, lo que da una densidad de 4444 plantas por hectárea.



Figura 1. Ubicación del ensayo

Se utilizó un equipo de la marca ROCHÄ, modelo Cronos, con un tanque de 2000L (figura 2). Este pulverizador es de flujo transversal, cuenta con torre donde se encuentran 9 boquillas de cada lado. En el ensayo se trabajó con boquillas TXA8001VK; boquilla de turbulencia cónica hueca para aplicación en campo abierto, cuerpo de polipropileno e inserto de orificio de cerámica, con un

ángulo de aspersión de 80 grados y un caudal de 0,1 gal/min a 2,8 bar (40 PSI) de presión, tamaño de gota fina.



Figura 2. Pulverizadora

Durante los primeros días del mes de marzo de 2019 se procedió a determinar el índice de área foliar (IAF) del cuadro. Las plantas estaban en la última etapa del ciclo, ya sin fruta y con todas sus hojas desarrolladas, incluso la brotación de verano, aun no presentaban ningún síntoma de senescencia foliar. Se recolectaron 30 hojas al azar dentro del monte por cada una de las categorías definidas (hojas chicas, medianas y grandes), las cuales se escanearon y se procesaron para obtener el área. Luego se seleccionaron ocho plantas mediante azar dirigido, para que fueran representativas del monte frutal y se contaron absolutamente todas las hojas (sin retirarlas de la planta) y se clasificaron por su tamaño, en total se relevaron 8000 hojas.

Para delimitar el espacio que ocupaba cada árbol el criterio que se tomó fue la distancia de plantación, es decir, la distancia entre plantas de 0,75 m y la altura, que para esta plantación está definida en dos metros. La altura total del árbol se dividió en tres estratos, que se ubicaron a partir del tronco a unos 0,50 m del suelo, midiendo cada estrato 0,60 m. Se colocó una cuadrícula usando el

tronco del árbol como punto medio, y todas las hojas que entraban dentro de esa área fueron relevadas y clasificadas (ver figura 3).

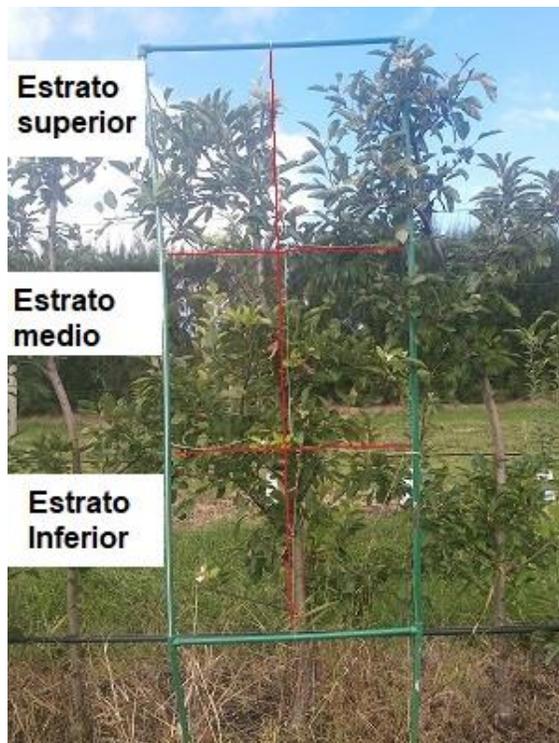


Figura 3. Cuadrícula que delimita el área de cada árbol a relevar y clasificar para determinar IAF

Para determinar el área correspondiente a cada categoría, se extrajeron 30 hojas (por categoría) y se digitalizaron empleando un escáner. Luego usando el programa Image J, se calculó el área de cada hoja y el promedio de área para cada categoría. Este valor se multiplicó por el número de hojas total de cada categoría. Para obtener el área foliar por planta se sumaron todas las categorías. Para calcular el IAF se tomó el área foliar total por planta y se lo dividió entre la superficie que tiene asignada cada planta según el marco de plantación.

Área foliar total por planta=

$$\sum_{i=1 \text{ a } 3} (\text{área } X \text{ de categoría } i * \text{número de hojas de la categoría } i) \text{ (m}^2\text{)}$$

IAF= área foliar total por planta / superficie de suelo por planta

Se calculó el volumen de la fila de los árboles o tree row volumen (TRV), como el volumen de vegetación por unidad de superficie, es decir metros cúbicos por hectárea (ver figura 4).

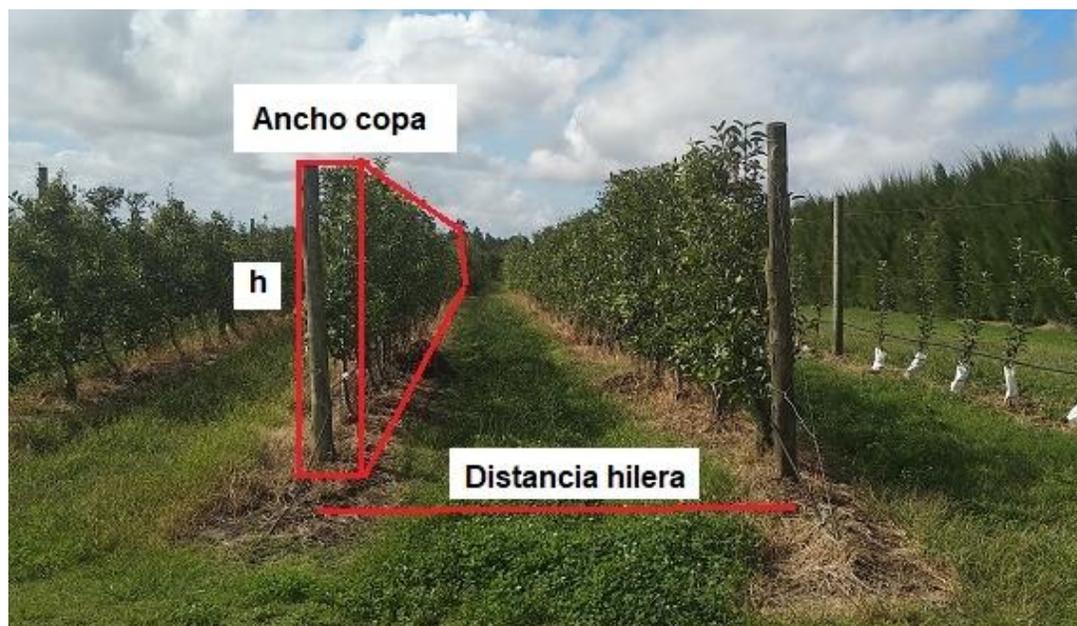


Figura 4. Cálculo del TRV

$$\text{TRV} = \frac{\text{altura de la copa} \times \text{ancho de la copa} \times 10.000}{\text{distancia entre filas}}$$

Siguiendo la fórmula se calculó en este monte el TRV, siendo de 3833 m³, (2,3*0,5*10000) /3).

Con estos datos se determinó la tasa de aplicación (Q):

$$Q = \text{TRV} * 0,0937 * i$$

Donde el 0,0937 l.m⁻³ es el volumen de líquido por unidad de volumen de árbol e i es un índice de ajuste de densidad foliar, que va desde 0,7 para árboles muy jóvenes y abiertos, hasta 1 para árboles extremadamente grandes y densos. Para el monte del ensayo se empleó un índice igual a 0,7 (árboles jóvenes y abiertos).

El Q calculado sería el volumen de caldo a aplicar como estándar. Sobre éste se calculó una reducción de 20% y 40% para definir las distintas cantidades de caldo en los tratamientos.

3.1.1. Regulación del equipo

Cada equipo de trabajo posee características propias y debe calibrarse para ajustar las variables que influyen en la aplicación. Con el equipo a realizar el ensayo se determinó, la velocidad de avance (VAV), se realizaron varias pasadas determinando distancia y tiempo con diferentes combinaciones de cambios (cuadro 1). En esta ecuación la distancia está en metros y el tiempo en segundos, al multiplicar el resultado de la división por 3.6, el resultado se expresará en kilómetros por hora.

$$VAV = (d / t) * 3,6 \text{ (km/h)}$$

Otra variable importante es el caudal de aplicación entregado por las boquillas, ya que estas variables determinan tamaño de gota, uniformidad (cuando homogéneas son) y número de impactos. Se definió usar 8 boquillas por cada lado de la pulverizadora. Las boquillas empleadas fueron TXA8001VK, de primer uso, entregan un caudal de 0,1 galones por minuto.

Con estos datos, más la distancia entre fila y el factor de corrección de unidades (600), se calculó la tasa de aplicación (Q), como se expresa en la siguiente ecuación.

$$Q = (q * \text{número de boquillas} * 600) / (\text{distancia entre filas} * VAV) \text{ (l/ha)}$$

Se realizó la aplicación del Q inicial de 250 L/ha con una presión de trabajo a 2,5 bar. La reducción de 20%, da un Q de 200 L/ha, que se logró con la misma presión de trabajo de 2,5 bar y ajustando la velocidad de avance (cuadro 1). Para la última disminución de 40%, el Q de 150 L/ha se logró con una presión de aplicación de 2 bar y también un ajuste de la velocidad de avance.

Las aplicaciones se realizaron agregando en el agua a pulverizar un marcador fluorescente, tinopal. Se agregó un kilogramo de marcador fluorescente en 100 l de agua.

La selección de las velocidades para la aplicación de los volúmenes determinados se realizó de forma empírica. Se marcó una distancia conocida de 30 m, se seleccionó una marcha y se tomó el tiempo en que el tractor realizó ese trayecto (tractor más pulverizador en total funcionamiento). En el cuadro 1 se pueden observar los cálculos realizados y las combinaciones seleccionadas (destacadas con verde).

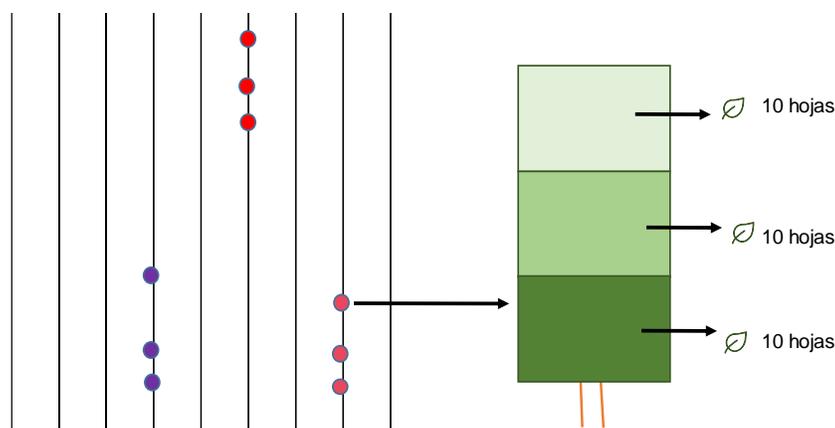
Cuadro 1. Caudales de aplicación (L/ha) logrados con diversas velocidades de avance del tractor (km/h) y dos presiones de trabajo en la pulverizadora

Caudal	Combinación de cambios	Tiempo (s)	Distancia (m)	vav (km/h)	Q (L/ha) 2.5 bar	Q (L/ha) 2 bar	DMV	AR
Q1	3 ^{ra} VH	23,7	30	4,56	249,99	223,61	145	sin dato
Q2	4 ^{ta} VL	19,45	30	5,55	205,16	183,51	145	sin dato
Q3	BH4	16,13	30	6,7	170,14	152,19	153	0,915

En cada parcela de tratamiento se colocaron seis tarjetas hidrosensibles. Las mismas se distribuyeron en altura de la siguiente forma: una en el estrato superior, otra en el medio y por último una abajo, repitiéndose al otro lado de la fila, una en cada estrato del árbol, así se cubrió en altura los tres estratos y ambas caras de las plantas.

3.1.2. Diseño experimental

El ensayo se realizó con un diseño experimental al azar. Dentro del cuadro se procedió a realizar las tres aplicaciones según el volumen calculado. Dentro de cada fila pulverizada se tomaron aleatoriamente tres árboles por caudal. Cada árbol se dividió en tres estratos, y dentro de cada estrato se extrajeron 10 hojas. En la figura 5 se puede observar un diagrama del diseño.



- Q1 250 L/ha
- Q2 200 L/ha
- Q3 150 L/ha
- Estrato superior
- Estrato medio
- Estrato inferior

Figura 5. Diseño experimental

3.2. ETAPA DE LABORATORIO

Luego de realizar las aplicaciones para cada tratamiento, se procedió a extraer un grupo de muestras para análisis cuantitativo y otro para análisis cualitativo.

Para el análisis cuantitativo se tomaron 3 árboles por cada tratamiento, y en cada árbol se muestreo cada uno de los tres estratos: superior, medio e inferior. De cada estrato se extrajeron 10 hojas, un total de 30 hojas por planta y 90 por tratamiento. Las hojas extraídas fueron de tamaño medio a grande y se colocó cada una en una bolsita individual, rotulada y al resguardo de la luz para que no se deterioraran. Se conservaron en frío hasta su procesamiento.

De igual forma se extrajeron muestras para el análisis cualitativo, pero en lugar de focalizar en plantas se tomaron de forma aleatoria de diferentes plantas. En total se tomaron 10 hojas por estrato (superior, medio e inferior) y por tratamiento, con ellas se haría una evaluación visual empleando luz negra.

3.2.1. Análisis cualitativo de deposición sobre el follaje

Las muestras para este análisis fueron visualizadas una a una con la ayuda de luz ultravioleta cercano (UV) y se las clasificó empleando una escala según la cobertura de los impactos de gota.

Para la realización de la escala se adaptó la empleada por Palladini (2000), a las muestras extraídas del ensayo (ver figura 6). Los valores extremos de la escala, 1 y 5, corresponden a sub aplicación y sobre aplicación respectivamente (hasta 10% y más de 80%), en tanto los valores de 2 a 4 se consideran coberturas aceptables, siendo los rangos los siguientes. 2, entre 10% y 20%; 3, de 20% a 40% y 4, entre 40% y 70%.

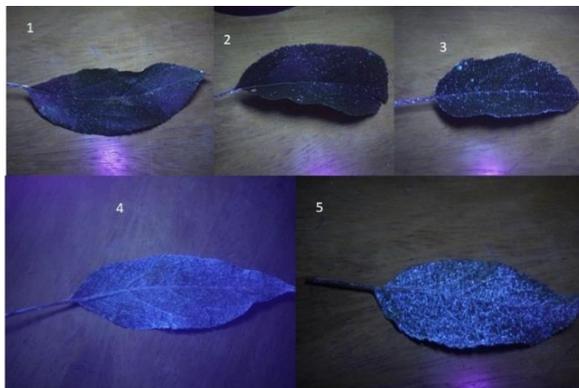


Figura 6. Escala visual de cobertura

3.2.2. Análisis cuantitativo de deposición sobre el follaje

Cada muestra de hoja fue lavada con 30 ml de agua destilada. En cada bolsita se agregó el agua destilada y se la agitó durante 30 segundos. El agua del lavado se colocó en un recipiente de plástico rotulado igual que la bolsita y se reservó en heladera. La hoja quedó en la bolsa para luego ser escaneada en un escáner. Las imágenes digitalizadas se procesaron con el programa Image J, para obtener el área de cada muestra. Con el agua del lavado se realizó la espectrometría de fluorescencia, cuyo resultado corresponde a la concentración del marcador en cada muestra, lo que permitió calcular la cantidad de $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ al vincularlo con el área de cada hoja, calculada previamente. Los datos de espectrofluorimetría y área fueron registrados en una planilla electrónica para cada muestra, creando la tabla madre o base de datos.

La tabla base generada se modificó para los datos de Q2 y Q3, realizando un ajuste correspondiente al porcentaje de reducción de cada caudal, es decir del 20 y 40 por ciento respectivamente.

3.2.3. Análisis de la cobertura de tarjetas hidrosensibles

Se realizó un análisis visual de las tarjetas hidrosensibles (ver anexo 1) y al otro día del ensayo se escanearon para realizar la evaluación mientras se mantenía el buen estado de las tarjetas y evitar el deterioro por humedad de las imágenes.

Las imágenes se procesaron con dos programas, CIR 1.5 e Image J, en ambos se pasan las imágenes escaneadas de cada una de las tarjetas a binario monocromático y se extrae el dato de cobertura. El resultado extraído con el programa Image J se ajustaba muy bien a la evaluación visual realizada, por lo que se trabajó con estos datos.

3.3. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

En el caso de los datos recabados de la espectrofluorimetría y área foliar, con los que se obtuvo la deposición del marcador por centímetro cuadrado de hoja, se conformó la tabla maestra para el análisis estadístico. Se calcularon estadísticos descriptivos de tendencia central y de dispersión. Para el análisis de los resultados, se hizo la comparación de medias a través del análisis de varianzas ANOVA, test de Tukey. El paquete estadístico utilizado fue Statgraphics. El nivel de significancia estadística empleado fue $P < 0,05$.

Para los datos de cobertura en hoja y en tarjetas hidrosensibles, se realizó un análisis mediante estadística descriptiva.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Primeramente, se evalúan los resultados de las mediciones de área foliar tomadas en el muro frutal. Luego se presentan los resultados del trabajo, a los fines de evaluar la cobertura de aplicación y cuantificar el volumen depositado en el muro frutal, en los diferentes estratos (inferior, medio y superior) y para los tres caudales utilizados (Q1, Q2 y Q3).

4.1. ESTIMACIÓN DEL IAF

Realizar la medición de área foliar en montes es compleja, ya sean comerciales o con fines de investigación, dado que el objeto a medir está compuesto por muchísimas subunidades: las hojas. Los métodos in situ son muy dificultosos, los métodos más exactos implican muestreo destructivo. En este trabajo se utilizó una metodología relativamente práctica y no destructiva para estimar el IAF del muro frutal.

El área promedio de una hoja chica fue de $6,5 \text{ cm}^2$, de las hojas medianas $17,4 \text{ cm}^2$ y de las grandes $36,1 \text{ cm}^2$. El promedio de área foliar por planta fue de $1,62 \text{ m}^2$, cada planta ocupa $2,25 \text{ m}^2$ (por su marco de plantación). El IAF estimado por estrato es de 0,219 estrato superior, 0,30 para el medio y 0,20 para el estrato inferior, para este monte frutal el IAF estimado es de 0,719.

Hay consenso entre los investigadores en que montes con plantaciones convencionales, es decir, montes con sistemas de conducción tipo vaso con copas globosas, con 3 a 5 metros de altura de las plantas, el IAF se encuentra entre los 2,5 y 3,5. En términos generales el IAF para varios autores podría situarse en valores que varían entre 1,5 y 5. Para Dussi (2007) IAF de 2,45 representa árboles muy densos para obtener buenas producciones con fruta de calidad. La autora propone IAF de 1,5 como límite para los montes frutales modernos, donde IAF menores a 1,5 la altura y el diseño de la copa tienen poca influencia en la penetración de la luz, en caso de superar el límite estos dos parámetros cobran relevancia. Cuanto mayor es el IAF menor es la penetración de la luz, repercutiendo en la calidad de la fruta y la producción.

Pero a medida que los montes van siendo más bajos y bidimensionales como el caso del MURBA (muro frutal bajo), los índices decrecen, y para estos montes modernos IAF cercanos a 1,5 se ajustan más, como es el caso de manzanos injertados sobre M9 (Dussi, 2007). Es claro que se debe adecuar las aplicaciones de fitosanitarios, al volumen foliar de los nuevos sistemas.

El monte del ensayo presenta un IAF de 0,72, valor que se encuentra por debajo de lo citado para montes con características comparables al MURBA.

Particularmente el monte experimental utilizado, está pensado para formarse con plantas bajas, no más de 2,2 m de altura, pero al momento de hacer las evaluaciones, no llegaban a la altura esperada. Por otro lado, la producción de manzanos en Uruguay está en una región límite o al borde climático para las condiciones necesarias de producción. Es así como el requerimiento de frío que necesita la especie muchas veces está comprometido, limitando la brotación y desarrollo, lo que repercute en la intensificación del sistema, al contar con menos ramificaciones y puntos de crecimiento.

En los sistemas MURBA o pared frutal se dan estructuras menos densas a nivel de follaje y ramas lo que se traduce en el IAF calculado, así como el volumen a cubrir y la necesidad de penetración se reducen. Esto hace pensar que, para el cálculo del caudal de aplicación, cuando se define un coeficiente de ajuste por densidad foliar, podría ser necesario analizar una adecuación a estos sistemas, aportando o adaptando a la propuesta original de Sutton y Unrath (1988).

4.2. CARACTERIZACIÓN VISUAL DE LA DEPOSICIÓN SOBRE EL FOLLAJE

Se realizó una caracterización de la cobertura de aplicación (densidad de gota), mediante una descripción visual de las muestras para cada uno de los caudales y estratos del árbol.

En el cuadro 2 se presentan los datos obtenidos de la visualización de las muestras en cada estrato del árbol, discriminado en haz y envés de las hojas, para el caudal Q1, de 250 L/ha. En promedio las coberturas son aceptables, ubicándose en la escala entre 2 y 4, siendo más bajo en haz que en el envés en todos los estratos. Era de esperar encontrar mayores valores de cobertura en este caudal que tenía el mayor volumen de caldo a utilizar, es de suponer que parte del caldo se perdió entre las zonas que no estaba 100% cubierto, donde presentaba menos desarrollo.

La cobertura visual para el caudal Q2 (ver cuadro 3), a pesar de reducir la tasa de aplicación en 20%, se mantiene en valores muy buenos en ambos lados de las hojas y en todo el perfil de estratos. Es así que surge plantear la pregunta respecto del volumen utilizado en Q1 que parece ser más de lo realmente necesario. A partir de estos valores, surge entonces la posibilidad de un ajuste del índice por densidad foliar, lo que sería un buen punto para trabajar a futuro, en plantaciones con sistemas de plantación, tipo pared frutal, ya sea en muro bajo o muro alto.

Cuadro 2. Datos para el caudal Q1 (250 L/ha) de caracterización de cobertura por estrato del árbol, en haz y envés de las hojas

Caudal Q1						
Estrato	Superior		Medio		Inferior	
Muestra	Haz	Envés	Haz	Envés	Haz	Envés
1	3	4	2	3	4	3
2	2	4	2	3	2	4
3	1	5	3	3	2	3
4	3	4	3	5	4	4
5	1	3	1	4	4	3
6	2	4	2	3	3	4
7	2	3	3	5	2	4
8	2	3	2	4	2	3
9	2	3	2	3	3	4
10	2	4	3	4	2	3
Promedios	2	4	2	4	3	4

Escala: 1 sub-aplicación a 5 sobre aplicación.

Cuadro 3. Datos para el caudal Q2 (200 L/ha) de caracterización de cobertura por estrato del árbol, en haz y envés de las hojas

Caudal Q2						
Estrato	Superior		Medio		Inferior	
Muestra	Haz	Envés	Haz	Envés	Haz	Envés
1	2	4	5	4	3	4
2	3	4	5	2	3	3
3	3	4	3	4	4	3
4	4	5	3	5	3	5
5	2	3	3	5	5	4
6	4	4	4	4	4	3
7	4	3	3	5	3	4
8	4	5	4	3	3	3
9	4	4	3	5	3	4
10	4	3	3	5	4	3
Promedios	3	4	4	4	4	4

Escala: 1 sub-aplicación a 5 sobre aplicación.

Los datos correspondientes al último caudal Q3, se presentan en el cuadro 4. En términos generales, las coberturas son aceptables en todos los estratos, aunque algo más bajos que en Q1 y Q2. Si bien resultaría más lógico que el haz de la hoja presente mayor deposición, en este caudal y en el caudal Q1 se observan menores coberturas en el haz de la hoja con respecto al envés.

Cuadro 4. Datos para el caudal Q3 (150 L/ha) de caracterización de cobertura por estrato del árbol, en haz y envés de las hojas

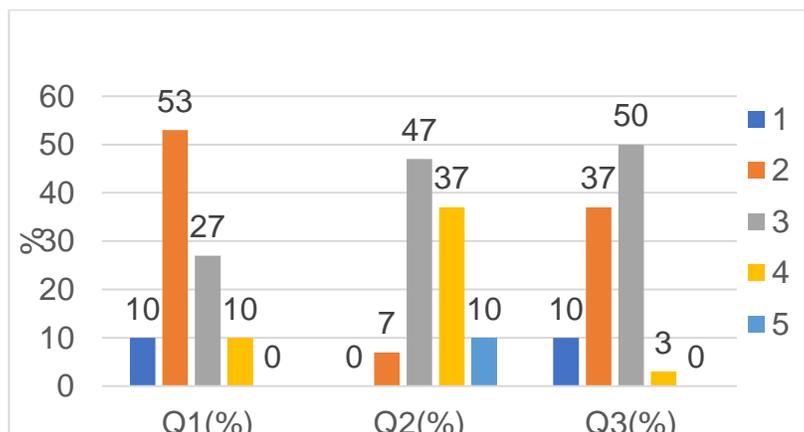
Caudal Q3						
Estrato	Superior		Medio		Inferior	
Muestra	Haz	Envés	Haz	Envés	Haz	Envés
1	4	4	1	4	1	3
2	3	3	2	3	1	2
3	3	4	3	2	3	3
4	3	5	2	4	2	2
5	3	5	3	3	2	3
6	2	3	2	1	3	1
7	2	4	2	4	3	5
8	3	4	3	2	2	3
9	2	4	3	3	3	3
10	3	2	3	4	2	3
Promedios	3	4	2	3	2	3

Escala: 1 sub-aplicación a 5 sobre aplicación.

En el gráfico 1 se puede apreciar los porcentajes de cobertura en el haz de las hojas para los tres caudales. En Q1 el 80% de la cobertura se sitúa en los grados 2 y 3 de la escala, llegando al 90% si se le suma el grado 4, lo que representa muy buenos niveles de cobertura, bajo porcentaje en sub aplicación y cero en sobre aplicación. El caudal Q2 presentó coberturas del 82% dentro de los grados 3 y 4 de la escala. Al disminuir el caudal en Q3 el 87% de la cobertura se encuentra en los grados 2 y 3 de la escala.

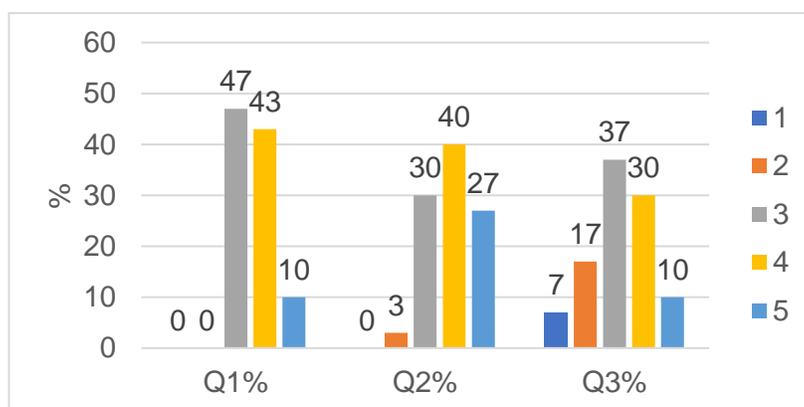
El haz de las hojas en los tres caudales presenta coberturas medias, en promedio el 85% de las observaciones se encuentra entre los grados 2 y 4 de la escala, con cierto nivel de homogeneidad en altura.

Gráfico 1. Análisis visual del haz: distribución porcentual por escala de cobertura (1 sub-aplicación a 5 sobre aplicación) según caudal aplicado, Q1 (250 L/ha), Q2 (200 L/ha) y Q3 (150 L/ha)



En el gráfico 2 se presenta el análisis visual de cobertura en el envés de las hojas para los tres caudales. En el caudal Q1 el 90% de las observaciones se ubicaron entre los grados 3 y 4 de la escala de cobertura. Para Q2, el 97% de las hojas se ubicaron entre los grados 3 y 5 de la escala, detectándose también que otra parte de la muestra (30%) tenía un grado 3 de cobertura, mientras que un 27% se ubicó en el grado 5. Al disminuir el caudal (Q3) se observó que el 84% presentaron un nivel de cobertura entre los grados 2 y 4, y otro 10% se ubicó en el grado 5.

Gráfico 2. Análisis visual del envés: distribución porcentual por escala de cobertura (1 sub aplicación a 5 sobre aplicación) según caudal aplicado, Q1 (250 L/ha), Q2 (200 L/ha) y Q3 (150 L/ha)



El análisis en su conjunto de los niveles de cobertura no muestra grandes diferencias entre los tres caudales, pero sí muestran un desplazamiento dentro de la escala hacia valores de mayor deposición a favor del envés de las hojas. Quizás la diferencia de deposición se explique por una razón fisiológica / morfológica de las hojas. Es decir, las hojas de los manzanos son coriáceas en su haz y pilosas en el envés, esta característica puede actuar en favor o no de la retención del líquido que logra permanecer en la superficie, y que luego reporta en la deposición. Lo esperable sería que el haz de las hojas al ser el más expuesto, sea el que mayor deposición presente. Pero esto se busca compensar mediante una de las funciones del ventilador, que además de transportar la gota hasta el objetivo, debe ser capaz de mover el follaje para lograr una cobertura homogénea en haz y envés. Es factible que la morfología de la hoja puede estar actuando a favor una mayor deposición sobre el envés de las hojas dadas las características de este cultivo.

4.3. CARACTERIZACIÓN CUANTITATIVA DE LA DEPOSICIÓN SOBRE FOLLAJE

La caracterización cuantitativa consistió en un análisis de la varianza de la deposición de trazador fluorescente (Tinopal ®) por unidad de superficie ($\mu\text{g}/\text{cm}^2$) para todos los caudales y estratos (ver cuadro 5). En términos generales los efectos de los tratamientos presentan medias con diferencias estadísticas significativas, el mismo análisis surge para los estratos que presentan un p valor menor al 5%. En cambio, la interacción caudal por estrato no fue significativa.

Cuadro 5. Análisis de varianza para $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ modificado

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Efectos principales					
A: tratamiento	5,84E-07	2	2,92E-07	12,57	0,0004
B: estrato	5,73E-07	2	2,86E-07	12,33	0,0004
Interacciones					
AB	1,26E-07	4	3,15E-08	1,36	0,2882
Residuos	4,18E-07	18	2,32E-08		
Total (corregido)	1,701E-06	26			

En el cuadro 6 se presentan las medias de los tres caudales las diferencias son significativas entre el caudal de 200 L/ha (Q2) con respecto a los caudales de 250 L/ha y 150 L/ha (Q1 y Q3). Se puede pensar que la deposición realizada con el caudal reducido al 20% fue más eficiente quedando retenida en el blanco, mientras que la deposición realizada según lo que se calculó para el TRV del monte correspondiente al denominado punto de goteo (Q1), fue menos eficiente. El volumen con Q1 puede resultar excesivo y hacer que se pierda producto como endoderiva y no quede retenido en las hojas. Por su parte Q3 presenta estadísticamente el mismo nivel de retención de marcador que Q1. Entonces si Q1 y Q3 estadísticamente no presentan diferencias significativas en cuanto a la deposición de trazador y Q1 es la tasa de aplicación calculada según el TRV del monte, sería lógico pensar que Q3 podría ser una opción válida para lograr una pulverización adecuada. Será necesario complementar estos resultados con los de una evaluación biológica que demuestre si montes MURBA tratados con el 40% de la tasa de aplicación calculada por TRV presentan sanidad óptima y fruta de calidad.

En el caso de Q2, los valores obtenidos son mayores que para los otros caudales, dando idea de que la reducción de un 20% de caldo en la tasa de aplicación calculada por TRV logra una mejor deposición del producto en el monte frutal MURBA.

Cuadro 6. Medias de deposición de trazador (en $\mu\text{g}/\text{cm}^2$) según caudal de aplicación: Q1 (250 L/ha), Q2 (200 L/ha) y Q3 (150 L/ha)

Caudal	$\mu\text{g}/\text{cm}^2$
Q1	0,000595511 a
Q2	0,000864432 b
Q3	0,000522343 a

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p < 0,05$).

El estrato superior recibe mayor deposición, indistintamente del volumen de caldo empleado, presenta diferencias significativas con respecto a los estratos medios e inferior, siendo que estos últimos no presentan diferencias entre sí (ver cuadro 7). El uso de la torre y los deflectores, en la pulverizadora, acerca y empareja el punto de liberación del caldo a las distintas alturas de la planta. Si a esto se suma que en el monte experimental el estrato superior es una zona donde el follaje es menor, podríamos explicar la mayor deposición en el estrato superior.

En montes tratados con atomizadores de arco convencional, el estrato superior presenta deficiencia en la deposición, tal es el caso que en muchas situaciones se destina 2/3 del volumen del caldo a 1/3 del volumen de la copa del árbol que se ubica en el estrato superior (Sarubbi, 2010). El motivo de aplicar esta metodología radica en que la distancia que debe recorrer la gota hasta el objetivo es mayor entre las boquillas superiores de la pulverizadora y el follaje del estrato superior del monte frutal lo que reduce la eficiencia. Otro motivo para emplear la metodología de los tercios es el volumen de planta a pulverizar, que es mucho mayor en plantas de citrus con copas globosas y densas, así como en manzanos con sistemas de conducción tipo vaso abierto, que, en los sistemas modernos como eje central, guyot o palmeta horizontal, en sistemas de plantación de muro frutal.

Cuadro 7. Medias de deposición de trazador (en $\mu\text{g}/\text{cm}^2$) según los estratos en altura del árbol

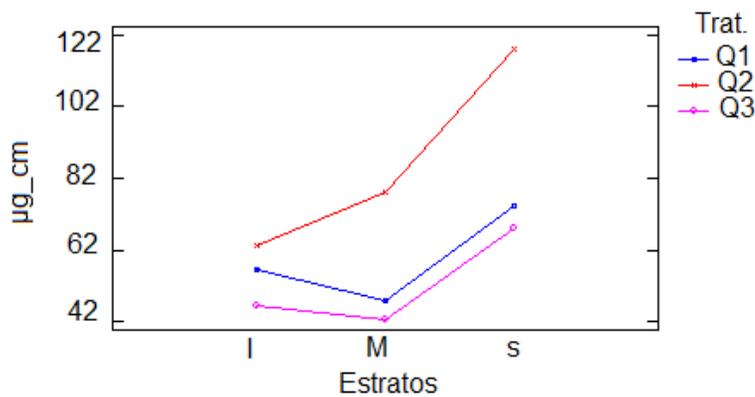
Estrato	$\mu\text{g}/\text{cm}^2$
S	0,000866714 b
M	0,000560821 a
I	0,000554751 a

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$).

La pulverizadora con torre utilizada en este ensayo resuelve en buena medida, el problema previo de exceso de aplicación en las zonas más bajas o mala cobertura superior al ajustar la aplicación en la base. Por medio del mejor posicionamiento de las boquillas de aplicación con respecto al objetivo a pulverizar, se logra un recorrido más homogéneo de las gotas para alcanzar cada una de las zonas del árbol.

En el gráfico 3 se observa la combinación de los datos entre caudal y estratos, los resultados obtenidos no dieron una interacción significativa entre los factores.

Gráfico 3. Análisis de interacción caudal por estrato



El volumen de caldo aplicado para este ensayo contempla un Q1 referido al TRV, un Q2 y Q3 con reducción de 20% y 40% con respecto al primero. Este caldo mantuvo la concentración de trazador, solo se redujo el volumen de agua y con ella los kilos de trazador, pero no la concentración. Para realizar el ensayo se preparó un caldo de 750 L de agua con 1 kilo de trazador y mediante regulación del equipo (VAV y presión) se procedió. En el cuadro 8 se puede ver las reducciones de agua, los kilos aplicados en cada reducción y la concentración.

Cuadro 8. Cálculo de trazador (kg/ha) y concentración por caudal (l/ha) aplicado

Caudal (L/ha)	Trazador (kg/ha)	Concentración
Q1 250	0,333	0,0013
Q2 200	0,2666	0,0013
Q3 150	0,20	0,0013

El análisis de deposición evidencia la buena performance de la reducción en 20% e incluso en 40% del volumen de caldo. Resta para otras investigaciones evaluar si es posible disminuir la concentración de IA en el caldo, reduciendo de esa manera, aún más, la aplicación de IA/ha sin perder eficiencia en el control de enfermedades y plagas.

4.4. CARACTERIZACIÓN DE TARJETAS HIDROSENSIBLES

En el cuadro 9 se presentan los porcentajes del área de cobertura para los tres caudales. El volumen de caldo Q3 presenta valores que promedian 18%, lo cual se ubica por debajo del mínimo recomendado (20%). Los caudales de 250 L/ha y 200 L/ha, tienen un promedio de 30%, lo cual está dentro de las recomendaciones de cobertura de blancos, que van entre 20% y 40%. Si ambos caudales presentan cobertura dentro de los rangos aceptables (Xun et al., 2022), una reducción del 20% en el volumen de aplicación a nivel agronómico es aceptable y desde una óptica sustentable es deseable.

Cuadro 9. Porcentaje de cobertura según caudal, estrato del árbol y punto cardinal

Zona del árbol	E, Q1 (250 l/ha)	W, Q1 (250 l/ha)	E, Q2 (200 l/ha)	W, Q2 (200 l/ha)	E, Q3 (150 l/ha)	W, Q3 (150 l/ha)
Superior	51	33	48	36	18	12
Medio	12	23	18	39	18	19
Inferior	23	33	22	21	23	4
Promedio	29	30	29	32	20	12

5. CONCLUSIONES

El IAF estimado para este monte se sitúa por debajo de uno, eso indica que es poco eficiente en el uso de la luz, porque mantiene zonas no cubiertas. De todas formas, es un monte en su etapa inicial de producción y se espera aumentar la cobertura. Sería importante continuar haciendo evaluaciones, que permitan estimar este factor tan importante para la eficiencia del uso de la radiación en montes bidimensionales bajos (MURBA).

La reducción de caldo en 20% (Q2) con respecto al calculado por el TRV del monte, presenta estadísticamente valores de deposición adecuados lo cual indica la posibilidad de realizar dicha reducción, sin afectar el resultado de la pulverización.

La cobertura analizada en las tarjetas hidrosensibles y el análisis de deposición visual en hojas para Q2, caudal que implica la reducción del 20% respecto del calculado por TRV, también muestra valores aceptables. Esto refuerza la posibilidad de realizar las pulverizaciones con menos caldo por hectárea, lo cual a su vez implica menos ingrediente activo por hectárea.

El caudal de 200 L/ha muestra, por medio de las tarjetas hidrosensibles, una cobertura en promedio de 30%, las que son satisfactorias, es decir la reducción de 20% del caldo igualmente mantiene coberturas óptimas de las plantas. La segunda reducción (Q3) en el volumen de caldo muestra coberturas de las tarjetas hidrosensibles por debajo del óptimo; de todas formas, sería recomendable profundizar la investigación a futuro, incluyendo la evaluación biológica de las aplicaciones.

El valor de IAF determinado en este trabajo y los resultados obtenidos con la tasa de aplicación calculada y la ajustada, justifican continuar con estudios, evaluando la pertinencia de adecuar el índice de ajuste de densidad foliar a los montes modernos de manzano.

6. RESUMEN

La fruticultura en Uruguay camina hacia un enfoque de sustentabilidad de los sistemas productivos. Además, el cambio de sistemas de conducción nos obliga a revisar el resto de componentes y técnicas empleadas. Al ajustar las tecnologías de aplicación de fitosanitarios, es posible mejorar la eficiencia y eficacia de los sistemas de producción. Pulverizadores que permiten ajustar volúmenes de caldo para ser aplicados en montes frutales y que controlan plagas y enfermedades, ocupan la atención del rubro. El objetivo del presente trabajo fue determinar el potencial de reducción en el volumen de caldo aplicado a un muro frutal. Para ello, se estimó el área foliar del muro frutal; se evaluó deposición y cobertura al variar los caudales de aplicación. El volumen de caldo se determinó a partir del TRV calculado, reduciéndolo 20% y 40%. Se realizaron las aplicaciones usando un trazador fluorescente y se determinó deposición en las hojas de los árboles que fueron retiradas y evaluadas en laboratorio con espectrofluorímetro. Se hizo evaluación visual de la deposición mediante luz UV y se emplearon tarjetas hidrosensibles en los tres caudales para evaluar el porcentaje de cobertura. La segunda reducción de caldo del 40% muestra coberturas de las tarjetas hidrosensibles por debajo del óptimo. La reducción de caldo en 20% con respecto a la tasa de aplicación inicial, presenta valores de deposición y cobertura que validan su utilización. Se identifica un potencial para continuar estudios y ajustar aún más los caudales a aplicar exitosamente para control de plagas y enfermedades aumentando la sostenibilidad del sistema.

Palabras clave: Deposición de pulverización; Reducción de caldo; Muro frutal;
Malus doméstica.

7. SUMMARY

Fruit growing in Uruguay is moving towards an increased focus on the sustainability of production systems. In addition, the change in planting systems forces us to review the rest of the components and techniques used. By adjusting phytosanitary application technologies, it is possible to improve the efficiency and effectiveness of production systems. Sprayers that allow to reduce volumes of water to be applied in fruit trees while maintaining the control of pests and diseases, occupy the attention of the fruit industry. The objective of the present work was to determine the reduction potential in the volume of water applied to a fruit wall. To achieve that, the leaf area of the fruit wall was estimated; deposition and coverage were evaluated while varying the water application rates. The water volume was determined from the calculated TRV, reducing it by 20% and 40%. The applications were made using a fluorescent tracer and deposition was determined on the leaves of the trees that were removed and evaluated in the laboratory with a spectrofluorometer. A visual evaluation of the deposition was made by means of UV light and hydrosensitive cards were used with the three water rates to evaluate the coverage percentage. The second water rate reduction of 40% shows suboptimal coverage of the hydrosensitive cards. The water rate reduction in 20% with respect to the initial application rate, presents deposition and coverage values that validate its use. A potential is identified to continue studies and further adjust the water volume to be applied successfully for pest and disease control, increasing the sustainability of the system.

Keywords: Spray deposition; Water reduction; Fruit wall; *Malus domestica*.

8. BIBLIOGRAFÍA

1. Arjona, C.; Santionini, L. 2007. Poda de árboles frutales. In: Sozzi, G. ed. Árboles frutales: ecofisiología, cultivo y aprovechamiento. Buenos Aires, Universidad de Buenos Aires. Facultad de Agronomía. pp. 242-282.
2. Baraldi, G.; Ades, G.; Servadio, P.; Comai, M. 1986. Caratteristiche della distribuzione di irroratrici modificate. (en línea). Giornate Fitopatologiche. Riva del Garda (Italia). (2) :491-498. Consultado 1 nov. 2022. Disponible en <https://fitogest.imagelinenetwork.com/materiali.cfm?idMat=28565>
3. Bon, B. 2011. ¿Ventajas y desventajas de los tratamientos a bajo volumen? Phytoma. no. 227:29-31.
4. Byers, E. R.; Lyons Jr. C. G.; Yoder, K. S.; Horsburgh, R. L. 1984. Effects of apple tree size and canopy density on spray chemical deposit. HortScience. 19 (1):93-94.
5. Cabrera, D.; Rodríguez, P. 2017. Sistemas de conducción para el manejo eficiente del cultivo de manzana. Revista INIA. no. 49:23-26.
6. _____;_____. 2019. Muro bajo – un sistema alternativo para el manejo eficiente del cultivo de manzana. In: Seminario de Actualización Técnica sobre Frutales de Pepita (2014, Las Brujas). Trabajos presentados. Montevideo, INIA. pp. 69-72 (Actividades de Difusión no. 792).
7. Cai, S. S.; Stark, J. D. 1997. Evaluation of five fluorescent dyes and triethyl phosphate as atmospheric tracers of agricultural sprays. (en línea). Journal of Environmental Sciences and Health, Part B Pesticides, Food Contaminants and Agricultural Waste. 32(6):969-983. Consultado 1 de nov. 2022. Disponible en <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/03601239709373123>
8. Dussi, M. C. 2007. Intercepción y distribución en agro-ecosistemas frutícolas. In: Sozzi, G. ed. Árboles frutales: ecofisiología, cultivo y aprovechamiento. Buenos Aires, Universidad de Buenos Aires. Facultad de Agronomía. pp. 242-282.

9. Gil, E.; Escola, A.; Rosell, J. R.; Planas, S.; Val, L. 2007. Variable rate application of plant protection products in vineyard using ultrasonic sensors. (en línea). *Crop Protection*. 26:1287-1297. Consultado 7 nov. 2022. Disponible en <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0261219406003528>
10. _____.; Gallart, M.; Llorens, J.; Ilop, J.; Bayer, T.; Carvalho, C. 2014. Spray adjustments based on LWA concept in vineyard. Relationship between canopy and coverage for different application. (en línea). *In: Conference on international Advances in Pesticide Application (2014, Oxford). Proceedings. Aspects of Applied Biology*. no. 122:25-32. Consultado 20 ago. 2019. Disponible en https://www.researchgate.net/publication/262857492_Spray_adjustments_based_on_LWA_concept_in_vineyard_Relationship_between_canopy_and_coverage_for_different_application_settings
11. _____. 2019. *Días de campo*. Barcelona, Colección Real Academia Europea de Doctores. 262 p.
12. Hall, F. R. 1991. Influence of Canopy Geometry in Spray Deposition and IPM. (en línea). *HortScience*. 26 (8):1012-1017. Consultado 1 ago. 2019. Disponible en <https://journals.ashs.org/hortsci/downloadpdf/journals/hortsci/26/8/article-p1012.pdf>
13. Homer, I.; Olivet, J.; Riquelme, J. 2010. Regulación de equipos pulverizadores. *In: Magdalena, J. ed. Tecnología de aplicación de agroquímicos*. Alto Valle, INTA. pp. 121-131.
14. Juste, F.; Sánchez, S.; Ibáñez, R.; Val, L.; García, C. 1990. Measurement of spray deposition and efficiency of pesticide application in citrus orchard. *Journal of Agricultural Engineering Research*. 46:187-196.
15. Lauric, A.; De Leo, G.; Carbonell, C.; Vigna, G.; Leiva, D. 2016. Utilización de tarjetas hidrosensibles para evaluar el efecto de la presión sobre la calidad de aplicación. (en línea). Bahía Blanca, INTA. s.p. Consultado 11 nov. 2022. Disponible en <https://inta.gob.ar/sites/default/files/inta->

[utilizacion de tarjetas hidrosensibles para evaluar efecto de presión sobre la aplicación.pdf](#)

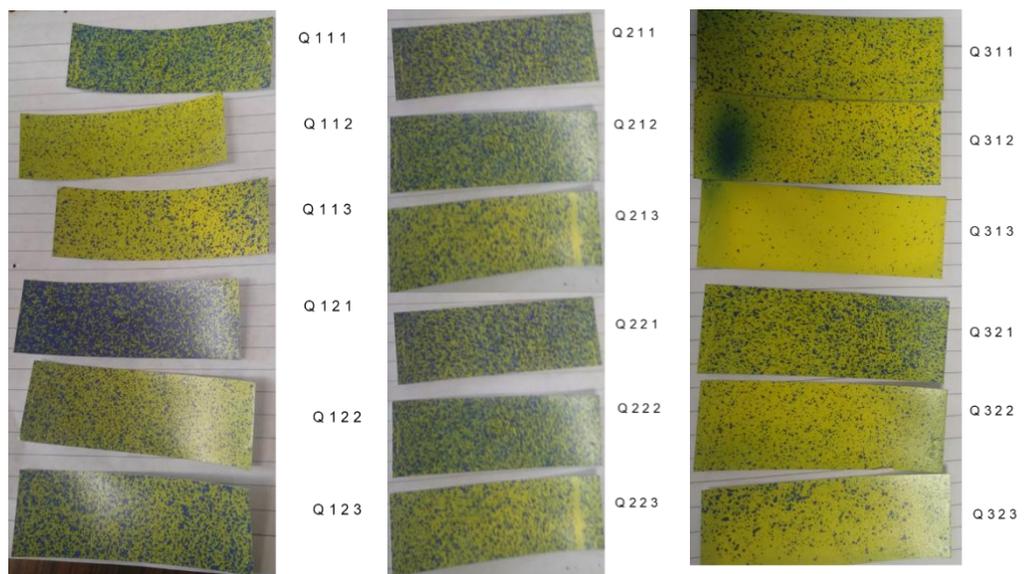
16. Magdalena, J. 2004. Efecto de la utilización de pulverizadores de flujo transversal e hidroneumático tradicional sobre la calidad de los tratamientos fitosanitarios en manzanos (*Malus doméstica*, Borkh). Tesis doctoral. Valencia, España. Universidad Politécnica de Valencia. 144 p.
17. _____.; Prinzio, A.; Behmer, S. 2011. Aspectos que condicionan la correcta aplicación de agroquímicos en fruticultura. (en línea). In: Encuentro Nacional sobre Fruticultura de Clima Templado (12º., 2011, Fraiburgo, SC). Levando conhecimento e tecnologia para a fruticultura. Enfrute. Anais.1:82-87. Consultado 8 dic. 2022. Disponible en https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-magdalena_enfrute.pdf
18. Matthews, G. A. 2000. Pesticide application methods. 3rd. ed. London, Blackwell. 448 p.
19. Monteiro, M. V. 2006. Compêndio de aviação agrícola. Sorocaba, Brasil, s.e. 298 p.
20. Olivet, J. J. 2009. Optimización de los tratamientos fitosanitarios en cultivos de invernadero en Uruguay. Tesis doctoral. Valencia, España. Universidad Politécnica de Valencia. 176 p.
21. Palladini, L. 2000. Metodología para avaliação da deposição em pulverizações. Doutor em Agronomia. San Pablo, Brasil. Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Ciências Agrônomicas. 128 p.
22. Pi, F. 2019. Pulverizaciones agrícolas: comparación de metodologías para su evaluación. Tesis Ing. Agr. La Plata, Argentina. Universidad Nacional de La Plata. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales. 56 p.
23. Planas de Martí, S. 1994. Los equipos de tratamiento fitosanitarios. (en línea). Agricultura. 744:664-670. Consultado 1 nov. 2022. Disponible en https://www.academia.edu/55054577/Los_equipos_de_tratamientos_fitosanitarios?from_sitemaps=true&version=2

24. Salyani, M. 1988. Droplet size effect on spray deposition efficiency of citrus leaves. *Transactions of the American Society of Agricultural and Biological Engineers*. 31(6):1680-1684.
25. Sanz, F.; Abril, I.; Delgado, P. 2010. Productos fitosanitarios: medidas preventivas en los equipos de aplicación. (en línea). Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. Nota técnica no. 883. pp. 1-8. Consultado 20 feb. 2020. Disponible en <https://www.fauca.org/wp-content/uploads/2016/05/informe5.pdf>
26. Sarubbi, C. 2010. Tecnologías de aplicación de productos fitosanitarios en equipos pulverizadores terrestres. Buenos Aires, Universidad de Buenos Aires. Facultad de Agronomía. 307 p.
27. Sutton, T. B.; Unrath, C. R. 1988. Evaluation of the Tree-Row-Volume concept with density adjustments in relation to spray deposits in apple orchards. (en línea). *Plant Disease*. 68(6):480-484. Consultado 7 nov. 2022. Disponible en https://www.apsnet.org/publications/plantdisease/backissues/Documents/1984Articles/PlantDisease68n06_480.PDF
28. Travis, J. W.; Skroch, W. A.; Sutton, T. B. 1987. Effect of canopy density on pesticide deposition and distribution in apple trees. *Plant Disease*. 71(7):613-615.
29. Tustin, D. S. 2012. Future orchard planting systems – Do we need another revolution? Integrating canopy, rootstocks, and environmental physiology. *In*: International Symposium of Integrating Canopy, Rootstock and Environmental Physiology in Orchards Systems (10th., 2012, Stellebosch, South Africa). *Proceedings. Acta Horticulturae*. no. 1058:27-36.
30. Veliz, R.; Gadanha, C.; Vázquez-Castro, J. 2010. Eficiencia de dos sistemas de aplicación en árboles cítricos. (en línea). *In*: Congreso Argentino de Ingeniería Rural (10°), Congreso de Ingeniería Rural del MERCOSUR (2°., 2010, Rosario, Santa Fe). *Avances en ingeniería rural 2007- 2009*. Rosario, UNR. pp. 154-161. Consultado 15 nov. 2019. Disponible en https://www.researchgate.net/profile/Maria_Edna_Tenorio_Nunes/publication/288654256_Uso_de_agrotoxicos_no_municipio_de_Bom_Repouso_Minas_Gerais_Brasil_e_efeito_sobre_organismos_aquaticos_e_do_solo/links/5687f81808ae19758398e5cf.pdf

31. Voll, C. E.; Vásquez-Castro, J. A.; Gadanha Jr., C. D.; Lino, P. L. 2006. Distribución volumétrica de la boquilla de pulverización XR 11003. *Revista Peruana de Entomología*. 45:95-99.
32. Walklate, P. J.; Cross, J. V. 2013. Regulated dose adjustment of commercial orchard spraying products. (en línea). *Crop Protection*. 54:65-73. Consultado 20 ago. 2019. Disponible en http://www.pjwrc.co.uk/DocumentPDFs/2013_CropProtection_JCR_P_3243.pdf
33. Xun, L.; García, F.; Fabregat, F.; Gil, E. 2022. Pesticide dosel on canopy characteristic in apple tres: reducing enviromental risk by reducing the amount of pesticide while maintaining pest and disease control efficacy. (en línea). *Science of the Total Environment*. 826:1-15. Consultado 29 may. 2022. Disponible en <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969722012967?via%3Dihub>
34. Yuri, J. A.; Ormazábal, J. 2002. Desarrollo de canopia en manzanos. (en línea). Universidad de Talca. Pomáceas. *Boletín Técnico*. 2(1):1-4. Consultado 29 dic. Disponible en https://pomaceas.otalca.cl/wp-content/uploads/2016/06/Boletin_N02_1.pdf
35. Zeballos, R.; Fasiolo, C.; Zoppolo, R. 2014. Nuevas tecnologías de aplicación de fitosanitarios en frutales de hoja caduca. *In*: Seminario de Actualización Técnica sobre Frutales de Pepita (2014, Las Brujas). Trabajos presentados. Montevideo, INIA. pp. 113-118 (Actividades de Difusión no. 739).
36. Zoppolo, R.; Cabrera, D.; Mujica, V. 2013. Fruticultura: más productores y mejor producción. Dos grandes cambios tecnológicos. *Revista INIA*. no. 35:40-43.

9. ANEXOS

Tarjetas hidrosensibles, ordenadas según el caudal, orientación y altura donde se ubicó en el árbol



Referencias de la imagen

Q1	CAUDAL 1 (250 L/ha)
Q2	CAUDAL 2 (200 L/ha)
Q3	CAUDAL 3 (150 L/ha)
Punto cardinal de la vara	
1	E
2	W
Zona del árbol	
1	arriba
2	medio
3	bajo

Deposición de aplicación sobre hojas en $\mu\text{g}/\text{cm}^2$, para 3 estratos dentro del árbol y según 3 volúmenes de aplicación

Q1 I ($\mu\text{g}/\text{cm}^2$)	Q1 M ($\mu\text{g}/\text{cm}^2$)	Q1 S ($\mu\text{g}/\text{cm}^2$)	Q2 I ($\mu\text{g}/\text{cm}^2$)	Q2 M ($\mu\text{g}/\text{cm}^2$)	Q2 S ($\mu\text{g}/\text{cm}^2$)	Q3 I ($\mu\text{g}/\text{cm}^2$)	Q3 M ($\mu\text{g}/\text{cm}^2$)	Q3 S ($\mu\text{g}/\text{cm}^2$)
0,0038	0,00232	0,01147	0,00472	0,00488	0,00511	0,00164	0,00184	0,00516
0,00377	0,00306	0,01242	0,00577	0,00271	0,00936	0,00249	0,00297	0,00779
0,00653	0,00884	0,00818	0,00408	0,00697	0,0211	0,00225	0,00158	0,00392
0,00215	0,00297	0,00839	0,00331	0,01005	0,0117	0,0015	0,00184	0,0017
0,00469	0,00282	0,00792	0,00396	0,00371	0,00856	0,00076	0,00386	0,00413
0,00424	0,00612	0,00737	0,0049	0,00608	0,01202	0,00059	0,00359	0,00435
0,00498	0,00367	0,00623	0,00475	0,00733	0,00992	0,00064	0,00387	0,00658
0,00595	0,00415	0,00452	0,00405	0,00592	0,00764	0,00106	0,00248	0,00534
0,01154	0,0071	0,0039	0,00468	0,00553	0,0075	0,00158	0,00251	0,00549
0,00309	0,00333	0,00424	0,00574	0,00839	0,00739	0,00444	0,00169	0,00699
0,00666	0,00318	0,01126	0,00263	0,00413	0,00845	0,00275	0,00141	0,00441
0,00561	0,00485	0,00657	0,00327	0,0034	0,00658	0,00104	0,00267	0,00372
0,00184	0,00307	0,00553	0,00726	0,00418	0,00887	0,00156	0,00098	0,00444
0,00758	0,00726	0,00635	0,00536	0,00523	0,00682	0,00187	0,00134	0,00555
0,00523	0,00708	0,00849	0,00712	0,00479	0,00745	0,0041	0,00204	0,0032
0,00309	0,00622	0,00336	0,00023	0,00541	0,00717	0,00125	0,00171	0,00422
0,00662	0,00315	0,00609	0,00849	0,01846	0,00389	0,00249	0,00163	0,00444
0,00499	0,00674	0,00461	0,00691	0,00618	0,00655	0,00834	0,00195	0,00601
0,00464	0,0053	0,01762	0,0026	0,00173	0,00834	0,0007	0,0023	0,00303
0,00827	0,00309	0,00947	0,00184	0,00152	0,00808	0,00108	0,00271	0,00357
0,00961	0,00544	0,00591	0,00366	0,00852	0,01132	0,00356	0,00219	0,0007
0,00367	0,00227	0,00716	0,00239	0,00473	0,01219	0,00363	0,00227	0,00127
0,0023	0,00339	0,00222	0,00299	0,00578	0,0106	0,00369	0,00113	0,00241
0,0038	0,00494	0,00464	0,00239	0,00371	0,00766	0,00397	0,00287	0,00279
0,00518	0,00437	0,00819	0,00686	0,00513	0,0119	0,00298	0,00476	0,00353
0,00571	0,00271	0,0022	0,0064	0,00652	0,00504	0,00279	0,00259	0,0014
0,00596	0,00328	0,00531	0,00573	0,00458	0,00589	0,00451	0,00286	0,00134
0,0032	0,00175	0,00502	0,00534	0,0061	0,00526	0,00471	0,00433	0,00165
0,00614	0,00379	0,00308	0,00561	0,00624	0,00613	0,00205	0,0012	0,00118
0,00499	0,00533	0,00613	0,00652	0,00358	0,011	0,00378	0,00088	0,00177
0,00519	0,00439	0,0068	0,00465	0,00572	0,00865	0,00259	0,00233	0,00374