

UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA
FACULTAD DE AGRONOMÍA

ESTUDIO DE LOS FACTORES DE MAYOR RELEVANCIA EN LA EFICIENCIA
DE LAS PULVERIZACIONES TERRESTRES EN CULTIVOS DE SOJA [*Glicine*
max. (L) Merrill].

por

Andrés José SCARON SURRECO

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

MONTEVIDEO
URUGUAY
2012

Tesis aprobada por:

Director: -----
Ing. Agr. Dr. Juana Villalba

Ing. Agr. Dr. Grisel Fernández

Ing. Agr. Oscar Bentancur

Fecha: 16 de octubre de 2012

Autor: -----
Andrés José Scaron Surraco

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por la vida.

A mi familia por el apoyo a lo largo de la carrera. A mi esposa por su apoyo y su paciencia.

A mi directora de tesis Ing. Agr. Dr. Juana Villalba por su apoyo durante la realización de la tesis, su paciencia y su buena disposición.

A la Ing. Agr. Ivanna Stoletniy por su colaboración en el trabajo de campo y en la recolección de datos.

Al director de EL CABELLUDO S.A. Sr. Guillermo Battro y a todos sus integrantes, en especial al Ing. Agr. Fernando Andreoli, por su colaboración, apoyo y concesiones otorgadas, para poder disponer de tiempo para la finalización de esta tesis.

A la empresa de servicios de aplicación agrícola SILOFOXSA S.A.: Ing. Agr. Yaro Godoy y Daniel Plates por su disposición para realizar el trabajo de campo.

A Tafilar S.A. por brindarnos los predios.

Y a todos aquellos que de una u otra manera colaboraron para llevar a cabo el presente trabajo.

TABLA DE CONTENIDO

	Página
PÁGINA DE APROBACIÓN	II
AGRADECIMIENTOS	III
LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES	VI
1. <u>INTRODUCCIÓN</u>	1
2. <u>REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA</u>	3
2.1. FACTORES QUE AFECTAN LAS PULVERIZACIONES	3
2.1.1. <u>Factores relacionados al cultivo a tratar</u>	4
2.1.2. <u>El fitosanitario utilizado</u>	5
2.1.3. <u>Condiciones climáticas</u>	6
2.1.3.1. Temperatura	6
2.1.3.2. Humedad relativa	7
2.1.3.3. Velocidad del viento	7
2.1.4. <u>Factores relacionados a la aplicación</u>	8
2.1.4.1. Tasa de aplicación.....	8
2.1.4.2. Relación velocidad, volumen y presión en los equipos de aplicación.	9
2.1.4.3. Número y tamaño de gota	10
2.2. ÁRBOLES DE REGRESIÓN	12
3. <u>MATERIALES Y MÉTODOS</u>	13
3.1. DETALLE DE LOS EXPERIMENTOS.....	13
3.2. EQUIPOS UTILIZADOS Y CONDICIONES	13
3.3. METODOLOGÍA DE INSTALACIÓN DE LOS EXPERIMENTOS ..	14
3.4. DISEÑO EXPERIMENTAL.....	14
3.5. DETERMINACIONES	14
3.6. TECNOLOGIAS USADAS Y CONDICIONES AL MOMENTO DE APLICACIÓN.....	15
3.7. PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN	16
3.8. ANÁLISIS ESTADÍSTICO	17
3.9. DOSIS UTILIZADA EN LOS EXPERIMENTOS	17

4.	<u>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</u>	19
5.	<u>CONCLUSIONES</u>	24
6.	<u>RESUMEN</u>	25
7.	<u>SUMMARY</u>	26
8.	<u>BIBLIOGRAFÍA</u>	27

LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES

Cuadro No.	Página
1. Características de los experimentos	13
2. Tecnologías usadas.....	15
3. Condiciones al momento de aplicación.....	16
4. Dosis utilizadas	18
5. Comparativo entre dosis de control y dosis utilizadas	23

Figura No.	
1. Árbol de regresión	19

1. INTRODUCCIÓN

La expansión agrícola de las últimas décadas ocurridas en el Uruguay, resultado de la llegada de inversores extranjeros, tecnologías de labranza cero y cultivos transgénicos con resistencia a determinadas formulaciones de herbicidas, han instalado en el país una nueva forma de hacer y gestionar la agricultura.

El paquete tecnológico actual sería impensable sin el uso de las pulverizaciones de agroquímicos, como herramienta para el manejo de los cultivos. Sería inimaginable realizar el área actual con herramientas de labranza, tanto por su costo en combustible, cómo en el tiempo necesario para culminar las tareas. Hoy en día los pulverizadores autopropulsados tienen anchos operativos de hasta 35 metros y velocidades operativas de 15 km.h^{-1} , lo que les permite, incluyendo tiempos muertos, capacidades para cubrir superficies de aproximadamente 300 ha.día^{-1} .

La agricultura de verano ha tenido un crecimiento continuo en éstos últimos años, siendo el cultivo de soja [*Glicine max.* (L)] el principal responsable, donde el área sembrada se ha multiplicado por más de tres en los últimos cinco años (URUGUAY. MGAP. OPYPA, 2011) y requiere como mínimo tres aplicaciones: un herbicida pre siembra (barbecho), entre uno y dos herbicidas post siembra (que en la mayoría de los casos van junto con insecticidas) y al menos una aplicación de insecticida en la fase reproductiva. En un cultivo de soja, en números globales se puede asumir que el costo de fungicidas, herbicidas e insecticidas conforma un 40% del costo de insumos, mientras que sobre el total de costo de cultivo (sin tener en cuenta la renta) representa un 20% del costo total del cultivo.

Como un reflejo de la dependencia del uso de agroquímicos en el sistema actual de producción, podría considerarse el incremento en las importaciones de fitosanitarios, que del 2004 a la fecha han experimentado un crecimiento del 65% (solo en el año 2010 se importaron un total de 17,5 millones de litros de formulaciones comerciales de glifosato, por un valor de 45 millones de dólares) (URUGUAY. MGAP. DGSSAA, 2010)

De la conjunción entre la importancia del cultivo de soja en el país (debido a la superficie que ocupa con respecto al resto de los cultivos de verano) y el peso que tienen los agroquímicos en el sistema de producción actual (con mayor énfasis aún en el cultivo de soja, por su mayor dependencia de agroquímicos) es que se decidió focalizar este estudio en dicho cultivo.

Se considera, entonces, de vital importancia para la economía del sector la investigación de los factores que contribuyan al uso cada vez más racional de los agroquímicos.

Existen innumerables trabajos que estudian y muestran los diferentes factores que interfieren negativamente sobre las condiciones que influyen en la llegada de las gotas durante la pulverización de productos fitosanitarios al blanco deseado. Pero pocos, logran establecer un orden de relevancia de esos factores y las interacciones que ocurren a campo al momento de la aplicación.

En el presente trabajo se miden algunos de esos factores en condiciones de aplicaciones comerciales y mediante un análisis de los mismos se busca determinar una escala de importancia, para una serie de experimentos de aplicación de herbicidas realizados en diferentes condiciones, con el objetivo de determinar cuáles son los factores (relacionados a tecnología de aplicación) que afectan en mayor medida la calidad de aplicación. Esta información se considera una herramienta para la optimización del uso de los agroquímicos en el cultivo de soja.

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1. FACTORES QUE AFECTAN LAS PULVERIZACIONES

El cultivo de soja presenta varias particularidades una de ellas es el gran crecimiento en área cultivada que el mismo ha tenido en el último lustro, pasando de ocupar 278.000 há. en la zafra 2004/5 a las 863.200 há que ocupó en la zafra 2009/10. Otra de sus particularidades es la cantidad de aplicaciones que son necesarias para mantener un cultivo con alto potencial, lo que se destaca comparándolo tanto con otros cultivos de verano como pueden ser el sorgo y maíz o incluso con los cultivos tradicionales de invierno (trigo y cebada).

Como primer concepto antes de empezar a estudiar los factores que afectan las aplicaciones de agroquímicos cabe mencionar que en un trabajo de revisión bibliográfica realizado por Pimentel y Levitan, citados por Spadotto (2006), encontraron que del producto aplicado en las pulverizaciones, menos del 0.1% llega al objetivo. Por otra parte en una visión bastante más optimista Himel, citado por Leiva (1996), sostiene que “solo el 25% del volumen aplicado llega a las plantas”. Este primer concepto busca contextualizar que a la hora de buscar lograr una mayor eficiencia en las aplicaciones, estamos trabajando en un tema en el cual la naturaleza misma de las aplicaciones ya es en esencia ineficiente, además de la inmensidad de factores y variables que las afectan y sus innumerables interacciones que habría que manejar para reducir las pérdidas. Otra aseveración que enmarca este trabajo es la de Ripper, citado por Hislop (2004), que sugiere “que los agentes de protección de cultivos son solamente tan buenos como lo sean las técnicas empleadas al utilizarlos”, lo que habla de la importancia de la calidad de aplicación, por más que tengamos el producto eficaz, si se aplica mal no se logran los resultados esperados.

Ettienot, citado por Massaro (2008) define una aplicación de plaguicidas como el empleo de todos los conocimientos científicos necesarios para que un determinado fitosanitario llegue al blanco, en cantidad suficiente para cumplir su cometido sin provocar contaminación ni derivas.

De acuerdo a lo mencionado por Leiva (1996) se le denomina calidad de aplicación a la cantidad de principio activo depositado sobre el blanco con una determinada cobertura y de forma que sea retenido y absorbido por la superficie foliar.

Los principales factores que afectan la eficacia de las aplicaciones de productos sobre cultivos, según Frießleben (2004) son la elección del producto, la coordinación y las condiciones del tiempo al momento de la aplicación.

Por su parte Villalba et al. (2009) sostienen que el éxito de una aplicación y la efectividad del control están directamente ligados a factores como, momento correcto de aplicación, condiciones ambientales favorables, selección de boquillas, ajuste del volumen de caldo y relación entre tipo de objetivo a ser alcanzado y la forma de acción del producto fitosanitario.

Massaro (2008) en una revisión de trabajos publicados en Argentina, menciona que la mayor parte de los datos presentados, están orientados a investigar las condiciones operativas del pulverizador (70-79%) y un reducido número a estudiar el efecto de las condiciones meteorológicas.

Otro de los factores que afectan en gran forma a las aplicaciones es la deriva, la cual Leiva (1996) define cómo aquella parte de la aspersión que no alcanza el blanco objeto del tratamiento. Pueden distinguirse dos tipos, la endoderiva, que consiste en el desplazamiento del asperjado fuera del objetivo, pero en áreas próximas a él y también al suelo, llegando directamente o escurriendo desde el follaje; la exoderiva que es la que determina que el asperjado es transportado principalmente por viento a distancias considerables del objetivo a tratar (Bulacio, 2005).

En la pulverización, de acuerdo a Gálvez et al. (2005), se debería producir una aplicación que proporcione una cobertura considerable del blanco y deposite la cantidad suficiente de producto para eliminar o controlar el problema. Por otro lado, Massaro (2005) considera una aplicación eficaz, cuando logra suprimir por lo menos el 80-85% de la población de la especie que es objeto de control.

En relación a los factores que afectan la eficacia de un herbicida, depende en primera instancia de la dosis, de las características fisicoquímicas del mismo, la especie a ser controlada, estado de desarrollo y de los factores ambientales en el momento y después de la aplicación de los herbicidas (Gomes et al., s.f.).

2.1.1 Factores relacionados al cultivo a tratar

Factores como el índice de área foliar y la distribución del cultivo en el espacio son mencionados como factores del cultivo importantes en determinar la eficacia de una pulverización. De acuerdo a los resultados obtenidos por Villalba et al. (2009) un mismo cultivo en iguales condiciones de aplicación, y en un mismo estado de desarrollo, simplemente por ser un cultivar diferente puede generar una deposición distinta del fitosanitario.

Por otra parte, en un estudio de deposición de glifosato en malezas en el cultivo de soja en diferentes períodos después de la emergencia, Gazziero et al. (2006), encontraron deposiciones cada vez menores en la maleza a medida que la aplicación se realizaba en momentos más tardíos, explican estos resultados los autores por la cobertura ejercida por el cultivo sobre las malezas. También encontraron que las malezas más cercanas a las líneas de cultivo en los dos fechas más tardías (27 y 41 días después de emergencia) recibían la mitad de deposición que las ubicadas en la entrelinea.

Indistintamente de cual sea el objetivo de control, cuales sean los productos utilizados y cuales sean los equipos, el mayor desarrollo de los cultivos siempre actúa en detrimento de las buenas coberturas. Podría afirmarse que el desarrollo del cultivo es inversamente proporcional a la calidad de aplicación.

Robinson (2004) sostiene que el mejor resultado, independientemente del producto, será obtenido aplicándolo apropiadamente y en el momento en el que la planta o el organismo objetivo presenten mayor susceptibilidad. Relacionado a esto último, el mismo autor, menciona que trabajando con herbicidas de contacto, se han recomendado dosis que varían hasta en un 100% dependiendo del tamaño de la maleza.

Según Ozeki y Kunz, citados por Gazziero et al. (2006), el momento oportuno comprende varios de los factores mencionados, algunos de ellos son el estado del cultivo y la maleza.

2.1.2 El fitosanitario utilizado

Cada producto utilizado para el control de determinada plaga tiene características fisicoquímicas que lo caracterizan y lo condicionan, incluso un mismo principio activo puede estar formulado comercialmente de formas diferentes de tal manera que sus características físico-químicas no sean iguales entre productos comerciales diferentes en base a un mismo principio activo.

Dentro de las características fisicoquímicas se encuentra la presión de vapor, que es una referencia para evaluar que tan propenso a la volatilización va a estar un determinado agroquímico (Cunha et al., 2010). Carter, citado por Spadotto (2006), encontró pérdidas por volatilización variando entre el 2% y hasta el 90%. Algo que no es menor en este punto es tener en cuenta además del tipo de agroquímico, la calidad del agua utilizada como vehículo, para el caso de glifosato un aspecto importante es la dureza del agua (Martino, 1995).

2.1.3 Condiciones climáticas

Las condiciones ambientales son importantes tanto al momento de la aplicación y después de la misma (Gomes et al., s.f.), ya que una lluvia podría lavar el producto de la superficie de las hojas o calor excesivo podría contribuir a evaporar una buena proporción del producto. Aludiendo a esto Villalba y Hetz (2010) sostienen que es erróneo considerar como deriva la cantidad de producto que se pierde solo al momento de la aplicación, ya que pueden existir pérdidas posteriores desde la superficie vegetal.

Por otra parte Matthews (2000) define como los factores meteorológicos básicos a la temperatura, velocidad y dirección del viento, y humedad relativa.

En un estudio que reúne los resultados de muchas investigaciones sobre muestreos de deriva, Donkersley y Nuyttens (2011), encontraron que la deriva no tenía variaciones significativas al estudiar la influencia de la velocidad del viento, pero que por el contrario sí se veía muy afectada por la humedad relativa y la temperatura ambiente.

Kudsk y Kristensen, citados por Penckowski et al. (2003), describen que la translocación de los herbicidas foliares aumentan con el aumento de temperatura (siempre dentro de determinados límites fisiológicos) y la humedad relativa del aire. Temperatura moderada del aire (15 a 25°) y una alta humedad relativa del aire (>80%) aumentan la hidratación de la cutícula favoreciendo la absorción y translocación de los herbicidas (Vidal, citado por Penckowski et al., 2003).

Sin lugar a dudas las condiciones ambientales afectan la calidad de aplicación, sin embargo la determinación de cuál de todos los factores es de mayor relevancia, va a depender mucho de las características climáticas de la región del estudio. En zonas en las cuáles por su ubicación las temperaturas siempre oscilen entre 15 y 25 °C y la humedad relativa se encuentre siempre sobre el 50%, sin duda que va a pesar mucho el efecto del viento. Otro aspecto que va a afectar la jerarquía de los factores meteorológicos es la estación del año para regiones con estaciones marcadas.

2.1.3.1 Temperatura

Las temperaturas afectan principalmente la propensión a la evaporación por altas temperaturas, pero Gupta y Lamba, citados por Penckowski et al. (2003), sugieren que temperaturas extremas, tanto altas (mayores a 35) como bajas (menores de 10), pueden reducir el metabolismo de las plantas además

de influir en el comportamiento de algunos herbicidas, lo cual reduce su capacidad de control. En cuanto a la temperatura Matthews (1988) define como temperatura crítica para aplicaciones aquellas por encima de los 30-32, lo cual coincide con Antuniassi y Baio (2004), quienes sostienen que temperaturas por encima de 30°C o por debajo de 10°C representan condiciones que pueden comprometer la efectividad de las aplicaciones.

2.1.3.2 Humedad relativa

Antuniassi y Baio (2004), también mencionan que una humedad relativa por debajo de 50% también puede comprometer la efectividad, debido a un aumento en la propensión a la evaporación de las gotas del caldo.

De acuerdo a un trabajo realizado por Nuyttens et al. (2006), en donde realizaron mediciones de deriva en 27 experimentos, que fueron realizados bajo condiciones climáticas diferentes (velocidad del viento, la temperatura y la humedad relativa), estos autores sostienen que dentro de lo que son condiciones meteorológicas, la humedad relativa es la que tiene un mayor impacto en la cantidad de deriva de pulverizado. Aseveran que el efecto de la humedad relativa es más importante aun que la velocidad del viento. Las mediciones se realizaron en un amplio rango de condiciones meteorológicas, las temperaturas promedio variaron entre 8,9 a 30,7 °C, la humedad relativa promedio osciló entre 38,3 y 95,8 %, mientras que las velocidades del viento registradas estuvieron entre los 3,6 y 20,6 km.h⁻¹.

2.1.3.3 Velocidad del viento

El límite de velocidad del viento con el cual se podría llegar a aplicar son 15 km.h⁻¹ (Inostroza y Mendez, 2009).

Dentro de los factores ambientales que determinan deriva, Arvidsson et al. (2011) concluyen que el viento es el más importante.

Sin embargo en otro estudio que analiza y contrasta los resultados de varios trabajos de deriva realizados por distintos autores (Donkersley y Nuyttens, 2011) y concluyen que el factor velocidad del viento influye poco sobre las mediciones de deriva, destacando que no existen estudios con evaluaciones de deriva a campo cuando las velocidades del viento superan los 18 km.h⁻¹ (5 m/s).

Otros factores afectando la deposición y la efectividad de los agroquímicos, están las precipitaciones, la radiación solar y el rocío. Las precipitaciones y el rocío por su influencia en el lavado del producto y la

radiación por activar los mecanismos de entrada de los productos a las plantas (Gazziero, Skuterud et al., citados por Penckowski et al., 2003).

2.1.4 Factores relacionados a la aplicación

2.1.4.1 Tasa de aplicación

La tendencia en cuanto a este ítem es a reducir los volúmenes, lo cual tiene ventajas a distintos niveles, la principal y quizá la más buscada, es el aumento en la capacidad operativa de la maquinaria (Silva, citado por Cunha, 2006), ya que con una misma cantidad de agua se puede pulverizar un área mayor sin necesidad de recargar, lo que disminuye los tiempos “muertos”, lo que a su vez trae aparejado la posibilidad de aprovechar mejor las ventanas de aplicación (Marochi y Schmidt, citados por Meneghetti, 2006). Otra ventaja es la disminución de costos que implica la logística del agua y la reducción del uso de agua potable (recurso cada vez más escaso).

El volumen de caldo aplicado está estrechamente relacionado con el objetivo a tratar y con la cantidad de impactos necesarios, lo cual está condicionado por el modo de acción del agroquímico utilizado, contacto o sistémico.

En Australia los volúmenes utilizados comienzan a partir de 5 L ha⁻¹ con sistemas de gota controlada, siendo los promedios volúmenes de 40 L ha⁻¹ (Doyle, s.f.)

Armstrong-Cho et al. (2008) no reportan respuestas en el rendimiento de los cultivos de garbanzo cuando se evalúan aplicaciones con distintas tasas de aplicación, cuando los niveles de infección fueron entre bajos a medios, pero sin embargo reportan respuestas de disminución de severidad de la enfermedad principalmente en situaciones de alta presión de infección e incluso diferencias significativas en el rendimiento, para aplicaciones con volúmenes mayores a 200 y 300 L ha⁻¹. Los mismos autores encontraron resultados similares; sin respuesta en situaciones de bajas presiones de infección, pero al tratar con altas presiones de infección, los mayores volúmenes propiciaron disminuciones significativas en la severidad, aunque no lograron mejoras en el rendimiento de grano y se logró alguna mejora en la calidad del grano.

Similares resultados obtuvieron Cunha et al. (2006), trabajando con diferentes volúmenes y tipos de boquillas en aplicaciones de fungicida para combatir roya asiática en soja, tampoco encontraron diferencias ni en el control de la infección, ni en el rendimiento final del cultivo.

Charbonnier et al. (2010) trabajando con diferentes volúmenes de aplicación, no encontraron diferencias en cuanto a la deposición del fungicida en hojas de trigo, tampoco encontraron diferencias en la deposición entre estratos. Para el parámetro densidad de impactos, los mayores valores los encontraron con los mayores volúmenes de aplicación. Evaluando control de roya estos autores encontraron diferencias significativas a favor de los mayores volúmenes de aplicación (60.7 y 102 L.ha⁻¹ vs 32.4).

Leiva (2006) trabajando con fungicida en soja, encontró diferencias significativas en rendimiento a favor de las aplicaciones con mayores volúmenes de caldo. Las diferencias se encontraron entre volúmenes de 75 y 150 L.ha⁻¹, cabe aclarar que dichas aplicaciones se realizaron en condiciones de temperatura y humedad limitantes (temperaturas mayores a 34° y humedad relativa menores a 47%).

La investigación ha demostrado que es posible la utilización de volúmenes inferiores a los utilizados en la actualidad en el Uruguay, pero es cierto también que estos volúmenes menores disminuyen las ventanas de aplicación al estar más expuestos a las condiciones ambientales desfavorables o limitantes.

Basado en todo lo anteriormente expuesto, se evidencia que cuando las condiciones ambientales son favorables y el objeto de control está en niveles iniciales o bajos, el ajuste de la tasa de aplicación no juega un papel relevante. Esto concuerda con la observación de Frießleben (2004), que realiza igual observación pero refiriéndose al tipo de boquilla.

2.1.4.2 Relación velocidad, volumen y presión en los equipos de aplicación

En los pulverizadores modernos otro factor que puede afectar la calidad de aplicación son los equipos que regulan automáticamente el flujo de caldo de acuerdo a la velocidad de avance, la forma que tienen para hacerlo es en base a aumento o disminución de la presión y uno de los problemas es que la relación entre aumento de velocidad y aumento de presión es potencial, si uno aumenta la velocidad al doble, para mantener el mismo volumen es necesario cuadruplicar la presión de trabajo. Esto conlleva a que a bajas velocidades las variaciones de la presión queden dentro del rango para el cual las boquillas fueron diseñadas, pero a velocidades altas, cómo la mayoría del experimento (14 km. h⁻¹), se produzcan variaciones muy altas en la velocidad (sobre todo en las cabeceras) que hacen que se trabaje con presiones por debajo de lo previsto por el fabricantes de boquillas (Wolf, 2009). Si bien esto permite que no haya ni sobredosificaciones, ni sub-dosificaciones, las condiciones de presiones por debajo del óptimo se puede ver afectada la calidad de aplicación por no

lograr los tamaños de gota planificados, e incluso por producirse una mala distribución del producto.

2.1.4.3 Número y tamaño de gota

El tamaño de gota depende de: las propiedades físicas del caldo (Klein et al. 2008, Castillos 2010), presión de trabajo y características de la boquilla utilizada (caudal, ángulo, etc) (Bulacio, 2005).

En cuanto al tamaño de gota hay varias formas de medir las mismas, una de ellas es tomar el Diámetro Volumétrico Mediano cuya medida se expresa en micrómetros, que es el diámetro de gota que deja al 50 % del volumen de líquido con gotas de diámetro menores a ella y el otro 50% mayores, esta medida es la más ampliamente difundida (Matthews, 2000). Esta medida es insuficiente cuando uno quiere tener idea del rango de tamaños de gota.

El espectro de tamaño de gotas es afectado por el flujo de caldo y la presión operativa (Klein et al., 2008). Cada boquilla está diseñada además para trabajar dentro de un rango determinado de presiones, cuando se las utiliza fuera de las presiones recomendadas no se logran ni los tamaños de gota deseados, ni una correcta distribución del pulverizado (Wolf, 2009).

Frießleben (2004) sostiene que la elección de la boquilla pierde importancia cuando el resto de los parámetros técnicos están en su óptimo. En este mismo sentido Goddard (2004) comparando diferentes tipos de boquillas en aplicaciones de fungicida en trigo, no encontró diferencias en los rendimientos finales de los cultivos cuando se utilizaban volúmenes distintos y boquillas distintas, pero sí, surgían diferencias cuando las aplicaciones no habían podido ser realizadas en el momento oportuno.

Otro aspecto que complejiza la predictibilidad del tamaño y el espectro de tamaños de gota, es que su comportamiento no siempre sigue una misma tendencia, Klein et al. (2008) estudiaron la influencia de varios tipos de boquillas, combinado con varios tipos de volúmenes de caldo de aplicación, adyuvantes y distintas boquillas, encontraron que el agregado de fungicida hacía disminuir el tamaño de gota, comparándolo con el agua sin fitosanitario, pero esto ocurría con los dos volúmenes menores estudiados, sin embargo con el mayor volumen de caldo el tamaño de gota aumentaba. También observaron al evaluar herbicidas, que el comportamiento de los adyuvantes no era el mismo al trabajar con distintos herbicidas o mezclas de ellos, ni tampoco al trabajar con diferentes tipos de boquillas.

Según Matthews (2000) la magnitud de los efectos de las fuerzas gravitacionales, meteorológicas y electrostáticas sobre el movimiento de las gotas está influenciado por su tamaño. Gálvez et al. (2005) afirma que las gotas deberán ser lo suficientemente grandes para que no se pierdan por evaporación o deriva, pero lo más pequeñas posible para producir una buena cobertura.

Las gotas pequeñas presentan otro comportamiento espacial, debido a su menor peso presentan menores velocidades de descenso (Meneghetti, 2006) teniendo la posibilidad de quedar por cierto tiempo suspendidas en el aire y ser transportadas por el viento dentro del follaje, impactando no solo en la cara adaxial de las hojas sino también en la abaxial e incluso sobre tallos y otras estructuras (Leiva, 2006). Estas mismas características de las gotas pequeñas es la que las hace más propensas a la deriva en condiciones climáticas adversas. Matthews (2000) asocia este tipo de gotas con las menores a 100 micras de diámetro, si bien son propensas a salir del cultivo, son suficientemente chicas como para ser transportadas dentro del cultivo por turbulencias de aire y luego depositarse sobre las hojas.

En este sentido y de acuerdo a la FAO los requerimientos en cuanto a calidad de aplicación para productos herbicidas sistémicos, cómo es el caso del Glifosato, se requieren entre 20 y 30 gotas.cm⁻², con un coeficiente de variación de 30% y valores de tamaño de gota de entre 200 y 350 micrones (Massaro, 2004).

Otro aspecto relacionado al tamaño de gotas es su comportamiento dentro del cultivo, un volumen de aplicación representado por muchas gotas grandes, provoca que debido a su tamaño desciendan a una mayor velocidad golpeen contra las hojas reboten y caigan al suelo, se junten con otras gotas formando gotas mayores que se deslicen por la superficie foliar y terminen acumulándose en las puntas de las hojas o terminen cayéndose de ellas. Lo más grave de éste comportamiento es que las gotas grandes transportan mayor cantidad de plaguicida que las pequeñas, lo que deriva en menores eficiencias cuando no permanecen en el objetivo (Leiva, 1996).

Relacionando tamaño de gota y su distribución dentro del canopeo, Cunha et al. (2005) trabajando con aplicaciones de fungicida en soja para combatir roya, encontraron distribuciones más homogéneas con gotas más finas, abanico plano convencional y mayores volúmenes de caldo, a pesar de lo cual tampoco tuvo diferencias en los rendimientos finales de los cultivos. De todas formas son datos interesantes a la hora de pensar en la llegada de herbicidas que sean aplicados en etapas no muy tempranas del cultivo.

2.2. ÁRBOLES DE REGRESIÓN

Es una forma de análisis que permite explorar sobre problemas complejos, donde se quieren encontrar los factores de mayor peso, la limitante que presenta es la exigencia en relación al muestreo, ya que al aumentar el número de factores estudiados aumentan el número de datos necesarios para que el método pueda brindar resultados de utilidad.

Los árboles de regresión constituyen una partición de una variable de respuesta continua en grupos homogéneos que se construye a partir de variables predictoras. De esta forma, ciertas combinaciones de las variables predictoras (que pueden ser continuas o discretas) generan grupos homogéneos en cuanto a la variable de respuesta.

Este es el fundamento por el cual se optó por este análisis para esta serie de experimentos, de forma de conocer cuáles son los criterios de asociación de las variables de aplicación con la variable de respuesta en estos casos la respuesta de control de los herbicidas. Cuando la variable de respuesta es discreta, se habla de árboles de clasificación.

Del total de muestras las asociaciones permiten diferentes cortes que dan lugar a una partición de los sujetos en 2 grupos: avanzando en pasos sucesivos a lo largo del árbol jerárquico de cortes y así se llega a la clasificación final. El método es intensivo en uso de recursos computacionales ya que en cada etapa de partición se busca todas las posibles combinaciones de las variables predictoras que den la mejor partición, e incluso se busca el punto de corte cuando la variable es continua. Según Bacallao et al. (2004) el uso de los árboles de clasificación no es frecuente en el ámbito de las probabilidades o del reconocimiento de patrones, pero se han extendido considerablemente en el ámbito del diagnóstico, las ciencias de la computación, la taxonomía y la teoría de la decisión. También sostienen que los árboles tienen una expresión gráfica que facilita su interpretación.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. DETALLE DE LOS EXPERIMENTOS

Los datos recabados en el presente trabajo surgen de aplicaciones realizadas en cultivos de soja durante las zafas 2008 y 2009. Los ensayos estaban enmarcados en un proyecto más ambicioso cuyo objetivo estaba dirigido a obtener datos de deriva de productos fitosanitarios. Los experimentos fueron nueve y estaban localizados en los departamentos de Soriano, Paysandú y Durazno.

Cuadro 1: Características de los experimentos

EXPERIMENTO	Localidad	Fecha	Situación	Productos
1	SORIANO-Cardona	22/02/2008	Cultivo Soja	Glifosato
2	SORIANO-Cardona	29/02/2008	Cultivo Soja	Glifosato Imazetaphir
3	PAYSANDÚ-Facultad	07/03/2008	Cultivo Soja	Glifosato
4	PAYSANDÚ-Constancia	29/10/2008	Barbecho Soja	Glifosato Clorimuron 2,4D
5	PAYSANDÚ-Constancia	29/10/2008	Barbecho Soja	Glifosato Clorimuron 2,4D
6	SORIANO-Cardona	15/01/2009	Cultivo Soja	Glifosato
7	SORIANO-Cardona	06/02/2009	Barbecho	Glifosato Atrazina
8	DURAZNO-V.del Carmen	13/02/2009	Cultivo Soja	Glifosato
9	DURAZNO-V.del Carmen	13/02/2009	Cultivo Soja	Glifosato

Cabe mencionar que la intención original de la situación del experimento 7 era siembra de soja, luego se cambió el cultivo a sembrar, por lo tanto los insumos usados fueron atendiendo a la intención de sembrar sorgo.

3.2. EQUIPOS UTILIZADOS Y CONDICIONES

Las aplicaciones fueron realizadas en los experimentos 1, 2, 4, 5, 6, 7, 8 y 9 con pulverizadores hidráulicos autopropulsados de marca Metalfor 3200, con un ancho operativo de 28 m y en el experimento 3 con pulverizador hidráulico acoplado al tractor.

Las evaluaciones fueron realizadas en aplicaciones comerciales y siguiendo los patrones de aplicación de cada situación, en relación al volumen de aplicación y condiciones meteorológicas de la misma.

Al momento de la aplicación se medía temperatura, humedad relativa y velocidad del viento con una estación meteorológica electrónica portátil SkyWatch Modelo ATMOS. En los casos en que la velocidad del viento no era constante se tomó la velocidad máxima del rango como dato.

No se tuvo injerencia sobre los productos y las dosis utilizadas, ya que fueron decisión de los técnicos responsables de cada cultivo.

3.3. METODOLOGÍA DE INSTALACIÓN DE LOS EXPERIMENTOS

Se preparaba la mitad de la barra del pulverizador con un tipo de boquillas y la otra mitad con otro tipo, teniendo en cuenta que fueran del mismo caudal pero de diferente tamaño de gota. El tipo de boquillas se decidía en base a las opciones con las que contaban los equipos en la misma barra, buscando más que nada tamaños de gota contrastantes. Se delimitaba un área en la cual el pulverizador aplicaba dos repeticiones con cada boquilla, dichas áreas se marcaban de forma de realizar las evaluaciones de control post aplicación.

3.4. DISEÑO EXPERIMENTAL

Debido a que la idea de este trabajo era recabar información lo más fiel posible a lo que eran las condiciones en las que se realizan las aplicaciones en las situaciones productivas de nuestro país, se eligió un diseño muy simple para evitar el rechazo del mismo por la empresa comercial. Cada experimento constó de 2 tratamientos y 2 repeticiones. Como se mencionó anteriormente el pulverizador realizaba dos pasadas, cada una con la mitad del baral con un tipo de boquillas y la otra mitad con otro tipo de boquillas, buscando que las mismas produjeran tipos diferentes de tamaño de gotas.

3.5. DETERMINACIONES

Se realizó una caracterización de las especies de malezas presentes y una evaluación visual en la que se estimaba el porcentaje de cada una de las especies dentro de un cuadrado de alambre 30 x 30 cm tirado aleatoriamente.

Se realizaron, en los casos que lo ameritaba, dos visitas para evaluar el efecto de los productos post aplicación, en las cuales se valoraba en las malezas encontradas en el día de la aplicación el efecto del herbicida mediante la escala de ALAM (1974) desarrollada para un sistema de evaluación visual de

control, la misma va del 0 al 100 en el cuál el 0 era que no se observaba efectos sobre la planta objetivo y el 10 representaba un control total. Esta última evaluación es la que se utilizó como medida, del nivel de control y como variable en base a la cuál se corrió el análisis, para ello se la utilizó en forma de porcentaje.

3.6 TECNOLOGÍAS USADAS Y CONDICIONES AL MOMENTO DE APLICACIÓN

Cuadro 2: Tecnologías usadas

EXPERIMENTO	TECNOLOGÍAS			
	Boquilla	Tamaño Gota (μ)	Volúmen (L)	Presión (bar)
1	TT 11002	400	60	1.8
	XR 11002	254		
2	TX12	180	54	4
	XR 02	206		
3	XR 110015	194	100	3.3
	TT 110015	287		
4	TTPV03	400	60	2.5
	AI 11002	565		
5	TTPV03	400	60	2.5
	AI 11002	565		
6	TX 11002	208	45	2
	AI 11002	590		
7	TX 12	210	50	2.5
	TT 11002	256		
8	TT 11002	368	47	2.2
	XR 11002	238		
9	TT 11002	368	47	2.2
	XR 11002	238		

Cuadro 3: Condiciones al momento de aplicación

CONDICIONES METEOROLÓGICAS				
EXPERIMENTO	Humedad (%)	Temperatura (°C)	Viento (Km.h⁻¹)	Lim./No Lim.
1	66	25.7	3.6	NOL
2	73	23.2	8-13	NOL
3	58	26.7	7	NOL
4	59	22.7	17	NOL
5	45	25	7	L
6	28	34	8	L
7	30	20	16	L
8	34.5	33	2.4	L
9	37	29.5	0	L

3.7. PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN

Las variables predictoras fueron confeccionadas a partir del conocimiento de como operan en la determinación del resultado.

Los datos de las condiciones ambientales se transformaron de variables continuas a discretas, el viento se tomó como alto o bajo, a los valores por encima de 13 km.h⁻¹ se le asignaba el valor “alto” y para valores inferiores a ese límite se le asignaba el valor “bajo”.

Los datos correspondientes al tamaño de gota se definieron en base a tablas provistas por el fabricante. De acuerdo a los valores obtenidos se volvió a “discretizar” la variable en dos grandes grupos, gotas mayores a 300 micras, consideradas como gotas muy gruesas (349-428) o extra gruesas (428-622), y gotas inferiores o iguales a 300 micras, las cuales son consideradas gruesas (218-349) y medias (177-218). Esta última decisión se tomó teniendo en cuenta que las decisiones que se pueden llegar a tomar a campo, no van a contar con las medidas justa de cada gota, lo que le restaba sentido a que el resultado tuviera tal grado de detalle.

A cada uno de los experimentos se le asignó un valor de variable discreta binaria, de acuerdo a si las condiciones en las que se realizaron las aplicaciones eran limitantes o no (LIMITANTES; NO LIMITANTES, respectivamente). Se consideraron condiciones limitantes humedad relativa por debajo de 50 % y/o temperaturas por encima de 30 °C.

La variable de respuesta para la cual se usó este método de análisis fue el porcentaje de control de cada experimento, tomada como variable continua, considerando que la dosis no era una limitante para el control.

3.8. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Para el desarrollo de esta investigación se utilizó la técnica de Árboles de Regresión. Se usó el algoritmo “tree” del paquete R (2.13.1).

Los árboles se representan en forma gráfica donde se presentan las diferentes etapas de la partición con los nodos que quedan en cada etapa y los nodos terminales. Dentro de cada nodo se exhibe el número de datos, el promedio del porcentaje de control, el desvío estándar y el criterio por el cual se hace el corte. Además se calculó en cada partición el p-valor de la misma. Y además se presenta el R^2 del modelo.

El valor del R^2 es un valor que representa el ajuste del modelo matemático sugerido a la nube de datos experimentales.

El p-valor indica la probabilidad de que equivocarse al rechazar la hipótesis nula. Cuánto más bajo es este valor, el resultado en ese nodo (para el caso de un árbol de regresión) tiene un mayor nivel de confianza.

Se configuró el software para que no agrupara con cantidad de datos menores a 5.

3.9. DOSIS UTILIZADA EN LOS EXPERIMENTOS

Cuadro 4: Dosis utilizadas

DÓISIS HERBICIDAS UTILIZADOS			
Ref.	GLIFOSATO kg Eq.Ac.	2° en kg I.A.	3° en kg I.A.
EXP 1	1.51		
EXP 2	1.51	Imazetaphir 0.07	
EXP 3	1.2		
EXP 4	1.08	clorimuron 0.0105	2,4 D 0.425
EXP 5	1.08	clorimuron 0.0105	2,4 D 0.425
EXP 6	1.2		
EXP 7	0.65	Atrazina 0.9	
EXP 8	0.54		
EXP 9	0.54		

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Con los datos procesados se formó el árbol de regresión, cómo fue mencionado en la revisión es un método que aporta a esta investigación fundamentalmente por permitir comparación entre experimentos realizados en distintas condiciones, pero cómo contraparte requiere de una gran cantidad de datos. A continuación se presenta el mencionado árbol, en el cual se observa un valor de ajuste del modelo extremadamente bajo, debido a la limitante en cuanto a la cantidad de datos con los que se contaba para hacer correr el método, ya que los datos no habían sido generados con el objetivo de procesarlos de esta manera.

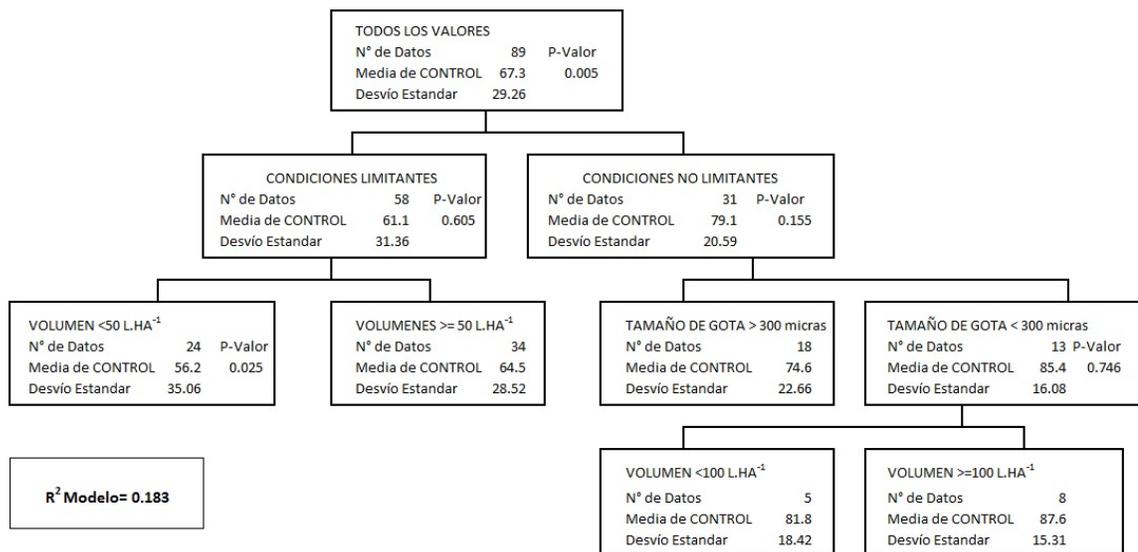


Figura 1: Árbol de regresión

De acuerdo a lo mostrado en el árbol de regresión, para los 89 datos que toma el análisis, existe una clara diferenciación (p-valor = 0.005) entre los controles logrados cuando las aplicaciones fueron realizadas en condiciones meteorológicas limitantes y las realizadas en condiciones no limitantes. Este es el primer corte que realiza el análisis para los diferentes datos de porcentaje de control de las malezas. Esto confirma lo comentado por Massaro (2008), quien afirma que en los trabajos de tecnologías de aplicación se investiga y evalúa en casi un 80% el efecto de las condiciones operativas del pulverizador y muy poco sobre el efecto de las condiciones meteorológicas, siendo que el efecto de estas es de marcada importancia en determinar la efectividad de un tratamiento.

Los resultados concuerdan con lo expresado por Kudsk y Kristensen (1992), Matthews (2000), Vidal, Gupta y Lamba, citados por Penckowski et al. (2003), Antuniassi y Baio (2004), Nuyttens et al. (2006), Ardivisnon et al. (2011), Donkersley y Nuyttens (2011); quienes a pesar de que no todos están de acuerdo en cuál de todos los factores ambientales es el de mayor importancia, todos afirman que dichos factores afectan la eficacia de las aplicaciones. En el árbol de regresión propuesto tampoco se llegan a diferenciar cuál de ellas es la de mayor importancia (por cómo fue definida la condición “limitante-no limitante”), lo que si se evidencia es que basta con que solo uno de los factores ambientales esté por sobre el límite expresado para que afecte el nivel de control de las malezas. A partir de este análisis, no es posible jerarquizar cuál de todos los factores ambientales tiene mayor influencia sobre la eficiencia del control. Era esperable encontrar estas diferencias, ya que es amplia la bibliografía que menciona tanto al viento, como la temperatura y la humedad relativa como factores de reducción de la llegada de los agroquímicos al objetivo de la aplicación. Y también como factores desencadenantes de la ocurrencia de deriva, especialmente por transporte del pulverizado a otras áreas (Bulacio, 2005).

Puede inferirse que luego de elegir la dosis correcta para la efectividad del herbicida glifosato es más importante las condiciones de aplicación que la tasa de aplicación o el tamaño de gota utilizado.

La media de control para aquellas situaciones que se describieron como no limitantes fue de 79%, contrastando con los valores de las aplicaciones en peores condiciones que lograron un control de 61%, nivel de control denominado según la escala de ALAM (1974) como suficiente. La diferencia de 20% en el control, parecería ser suficiente como para respaldar la toma de decisión de realizar o no una aplicación, basándose solamente en los datos de las condiciones ambientales al momento de la pulverización.

Dentro de lo que fueron las aplicaciones realizadas en condiciones limitantes, se genera un corte determinado por el volumen de aplicación, siendo la media del grupo de mayor control, 64%, que correspondió a los volúmenes mayores a 50 L.ha⁻¹, y el grupo de menor control (56%) para los volúmenes menores a dicho corte, a pesar de que las diferencias en este nodo no son significativas (p-valor=0.6), la cantidad de valores sobre los cuales se hace el corte (58) es importante y además son valores que pueden ser de utilidad para las situaciones en las cuales sea necesario aplicar aun cuando las condiciones climáticas no sean las óptimas. Este corte parece indicar que en aplicaciones con situaciones climáticas desfavorables la utilización de volúmenes superiores a 50 L.ha⁻¹ permitiría mejores controles, aumentan las chances de que los

resultados de la aplicación sean los mejores posibles para las condiciones existentes. Este resultado se podría explicar por generarse mayor número de gotas al aumentar la tasa de aplicación lo que deriva en una mejor cobertura del blanco, aumentando la eficacia de la aplicación. El mayor número de gotas también ayuda en condiciones limitantes, ya que aseguraría un número mínimo de impactos, ya que a pesar de que puedan no llegar al objetivo un porcentaje de ellas, las restantes gotas bastarían para alcanzar el mínimo de impactos deseable.

Otro aspecto importante de mencionar es que al observar la base de datos experimentales del presente trabajo, se detecta que no hubo casos en los cuales se realizaran aplicaciones con volúmenes superiores a los 60 L.ha⁻¹ cuando las condiciones eran limitantes, lo que deja también un rango de valores de los cuales hubiera sido interesante contar con datos. Existen evidencias experimentales (Leiva 2006, Charbonnier et al. 2010) en las cuales evaluando fungicidas, obtuvieron mejores resultados a mayores volúmenes. Charbonnier et al. (2010) obtuvieron mejores resultados de control con volúmenes a partir de 60 L.ha⁻¹. Mientras que Leiva (2006) en cultivos de verano y en condiciones limitantes, obtuvo mejores respuestas en el rendimiento del cultivo para aquellas aplicaciones con tasas de 150 L.ha⁻¹, comparándolas contra 110 y 75 L.ha⁻¹, presentando diferencias significativas en rendimiento del cultivo solo la comparación con el volumen de 75 L.ha⁻¹.

Al desarrollar el análisis por la rama de los resultados en condiciones no limitantes “el árbol” confecciona 2 grupos, para tamaño de gota mayores y menores a 300 micras, para los cuales se observan mayores controles con las gotas de menor tamaño (74 vs 85%), aunque éstas diferencias no llegan a ser significativas (p-valor=0.155). Este resultado concuerda con lo publicado por Frießleben (2004), quién asevera que el tipo de boquilla pierde importancia cuando el resto de los parámetros están en su óptimo. La mayor contra de las gotas de menor tamaño es su propensión a no llegar al objetivo de control, lo cuál es más probable que suceda cuando están expuestas a condiciones ambientales desfavorables. Cuando las condiciones son las adecuadas, las gotas pequeñas logran coberturas y distribuciones de mayor uniformidad lo que posibilita una mayor probabilidad de acertar a la maleza objetivo. Este corte apoya esta afirmación de varios autores, respecto al mejor comportamiento de las gotas finas, aunque es conocida la estrecha ventana de aplicación que existe para cultivos de verano en esas condiciones en nuestro país.

Dentro del grupo de gotas finas se vuelven a diferenciar los controles para volúmenes de aplicación mayores y menores de 100 L.ha⁻¹, dentro de los cuales los mejores controles se lograron con los volúmenes mayores (87 versus

81%). Estos dos grupos además de no diferenciarse significativamente entre sí (p -valor=0.746), caen dentro de la misma categorización de control (muy bueno ambas). Por tanto, pierden peso este último corte que además cuenta con un número muy bajo de observaciones.

El análisis del árbol permite reseñar que cuando las condiciones no son limitantes las variables que se pueden modificar para mejorar la calidad de aplicación suelen tener poca incidencia, lo cual coincide con lo que afirma Frießleben (2004). Las aplicaciones que por la urgencia que represente el objetivo de control sea necesario realizarlas en condiciones limitantes, es allí en donde es de vital importancia hacer énfasis en los mayores ajustes posibles. Según estos resultados, cuando las condiciones fueran limitantes la única variable que se podría manejar para mejorar la calidad de aplicación sería el volumen de aplicación.

Para las situaciones en las cuales las condiciones ambientales no son limitantes, pareciera que el éxito de la aplicación es más alcanzable, pero el árbol también hace aportes, en el sentido de que muestra que las boquillas que produjeran gotas menores serían las más efectivas y que con dichas boquillas los volúmenes mayores a 100 L.ha^{-1} son los más efectivos. De todas formas, los volúmenes inferiores al mencionado, presentarían muy buenos niveles de control, lo cual, en conjunción con lo expresado por Cunha (2006), quién plantea las ventajas operativas de las aplicaciones a menores volúmenes, parecería claro que la mejor relación entre una aplicación efectiva y que además contemplara disminución de costos y riesgos por una buena eficiencia operativa, estaría dada por las aplicaciones (en buenas condiciones climáticas), con boquillas que generen promedios de gota de menores a 300 micras y con volúmenes inferiores a 100 L.ha^{-1} .

De los resultados surge además que en las condiciones climáticas de nuestro país y del verano, pareciera tener mayor validez las afirmaciones de Donkersley y Nuyttens (2011), quienes aseveran que el viento tiene poca influencia en las pulverizaciones a través de su posible efecto sobre la deriva, en contraposición a las realizadas por Arvidsson et al. (2011), quienes realizaron su estudio enmarcado en el clima seco y los cuáles hallaron, que el viento, junto con la altura del baral, eran los mayores responsables de la deriva, seguido por la temperatura del aire. En este punto también es importante destacar que el rango de datos para este trabajo estuvo entre 0 y 17 km.h^{-1} , lo cual plantea la interrogante acerca de la influencia del viento a velocidades mayores.

Otro de los aspectos que pueden estar afectando a lo que fueron los resultados del árbol de decisión, es el aspecto de que las dosis de herbicida a

aplicar, estaban dadas por los técnicos responsables. En el siguiente cuadro se contrastan lo que fueron las dosis aplicadas y dosis sugeridas para las malezas objetivo en bibliografía.

Los datos del cuadro 5 sugiere que las dosis utilizadas aparentemente no serían suficientes, al comparar lo utilizado en cada situación y los datos de otros autores.

Cuadro 5: Comparativo entre dosis de control y dosis utilizadas

Ref.	MALEZA PROBLEMA	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS		DÓSIS HERBICIDAS UTILIZADOS		
		DOSIS EN I.A.	AUTOR	GLIFOSATO kg Eq.Ac.	2° en kg I.A.	3° en kg I.A.
EXP 3	<i>Sida rhombifolia</i>	1,188 kg de e. a. glifosato	González Rivero (2007)	1.2		
EXP 4	<i>Digitaria sanguinalis</i>	0,972 kg e.a. glifosato	Leguizamon et al. (2006)	1.08	clorimuron 0.0105	2,4 D 0.425
EXP 4	<i>Lolium multiflorum</i>	1.08 a 1.5 kg de e.a. glifosato	Formoso Rios (2006)	1.08	clorimuron 0.0105	2,4 D 0.425
EXP 5	<i>Digitaria sanguinalis</i>	0,972 kg e.a. glifosato	Leguizamon et al. (2006)	1.08	clorimuron 0.0105	2,4 D 0.425
EXP 5	<i>Cynodon dactylon</i>	1,8 kg e.a. glifosato	Kogan y Alister (2008)	1.08	clorimuron 0.0105	2,4 D 0.45
EXP 6	<i>Sida rhombifolia</i>	1,188 kg de e.a. Glifosato	González Rivero (2007)	1.2		
EXP 8	<i>Avena fatua</i>	0.7 kg de e.a. Glifosato	Kogan y Alister (2008)	0.54		
EXP 9	<i>Avena fatua</i>	0.7 kg de e.a. Glifosato	Kogan y Alister (2008)	0.54		

5. CONCLUSIONES

A partir del árbol de decisión se logra determinar cuáles de las variables manejables se pueden ajustar según las condiciones de aplicación, y cuáles de ellas son más relevantes en cada una de las situaciones. El primer corte que hace el análisis es por las condiciones limitantes al momento de la aplicación.

En condiciones ambientales limitantes es necesario trabajar ajustando lo que es volumen de aplicación y en condiciones no limitantes las gotas menores a 300 micras han mostrado mayor efectividad. También se podría inferir que tanto en condiciones limitantes, como en no limitantes que los mejores resultados se obtienen con volúmenes de caldo mayores. Este árbol de jerarquización no permite definir a partir de qué punto uno debe determinar la decisión de no aplicar. Aunque teniendo en cuenta que controles menores al 80% no se consideran eficientes (Massaro, 2005) se podría decir que ninguna de las aplicaciones realizadas en condiciones limitantes lograron llegar a ese porcentaje, por lo cual no se deberían realizar aplicaciones en condiciones de baja humedad relativa y alta temperatura. Otra información que nos brinda es que en las condiciones de verano, el viento no es un factor relevante en determinar la efectividad de las aplicaciones, para las condiciones de viento evaluadas, hasta los 17 km.h⁻¹.

El trabajo no logró obtener indicadores claros para facilitar la decisión de ajustes a campo según las condiciones al momento de la aplicación, de todas maneras el método de estudio utilizado tiene la ventaja de permitir agregar datos obtenidos en futuras investigaciones, lo que irá enriqueciendo el análisis del árbol y aumentando la precisión del método.

A pesar de las limitantes del modelo empleado y la falta de precisión debido a los datos de origen, los resultados obtenidos no son incongruentes con los datos que se conocen a la fecha de la experimentación.

6. RESUMEN

Enmarcado en la expansión agrícola experimentada por el Uruguay en el último lustro y la creciente importancia de las aplicaciones terrestres en los sistemas de producción, éste trabajo busca clasificar las condiciones ambientales y operativas, de manera de construir una jerarquización que permita apoyar la toma de decisiones a la hora de decidir las mejores condiciones a la hora de realizar aplicaciones terrestres de herbicidas. Para ello durante dos veranos consecutivos (2008-09) se recolectaron datos de control de malezas en condiciones comerciales de aplicación y se registraron las dosis, el volumen de aplicación, la velocidad del viento, la temperatura ambiente y la humedad relativa. El análisis de los resultados por árboles de decisión nos permite concluir que el nivel de control por herbicidas responde en primer lugar a las condiciones al momento de la aplicación, siendo las condiciones limitantes (temperatura > a 30°C y humedad relativa < a 50%) determinante de un menor control. Para las aplicaciones en esas condiciones de Limitantes climáticas el factor que tiene una mayor influencia a la hora de lograr un buen control es el aumento del volumen de aplicación, pero que cuando las condiciones de aplicación son favorables, los mejores resultados de control se logran buscando un tamaño de gota menor.

Palabras clave: Tecnologías de aplicación; Herbicidas.

7. SUMMARY

In the context of the agricultural expansion experienced by Uruguay in the last five years and the increasing relevance of the ground spraying cultures in the production systems, this work aim's to classify the operative and environmental conditions in order to create a hierarchy that helps to decide which are the best conditions to spry a crop, when it have to be used herbicides. To achieve this goal, data on weed control in ground spraying of commercial soybean cultures were collected during two consecutives summers (2008-2009), the registered data were the application rate, wind speed, temperature and relative humidity. The conclusions based on the processed data says that in limiting conditions the factor that have a major incidence in achieving a good spraying quality is increasing the application volume, otherwise, when environmental conditions are not limiting, best results are reached reducing the droplet size.

Keywords: Application technologies; Herbicides.

8. BIBLIOGRAFÍA

1. ANTUNIASSI, U. R.; BAILO, F.H. R. 2004. Tecnologia de aplicação de defensivos. In: Vargas, L.; Roman, E. S. eds. Manual de manejo e controle de plantas daninhas. Bento Gonçalves, Embrapa Uva e Vinho. pp. 145-184.
2. ARMSTRONG-CHO, C.; WOLF, T.; CHONGO, G.; GAN, Y.; HOGG, T.; LAFOND, G.; JOHNSON, E.; BANNIZA, S. 2008. The effect of carrier volume on ascochyta blight (*Ascochyta rabiei*) control in chickpea. *Crop Protection*. 27: 1020–1030.
3. ARVIDSSON, T.; BERGSTRÖM, L.; KREUGER, J. 2011. Spray drift as influenced by meteorological and technical factors. *Pest Management*. 67: 586–598.
4. ASOCIACION LATINOAMERICANA DE MALEZAS (ALAM). 1974. Recomendaciones sobre unificación de los sistemas de evaluación en ensayos de control de malezas. Bogotá. pp. 35-38.
5. BACALLAO GALLESTEY, C.; PARAPAR DE LA Riestra, J. M.; ROQUE GIL, M.; BACALLAO GUERRA, J. 2004. Árboles de regresión y otras opciones metodológicas aplicadas a la predicción del rendimiento académico. (en línea). *Educación Médica Superior*. 18 (3): 1-9. Consultado 06 nov. 2008. Disponible en http://bvs.sld.cu/revistas/ems/vol18_3_04/ems02304.htm.
6. BUCETA, S. 2009. Efecto de la boquilla de aplicación sobre la deriva y la efectividad de glifosato en el control de malezas en soja. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Facultad de Agronomía. 50 p.
7. BULACIO, L.G.; SARUBBI, C.S.; PANELO, M.S.; ETIENNOT, A. 2005. Pastillas pulverizadoras: Análisis de deriva. In: Bogliani, M.; Hilbert, J. eds. Aplicar eficientemente los agroquímicos. Buenos Aires, INTA. pp. 56-60.
8. CASTILLOS, B. 2010. Formación de gotas en la aplicación de plaguicidas. In: Magdalena, J.C.; Castillo Herrán, B.; Di Prinzio, A.; Homer Benister, I.; Villalba, J. eds. Tecnología de aplicación de agroquímicos. Alto Valle, INTA. pp. 55-66.

9. CHARBONNIER BASCOU, G.; NADAL FIANDRA, N.; LAFLUF BEREZÁN, P.I. 2011. Efecto del tipo de boquilla y volumen en las aplicaciones para control de enfermedades en trigo. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Facultad de Agronomía. 59 p.
10. CUJÓ, J.I.; MARTÍNEZ, H.N. 2001. Evaluación de alternativas para el control químico de malezas en soja (*Glicine max*) bajo el régimen de cero laboreo. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Facultad de Agronomía. 47 p.
11. CUNHA, J. P. A.; TEXEIRA, M. M.; CASTILLO, B.; RODRIGUES, G. 2010. Deriva de productos agroquímicos; efecto de las condiciones ambientales. In: Magdalena, J.C., Castillo Herrán, B.; Di Prinzio, A.; Homer Benister, I.; Villalba, J. eds. Tecnología de aplicación de agroquímicos. Alto Valle, INTA. pp. 27-44.
12. DONKERSLEY, P.; NUYTENS, D. 2011. A meta analysis of spray drift sampling. *Crop Protection*. 30: 931-936.
13. DOYLE, R.B. s.f. The development of a system for the in-field evaluation of boom sprays. (en línea). Merredin, Australia, s.e. 5 p. Consultado 15 jun. 2011.
Disponible en <http://www.caws.org.au/awc/1984/awc198410411.pdf>
14. FORMOSO RIOS, F.A. 2006. Evaluación de la susceptibilidad de raigrás espontáneo (*Lolium multiflorum* Lam) a glifosato en sistemas de siembra directa del litoral agrícola. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Facultad de Agronomía. 63 p.
15. FRIEßLEBEN, R. 2004. Balancing drift management with biological performance and efficacy. In: International Conference on Pesticide Application for Drift Management (2004, Waikaloa). Article. Washington, D.C., s.e. pp. 72-78.
16. GALVÉZ, M.R.; VINCIGUERRA, H.F.; RODRÍGUEZ, W.; SABATÉ, S.; SOLDINI, E.A.; DEVANI, M.R.; OLEA, I.L.; PLOPER, L.D. 2005. Evaluación de la penetración del asperjado producido por diferentes boquillas en aplicaciones terrestres orientadas al control de la roya de la soja. Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres. Publicación Especial no. 27. 11 p.
17. GAZZIERO, D.L.P.; MACIEL, C.D.G.; SOUZA, R.T.; VELINI, E.D.; PRETE, C.E.C.; OLIVEIRA NETO, W. 2006. Deposição de glyphosate

aplicado para controle de plantas daninhas em soja transgênica. *Planta Daninha*. 24(1):173-181.

18. GODDARD, R. 2004. Results from field scale trials comparing air induction and standard flat fan nozzles at reduced volumes. *In*: International Conference on Pesticide Application for Drift Management (2004, Waikaloa). Poster article. Washington, D.C., s.e. pp. 422-426. Consultado 22 ago. 2011. Disponible en http://pep.wsu.edu/drift04/pdf/proceedings/pg422-426_Poster23.pdf
19. GOMES, A.P.; MESCHEDE, D.K.; BRAUNO, G.; MARCHESI, C. S. s.f. Efeito de diferentes horários de aplicação na eficiência dos produtos 2,4-d e tepraloxymid em condições de cerrado. Cáceres, Universidade Estadual do Mato Grosso. s.p.
20. GONZÁLEZ RIVERO, M.N. 2007. Efecto del uso de adyuvantes en el control químico con glifosato de *Sida rhombifolia*. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Facultad de Agronomía. 61 p.
21. HISLOP, E. C. 2004. Application technology for crop protection; an introduction. *In*: Matthews G.A.; Hislop, E.C. eds. Application technology for crop protection. Oxon, UK, CAB International. pp. 35-54.
22. INOSTROZA FARIÑA, J.; MENDEZ, P. 2009. Pulverización y aplicación de pesticidas. (en línea). *In*: Inostroza Fariña, J. ed. Manual de papa para la Araucanía; manejo y plantación. Carillanca, Temuco, Chile, Instituto de Investigaciones Agropecuarias. pp. 85-101. Consultado 15 mar. 2011. Disponible en <http://www.inia.cl/medios/biblioteca/boletines/NR36470.pdf>
23. KLEIN, R.; GOLUS, J.; COX, A. 2008. Spray droplet size and how it is affected by pesticide formulation, concentrations, carriers, nozzle tips, pressure and additives. *Aspects of Applied Biology*. 84: 231-237.
24. KOGAN, M.; ALISTER, C. 2008. Factores que pueden afectar la efectividad del herbicida glifosato. (en línea). *In*: Seminario Internacional Viabilidad del Glifosato en Sistemas Productivos Sustentables (2008, Montevideo). Trabajos presentados. Montevideo, INIA. pp. 12-26. Consultado 15 ago. 2011. Disponible en http://www.rapaluruaguay.org/glifosato/Viabilidad_Glifosato.pdf

25. KUDSK, P.; KRISTENSEN, J. L. 1992. Effect of environmental factors on herbicide performance. In: International Weed Control Congress (1st., 1992, Melbourne). Proceedings. Melbourne, Monash University. pp. 173-186.
26. LEFEBVRE, A. H. 2004. Droplet production. In: Matthews G.A.; Hislop, E.C. eds. Application technology for crop protection. Oxon, UK, CAB International. pp. 35-54.
27. LEGUIZAMÓN, E. S.; CABRERA, G.; FRATICELLI, M. F.; CAMPOS, B.; PAVONE, Z. 2006. Control y dinámica de la población de malezas en maíz y soja RR; comparación de Glifosato con herbicidas residuales. In: Mercosoja (10^o., 2006, Santa Fé). Trabajos presentados. s.n.t. pp. 498-502.
28. LEIVA, P.D. 1996. Calidad de aplicación. In: Jornada de Control Químico de Enfermedades del Trigo (1^a., 1996, Buenos Aires). Memorias. Pergamino, EEA INTA Pergamino/Bolsa de Cereales de Buenos Aires. pp.1-15.
29. _____. 2006. Uso de fungicidas en soja, tecnologías para mejorar la calidad de aplicación. (en línea). Pergamino, EEA INTA Pergamino. s.p. Consultado 12 set. 2011. Disponible en <http://www.cronicarural.com.ar/index.asp?Ver=2&id=5082&Orden=DESC>
30. MARTINO, D.G. 1995. El herbicida glifosato; su manejo más allá de la dosis por hectárea. La Estanzuela, Colonia, INIA. 23 p. (Serie Técnica no. 61).
31. MASSARO, R.A. 2004. Tecnología para la aplicación de fungicidas foliares en soja con equipos terrestres. Para Mejorar la Producción. 27 (102): 83-92.
32. _____. 2005. Pulverizaciones terrestres: en búsqueda de la eficiencia. In: Congreso de AAPRESID (13^o., 2005, Rosario). Memorias. Rosario, Argentina, Bolsa de Comercio de Rosario/INTA EEA Oliveros. pp. 1-6.
33. _____. 2008. Aplicación de plaguicidas con pulverización terrestre en trigo; condiciones operativas y aportes del desarrollo de la maquinaria. Para Mejorar la Producción. 37 (102): 70-76.

34. MATTHEWS, G.A. 1988. Métodos para la aplicación de pesticidas. 2^a. ed. México, Compañía Editorial Continental. 340 p.
35. _____. 2000. Pesticide application methods. 3rd. ed. Malden, Blackwell Science. 432 p.
36. _____.; HISLOP, E. C. 2004. Application technology for crop protection. Wallingford, Oxon, CABI. 359 p.
37. MENEGHETTI, R.C. 2006. Tecnología de aplicação de fungicidas na cultura do Trigo. Dissertação de Mestrado. Santa María, RS, Brasil. Universidad Federal de Santa María. 65 p.
38. NORTH CAROLINA STATE UNIVERSITY (UNITED STATES OF AMERICA). COLLEGE OF AGRICULTURE AND LIFE SCIENCES. 2008. Dichondra. Raleigh. 3 p.
39. NUYTTENS, D.; DE SCHAMPHELEIRE, M.; STEURBAUT, W.; BAETENS, K.; VERBOVEN, P.; NICOLAÏ, B.; RAMON, H.; SONCK, B. 2006. Experimental study of factors influencing the risk of drift from field sprayers; Part 1: Meteorological conditions. Aspects of Applied Biology. 77: 231-237.
40. PENCKOWSKI, L.H.; PODOLAN, M.J.; LÓPEZ-OVEJERO, R.F. 2003. Influência das condições climáticas no momento da aplicação de herbicidas pós-emergentes sobre a eficácia de controle de nabiça (*Raphanus raphanistrum*) na cultura de trigo. Planta Daninha. 21 (3): 435-442.
41. ROBINSON, T. H. 2004. Large-scale ground-based application techniques. In: Matthews G.A.; Hislop, E.C. eds. Application technology for crop protection. Oxon, UK, CAB International. pp. 163-186.
42. SPADOTTO, C.A. 2006. Influência das condições meteorológicas no transporte de agrotóxicos no ambiente. Boletim Informativo da Sociedade Brasileira de Meteorologia. 30(1): 15-20.
43. SPRAYING SYSTEMS CORPORATION. 2010. Catálogo 51-M. (en línea). Wheaton, Illinois. 192 p. Consultado 15 jul. 2011. Disponible en <http://www.teejet.com>
44. STOLETNIY, I.; VILLALBA, J.; OLIVET, J.; PÉREZ, C. 2010. Efecto del tamaño de gota, volumen de aplicación y adyuvante en el control de

Drechslera tritici-repentis en trigo. In: Congreso Latinoamericano y del Caribe de Ingeniería Agrícola (9º., 2010, Vitória). Anales. Vitória, SBEA. s.p.

45. URUGUAY. MINISTERIO DE GANADERÍA, AGRICULTURA Y PESCA. DIRECCIÓN GENERAL DE SERVICIOS AGRÍCOLAS. DIVISION ANÁLISIS Y DIAGNOSTICO. 2010. Importación de productos fitosanitarios. (en línea). Montevideo. 8 p. Consultado 11 ago. 2011. Disponible en http://www.mgap.gub.uy/DGSSAA/DivAnalisisDiagnostico/DAYD_PR_OFIT_ESTADISTICA.htm
46. _____. _____. OFICINA DE PROGRAMACIÓN Y POLÍTICAS AGROPECUARIA (OPYPA). 2011. Anuario 2011. (en línea). Montevideo. p. 30. Consultado 15 dic. 2011. Disponible en <http://www.mgap.gub.uy/opypa/ANUARIOS/anuario2011/material/pdf/02.pdf>
47. VILLALBA, J.; MARTINS, D.; RODRIGUES, A.; ALVEZ-CARDOSO, L. 2009. Depósito del caldo de aspersion de distintos tipos de boquillas en dos cultivares de soya en el estadio v3. *Agrociencia*. 43 (5): 465-473.
48. _____.; HETZ, E. 2010. Deriva de productos agroquímicos – Efecto de las condiciones ambientales. In: Magdalena, J.C., Castillo Herrán, B.; Di Prinzio, A.; Homer Benister, I.; Villalba, J. eds. *Tecnología de aplicación de agroquímicos*. Alto Valle, INTA. pp. 45-54.
49. WOLF, T. 2009. Best management practices for herbicide application technology. (en línea). *Prairie Soils and Crops: Scientific Perspectives for Innovative Management*. 2: 24-30. Consultado 4 ago. 2011. Disponible en http://www.prairiesoilsandcrops.ca/articles/Issue-2_Article_4_scrn.pdf