

CARACTERIZACIÓN DE OCURRENCIA EN DISTINTOS HORARIOS DE CONDICIONES METEOROLÓGICAS ÓPTIMAS PARA LA APLICACIÓN DE AGROQUÍMICOS EN EL SUDESTE DE BUENOS AIRES

Juan Pedro Platz*, Santiago Néstor Tourn, Laura Echarte, María Gabriela Cendoya

Universidad Nacional de Mar del Plata Facultad Ciencias Agrarias Balcarce

*E-mail: jplatz@mdp.edu.ar

Recibido: 23/02/2023
Aceptado: 24/04/2023

RESUMEN

Las aplicaciones de agroquímicos son prácticas comunes utilizadas para proteger y nutrir cultivos que incluyen productos fitosanitarios y fertilizantes. El resultado de una correcta aplicación implica el logro del efecto buscado procurando reducir al mínimo las pérdidas de producto en función de la protección de la salud humana y el ambiente. El objetivo de este trabajo fue caracterizar la probabilidad de ocurrencia de condiciones meteorológicas óptimas para lograr mejor calidad de aplicaciones. Se recopiló información registrada por una estación meteorológica automática en la Estancia La Morocha (Balcarce, provincia de Buenos Aires) para la serie de años desde 2006-2018. Los resultados indicaron que las probabilidades de ocurrencia de condiciones óptimas (velocidad máxima del viento: 4 m s^{-1} , temperatura del aire límite de $30 \text{ }^{\circ}\text{C}$ y 20% humedad relativa mínima) son inferiores al 50% en prácticamente todos los trimestres y horarios. Desde la 0 h hasta las 7 h de la mañana estas probabilidades se mantienen entre 30% y 50%, siendo en el período otoñal más cercana al 50%. Por otra parte, en el rango horario de 11 h a 17 h, las condiciones óptimas para la aplicación se presentaron en menos del 15% de los días en todos los trimestres, excepto por el período otoñal donde alcanzó el 20%. En conclusión, en el sudeste bonaerense las condiciones meteorológicas con condiciones adecuadas para la aplicación de fitosanitarios y fertilizantes presentan, en general, una baja frecuencia de días por trimestre.

Palabras clave: aplicación, agroquímicos, condiciones meteorológicas, probabilidad, sudeste bonaerense.

CHARACTERIZATION OF OCCURRENCE OF OPTIMAL METEOROLOGICAL CONDITIONS FOR THE APPLICATION OF AGROCHEMICALS IN THE SOUTHEAST OF BUENOS AIRES

ABSTRACT

The applications of agrochemicals are common practices used to protect and nourish crops, including phytosanitary products and fertilizers. The result of a proper application involves achieving the desired effect while minimizing product losses for the protection of human health and the environment. The objective of this study was to characterize the probability of occurrence of optimal meteorological conditions to achieve better application quality. Information recorded by an automatic weather station at Estancia La Morocha (Balcarce, Buenos Aires province) was collected for the years 2006-2018. The results indicated that the probabilities of occurrence of optimal conditions (maximum wind speed: 4 m s^{-1} , maximum air temperature of $30 \text{ }^{\circ}\text{C}$, and minimum relative humidity of 20%) were below 50% in practically all quarters and time slots. From 12 am to 7 am, these probabilities remained between 30% and 50%, with the autumn period being closer to 50%. On the other hand, in the time range from 11 am to 5 pm, optimal application conditions occurred on less than 15% of the days in all quarters, except for the autumn period where it reached 20%. In conclusion, in the southeastern part of Buenos Aires, the meteorological conditions suitable for the application of phytosanitary products and fertilizers generally have a low frequency of occurrence per quarter.

Key words: application, agrochemicals, meteorological conditions, probability, southeastern Buenos Aires.

INTRODUCCIÓN

Las aplicaciones de agroquímicos son prácticas comunes utilizadas para proteger y nutrir cultivos de producción agrícola y ganaderos en la Argentina e integran un paquete tecnológico que incluye a los fertilizantes y fitosanitarios. En las últimas seis décadas hubo un incremento sostenido de la producción basado en tecnologías de insumos, reduciendo las brechas entre los rendimientos reales y potenciales (Andrade, 2020). En la actualidad, se integran con tecnologías de procesos basadas en conocimientos y asociadas con tecnologías más complejas como la informática, mejorada por la conectividad, comunicación, información y robótica, entre otras (Satorre y Andrade, 2021). Dentro de las tecnologías de insumos, las aplicaciones de agroquímicos son una de las actividades más dependientes de las condiciones meteorológicas en los procesos de producción (Billé y Rogna, 2022).

Una adecuada aplicación de fitosanitarios implica el logro del efecto deseado procurando minimizar las pérdidas por derivas (*i.e.* desviación y pérdidas del producto respecto de su lugar de aplicación objetivo) (Carlsen *et al.*, 2006; Nuyttens *et al.*, 2007; Felsot *et al.*, 2010) y, por lo tanto, los riesgos por contaminación y/o efectos no deseados en zonas aledañas (De Moor *et al.*, 2000; Oliveira, 2002; Giles y Downey, 2003). Respecto a la nutrición de los cultivos el 80% se realiza con fuentes sólidas y el 60% de éstas se aplican por proyección ("voleados") con máquinas de discos o neumáticas con deflectores, siendo el disco el sistema más utilizado (Tourn *et al.*, 2021). Del mismo modo que los fitosanitarios, las aplicaciones de fertilizantes sólidos por proyección deberían distribuirse en el terreno con el menor coeficiente de variación posible para evitar una sub o sobredosificación de los nutrientes y disminuir de esta manera los riesgos de contaminación (Csizmazia, 2000; Smith *et al.*, 2004).

La magnitud de una incorrecta aplicación es afectada por varios factores; en general, los más importantes se asocian con los parámetros de diseño y forma de aplicación del equipo, las propiedades físicas de la aplicación en sí misma, la formulación de los agroquímicos y las condiciones micrometeorológicas (Salyani y Cromwell, 1992). En particular, las condiciones micrometeorológicas o microclima se definen como el clima cercano al suelo; que para el propósito del presente estudio incluye la capa de atmósfera desde los 0,3 m hasta los 6 a 10 m superiores desde el suelo (Enz *et al.*, 2017). Distintos trabajos coinciden en que las variables meteorológicas con mayores efectos sobre la magnitud de deriva de un

fitosanitario son: la velocidad del viento, la humedad relativa y la temperatura (Nuyttens *et al.*, 2007; Tepper, 2012). En cambio, en las aplicaciones de fertilizantes, la humedad y el viento tienen mayor importancia por generar variaciones en el caudal del material proyectado, modificando sus características físicas, como el tamaño, la forma y el coeficiente de fricción (Moshou *et al.*, 2004). Los fertilizantes son sales, por tanto, son capaces de absorber agua cuando la humedad relativa del aire excede un cierto valor siendo uno de los principales problemas durante la aplicación y su manipulación (Villette *et al.*, 2010; Turan *et al.*, 2011). Por otra parte, la velocidad y dirección del viento son las variables más importantes que condicionan una correcta proyección de las partículas del fertilizante (Aphale *et al.*, 2003; Moshou *et al.*, 2004; Smith *et al.*, 2004; Thaper, 2014).

Villalba y Hetz (2010) definieron una ventana de aplicación óptima para la aplicación de fitosanitarios en función de tres variables meteorológicas: (i) la velocidad del viento (propusieron un límite máximo de 4 m s⁻¹), (ii) la temperatura del aire (con un límite de 30 °C) y (iii) la humedad relativa mínima (con un límite del 20%). En este sentido, mayores velocidades del viento pueden incrementar las desviaciones respecto del lugar objetivo de aplicación (Combella *et al.*, 1996), mientras que condiciones de altas temperaturas y baja humedad relativa pueden promover la evaporación del producto fitosanitario durante su aplicación (Carrancio y Massaro, 2018).

En cambio, son escasos los antecedentes que reporten condiciones meteorológicas limitantes para la aplicación de fertilizantes sólidos. La norma ASABE S341.3 (Normas ASABE, 2009) describe el protocolo para medir la uniformidad de distribución tomando como límite una velocidad del viento inferior a 2,2 m s⁻¹. Este es un valor de referencia muy bajo para establecer como límite en condiciones normales de aplicación a campo. Por otra parte, se puede considerar una humedad relativa crítica que se encuentra entre el 60% y el 70% de la humedad relativa del aire para la mayoría de los fertilizantes (Hignett, 1985; Kara y Hofstee, 2000). La temperatura no es un factor de importancia como la humedad relativa para la manipulación y aplicación de fertilizantes sólidos (Kara y Hofstee, 2000), sin embargo, la humedad relativa crítica de la mayoría de los fertilizantes disminuye con el aumento de la temperatura ambiente (De, 1989).

Por otro lado, diferentes trabajos locales han caracterizado el comportamiento de estas variables

meteorológicas de manera individual a través de valores medios diarios en cada mes. Por ejemplo, Merlotto y Piccolo (2009) caracterizaron la velocidad media diaria del viento a través de los meses del año, para distintas localidades del sudeste de Buenos Aires. Asimismo, hay trabajos que caracterizaron el comportamiento de las temperaturas máximas medias mensuales en una localidad del sudeste de Buenos Aires (San Martino *et al.*, 2002). Sin embargo, aunque esta información es de utilidad para conocer el comportamiento de las variables de manera diaria durante el año y/o comparar entre localidades, el análisis a escala diaria no permite identificar momentos del día con condiciones adecuadas para la aplicación de los agroquímicos. En este sentido, es conocido que las tres variables meteorológicas (*i.e.* velocidad del viento, humedad relativa y temperatura) que afectan la óptima aplicación de los agroquímicos presentan un patrón de variación a través de las horas, con máximos o mínimos (según la variable) en horas del mediodía/tarde; que se corresponden con la influencia de factores astronómicos y de atenuación de la atmósfera, así como también por fenómenos locales como por ejemplo el relieve o la presencia de fuentes de agua cercanas.

No existen registros publicados para el sudeste de Buenos Aires donde se hayan analizado las tres variables meteorológicas de manera conjunta, que permitan, a su vez, establecer la probabilidad de que ocurran condiciones adecuadas durante el día para la aplicación de los agroquímicos. Por ello, el objetivo de este estudio fue caracterizar la probabilidad de ocurrencia de condiciones micrometeorológicas óptimas para la aplicación de fitosanitarios por aspersión y fertilizante por proyección, en cada hora del día, para un establecimiento del sudeste de la provincia de Buenos Aires empleando una metodología de análisis de las condiciones óptimas para la aplicación que no fue utilizada previamente. Un análisis de este tipo (i) permitirá conocer la frecuencia de ocurrencia de limitaciones asociadas a condiciones meteorológicas no adecuadas para la aplicación de agroquímicos, y (ii) tiene el potencial de contribuir a la toma de decisiones de manejo en el largo plazo en el establecimiento.

METODOLOGÍA

Se recopiló información registrada por una estación meteorológica automática (DAVIS) en el establecimiento Estancia La Morocha (Balcarce), sudeste de la provincia de Buenos Aires (37°41'15,54"S, 58°37'10,46"O), para la serie de años 2006-2018. La información incluyó

datos de temperatura del aire, humedad relativa y velocidad del viento registrados cada 30 min a 2 m de altura.

Análisis de la información meteorológica

Los datos se filtraron a escala horaria y se agruparon por trimestres para el análisis. Se consideraron cuatro trimestres, de acuerdo con la variación de la radiación solar incidente durante el año (radiación) y las estaciones del año: (i) trimestre de alta radiación, (6 de noviembre al 4 de febrero), (ii) trimestre de radiación intermedia-Otoñal (5 de febrero al 6 de mayo), (iii) trimestre de baja radiación (del 7 de mayo al 4 de agosto) y (iv) trimestre de radiación intermedia-Primaveral (del 5 de agosto al 5 de noviembre).

Para caracterizar las distribuciones de la temperatura del aire, la humedad relativa y la velocidad del viento a lo largo de las horas del día se realizaron gráficos de cajas, categorizados en los cuatro trimestres antes definidos (i-iv).

Se definió como condición óptima para la aplicación de agroquímicos aquella en que la velocidad del viento es menor a 4 m s^{-1} , la temperatura del aire es menor a los $30 \text{ }^{\circ}\text{C}$ y humedad relativa superior al 20%. Con la base de datos se estimó, para cada trimestre en cada hora, la probabilidad de tener condición óptima mediante la proporción de datos que satisfacían dicha condición. Además, se estimaron intervalos de aproximadamente 95% de confianza para dicha probabilidad. Debido a que el viento es un factor con registros muy cercanos al límite de condiciones óptimas de aplicación en el sudeste de Buenos Aires, también se definió una categoría cuasi óptima que reflejaba sólo la condición de viento permitiendo velocidades de hasta 5 m s^{-1} y se repitieron las estimaciones antes mencionadas. Los gráficos de las estimaciones obtenidas se realizaron con el programa R (R Core Team, 2020).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Comportamiento de las variables meteorológicas

La temperatura del aire siguió el mismo patrón a través de las horas del día en los cuatro trimestres evaluados (*i.e.* trimestre de alta radiación, de radiación intermedia-Otoñal, de baja radiación y de radiación intermedia-Primaveral), registrándose las mayores temperaturas entre las 14 h y las 17 h (Figura 1). Esto concuerda con el desfase entre el mayor ángulo de elevación solar (cerca del mediodía) y el posterior calentamiento del aire mediante la transferencia de flujos de calor (Murphy y Hurtado, 2011). En este rango horario,

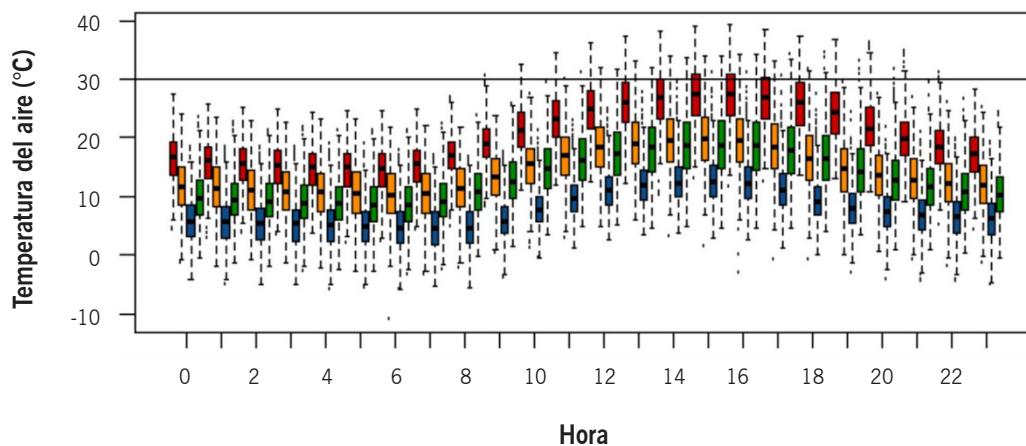


Figura 1. Diagrama de caja que muestra la temperatura exterior (del aire) por hora para cada trimestre en base a datos registrados en la Estancia La Morocha (Balcarce). En rojo: trimestre de alta radiación (6 de noviembre al 4 de febrero); en naranja: trimestre de radiación intermedia-Otoñal (5 de febrero al 6 de mayo); en verde: trimestre de radiación intermedia-Primaveral (del 5 de agosto al 5 de noviembre); en azul: trimestre de baja radiación (del 7 de mayo al 4 de agosto). Los puntos negros indican la temperatura del aire promedio de la serie para cada trimestre y hora. La línea negra horizontal marca el límite superior de la temperatura óptima la aplicación del agroquímico (30 °C).

los mayores valores de temperatura correspondieron al trimestre de alta radiación (noviembre a febrero) y los menores al trimestre de baja radiación (mayo a agosto) (Figura 1). En concordancia con el mayor ángulo de elevación solar y la mayor duración del día, en promedio para la estación de verano la temperatura media registró valores cercanos a los 30 °C en el rango horario de 14 h a 17 h, correspondiéndose con el límite térmico establecido para las condiciones óptimas de aplicación de fitosanitarios.

La humedad relativa a través de las horas del día (Figura 2) presentó un comportamiento opuesto al de la

temperatura del aire (Figura 1), con menores valores en horas de la tarde respecto de los de la mañana y noche (Figura 2). En este sentido es conocido que mayores temperaturas incrementan la capacidad del aire de contener vapor de agua y resultan en menores humedades relativas (Murphy y Hurtado, 2011). Por esta razón, los mínimos valores de humedad relativa durante el día fueron menores en el trimestre de mayor temperatura respecto del de menor temperatura (Figura 2). A su vez, los menores valores medios de humedad relativa permanecieron por encima y alejados del 20% establecido como límite para una adecuada aplicación

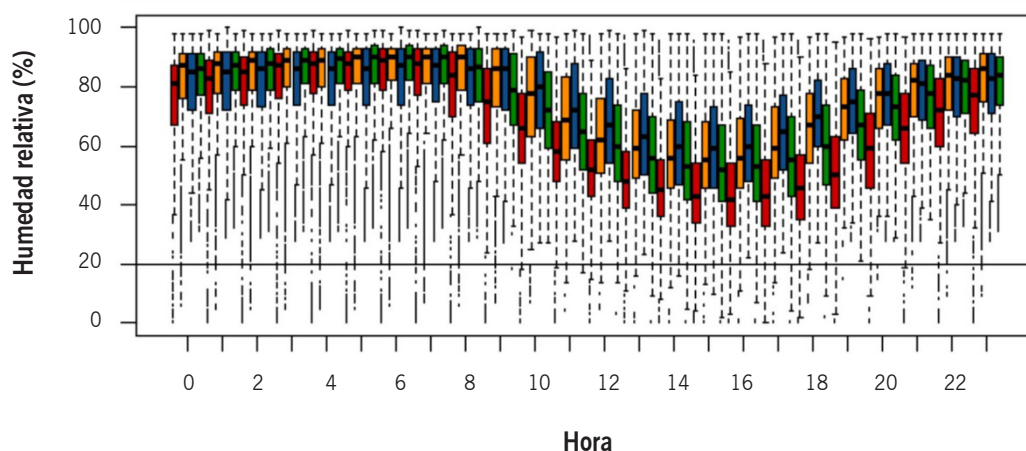


Figura 2. Diagramas de caja de la humedad relativa por hora para cada trimestre en base a datos registrados en la Estancia La Morocha (Balcarce). En rojo: trimestre de alta radiación (6 de noviembre al 4 de febrero); en naranja: trimestre de radiación intermedia-Otoñal (5 de febrero al 6 de mayo); en verde: trimestre de radiación intermedia-Primaveral (del 5 de agosto al 5 de noviembre); en azul: trimestre de baja radiación (del 7 de mayo al 4 de agosto). Puntos negros rellenos indican la humedad relativa promedio de la serie para cada trimestre y hora. La línea continua negra horizontal, marca el límite inferior de la humedad relativa óptima para la aplicación del agroquímico (20%).

de agroquímicos (Figura 2).

La velocidad del viento tendió a ser mayor entre las 10 h y las 18 h en todos los trimestres (Figura 3). En este rango horario la velocidad del viento se encontró por encima del valor de velocidad de viento máxima establecida para una aplicación óptima, presentando mayores valores en el trimestre de baja radiación que en el de alta radiación. En el resto de las horas, la velocidad del viento fue similar al máximo establecido como límite para una óptima aplicación. En la macroescala (*i.e.* miles de kilómetros a todo el globo), la velocidad del viento está afectada por variaciones en la temperatura que resultan en presiones atmosféricas contrastantes y originan el desplazamiento horizontal del aire. A la vez, en la micro y mesoescala (*i.e.* de centímetros a cientos de kilómetros) las fuerzas de rozamiento en la superficie tienen un efecto sobre el desplazamiento horizontal y vertical del aire (Murphy y Hurtado, 2011). En este sentido, otros factores, como la turbulencia y humedad, pueden afectar en gran medida el movimiento de gotas finas (menores a 180 micrones) en el plano vertical (Enz *et al.*, 2017). La dispersión de las gotas de pulverización aumenta a medida que aumenta la intensidad de la turbulencia y una deriva de fitosanitarios se extenderá más en el plano vertical y horizontal (Nuytens, 2007). Por otra parte, Smith *et al.* (2004) evaluaron la distribución del fertilizante en tres velocidades y dirección de viento distintas, encontrando como resultados coeficientes de variación más altas con aplicaciones de viento cruzado. Resultados similares fueron publicados por Grafton *et*

al. (2015), indicando que aplicaciones de fertilizantes por proyección realizada en vientos de alrededor de 6 m s⁻¹ puede resultar en un rayado o acumulación en áreas específicas.

De lo anteriormente expuesto, se destaca que, en el establecimiento caracterizado, la velocidad del viento es la principal variable meteorológica limitante para una adecuada aplicación de agroquímicos en todos los trimestres y en particular entre las 10 h y las 18 h.

Análisis combinado de las variables meteorológicas

A partir del análisis combinado de las tres variables meteorológicas se pudo establecer que las probabilidades de condiciones óptimas serían inferiores al 50% en prácticamente todos los trimestres y horarios (Figura 4a). Desde las 0 h hasta las 7 h de la mañana estas probabilidades se mantuvieron entre 30% y 50% siendo en el trimestre de radiación intermedia-Otoñal (5 de febrero al 6 de mayo) más cercanas al 50%. A partir de las 7 h hasta las 11 h las probabilidades descendieron. El rango de horario con menores probabilidades de encontrar condiciones óptimas se presenta entre las 11 h y 17 h. En este rango las probabilidades se mantuvieron cercanas al 10% en el trimestre de radiación intermedia-Primaveral, y los trimestres de baja y alta radiación. En el trimestre de radiación intermedia-Otoñal las probabilidades mejoran a un 20%. A partir de las 16 h y hasta las 20 h, en todos los trimestres se observó un aumento de las probabilidades de ocurrencia de la condición óptima. Nuevamente el trimestre de radiación intermedia-Otoñal alcanzó rápidamente una probabilidad

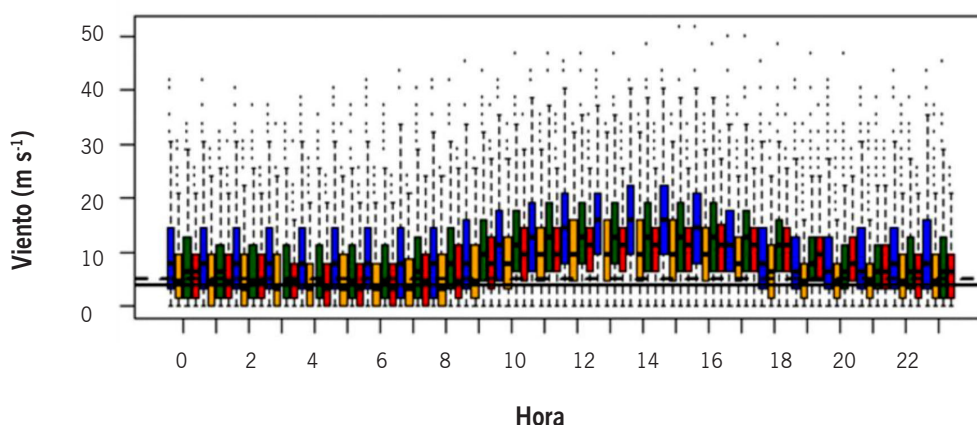


Figura 3. Diagramas de caja de la velocidad del viento (m s⁻¹) para cada trimestre en base a datos registrados en la Estancia La Morocha (Balcarce). En rojo: trimestre de alta radiación (6 de noviembre al 4 de febrero); en naranja: trimestre de radiación intermedia-Otoñal (5 de febrero al 6 de mayo); en verde: trimestre de radiación intermedia-Primaveral (del 5 de agosto al 5 de noviembre); en azul: trimestre de baja radiación (del 7 de mayo al 4 de agosto). Puntos negros rellenos indican el viento promedio de la serie para cada trimestre y hora. La línea continua negra horizontal, marca el límite superior de las velocidades de viento óptimas para la aplicación. La línea entrecortada negra horizontal, marca el límite superior de las velocidades de viento subóptimas para la aplicación (25% superior al óptimo).

del 45% a las 19 h y se mantuvo hasta las 23 h, seguido por el intervalo de baja radiación, aunque este sólo llegó al 30% en el mismo horario. Los períodos alta radiación e intermedio primaveral también alcanzaron una probabilidad del 30% pero más tarde, 21 h.

La probabilidad de condiciones cuasi óptimas (donde la velocidad límite del viento asciende a 5 m s^{-1}) fue significativamente superior en todos los trimestres y horarios respecto de las probabilidades de condiciones óptimas (Figura 4b). Más allá de esta diferencia, se observó en general el mismo patrón a lo largo del día que el descrito para las probabilidades de condición óptima (Figura 4b vs 4a).

En resumen, los resultados obtenidos en este trabajo permiten identificar tres rangos de relevancia para la definición de la aplicación de un agroquímico:

- (i) En el rango horario de 11 h a 17 h, las condiciones óptimas para la aplicación se presentaron en menos del 15% de los días en todos los trimestres, excepto por el período otoñal (*i.e.* el trimestre de radiación intermedia-Otoñal) donde llegó al 20%.
- (ii) El rango horario con mayor porcentaje de días con condiciones óptimas para la aplicación fue entre las 4 h y 7 h en el trimestre de radiación intermedia-Primaveral sin diferencias con el trimestre de mayor radiación (45% de los días de ese trimestre con condiciones óptimas).
- (iii) En primavera el horario de rango óptimo ocurrió entre las 5 h y 9 h (con alrededor del 35% de los días) y en el trimestre de baja radiación, en el rango de horario de 18 h a 20 h con un 20 a 30% de los días.

Este estudio se enfocó en definir los rangos horarios en los que se obtendría la mayor probabilidad de días con condiciones óptimas (y cuasi óptimas) para la aplicación de fitosanitarios en función de las condiciones meteorológicas (Figura 4). Sin embargo, factores asociados a la disposición de las hojas de un cultivo (mayor o menor incidencia de la radiación solar) pueden influenciar la calidad de la aplicación. En este sentido, De Moura *et al.* (2015) evaluaron aplicaciones para el control de roya asiática de la soja (*Phakopsora pachyrhizi*), encontrando distintas respuestas de control en distintos horarios de aplicación por la posición de las hojas. Por lo tanto, futuras investigaciones deberían analizar aspectos relacionados con características de los cultivos. Por otra parte, para aplicaciones de fertilizantes no se encuentra en la bibliografía trabajos asociados a este análisis.

CONCLUSIONES

Los resultados de este trabajo permitieron caracterizar las condiciones meteorológicas de la Estancia La Morocha, ubicada en la localidad de Balcarce del sudeste de bonaerense, en relación a las probabilidades de ocurrencia de condiciones óptimas para la aplicación de agroquímicos (fitosanitarios y fertilizantes). Estas serían, en general, de una baja frecuencia de días por trimestre, observándose las mayores probabilidades en horas de la mañana (0 h y 7 h) y las menores entre las 11 h y 18 h. Este conocimiento puede resultar útil para la planificación de las actividades en los establecimientos de la zona.

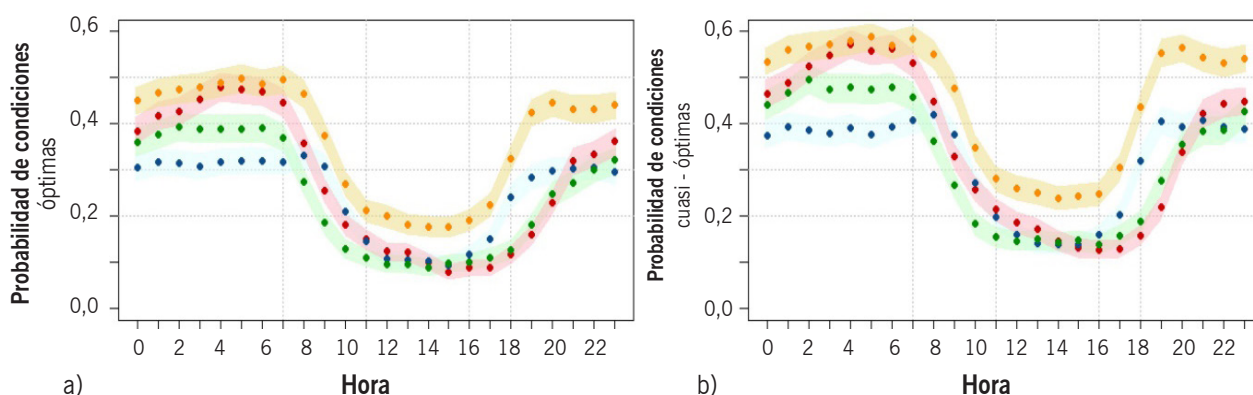


Figura 4. Evolución de la probabilidad estimada de condición óptima (a) y cuasi-óptima (b) en función de las horas para cada trimestre en base a datos registrados en la Estancia La Morocha (Balcarce). En rojo: trimestre de alta radiación (6 de noviembre al 4 de febrero); en naranja: trimestre de radiación intermedia-Otoñal (5 de febrero al 6 de mayo); en verde: trimestre de radiación intermedia-Primaveral (del 5 de agosto al 5 de noviembre); en azul: trimestre de baja radiación (del 7 de mayo al 4 de agosto). Las áreas sombreadas muestran las estimaciones de dichas probabilidades por intervalos de 95%.

BIBLIOGRAFÍA

- Andrade, F. H. (2020). *Los desafíos de la agricultura global*. Ediciones INTA.
- Aphale, A., Bolander, N., Park, J., Shaw, L., Svec, J. y Wassgren, C. (2003). Granular fertiliser particle dynamics on and off a spinner spreader. *Biosystems Engineering*, 85(3), 319-329. [https://doi.org/10.1016/S1537-5110\(03\)00062-X](https://doi.org/10.1016/S1537-5110(03)00062-X)
- ASABE Standards. (2009). S341.4: Procedure for measuring distribution uniformity and calibrating granular broadcast spreaders. St. Joseph, Mich.: ASABE.
- Billé, A. G. y Rogna, M. (2022). The effect of weather conditions on fertilizer applications: A spatial dynamic panel data analysis. *Journal of the Royal Statistical Society Series A: Statistics in Society*, 185(1), 3-36.
- Carlsen, S. C. K., Spliid, N. H. y Svensmark, B. (2006). Drift of 10 herbicides after tractor spray application. 2. Primary drift (droplet drift). *Chemosphere*, 64, 778-786. <http://dx.doi.org/10.1016/j.chemosphere.2005.10.060>.
- Carrancio, L. A. y Massaro, R. A. (2018). El Delta T (ΔT) como indicador del ambiente meteorológico para pulverizaciones. Estación Experimental Agropecuaria Oliveros, INTA.
- Combella, J. H., Westen, N. M. y Richardson, R. G. (1996). A comparison of the drift potential of a novel twin fluid nozzle with conventional low volume flat fan nozzles when using a range of adjuvants. *Crop Prot.*, 15(2), 147-152. [https://doi.org/10.1016/0261-2194\(95\)00089-5](https://doi.org/10.1016/0261-2194(95)00089-5)
- Csizmazia, Z. (2000). Some physical properties of fertiliser particles. *Aspects of Applied Biology*, 61, 219-226.
- De, D. (1989). Flow behaviour of chemical fertilizers as affected by their properties. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 42(4), 235-249.
- De Moor, A., Langenakens, J., Vereecke, E., Jaeken, P., Lootens, P. y Vandecasteele, P. (2000). Image analysis of water sensitive paper as a tool for the evaluation of spray distribution of orchard sprayers. *Asp. Appl. Biol.*, 57, 329-342.
- De Moura, B., Boller, W., Consoli, P. P. y Pizolotto, C. A. (2015). Horários de aplicação de fungicida e assistência à barra de pulverização para o controle de ferrugem-asiática da soja. Conbrat - Congresso Brasileiro de Fitossanidade, Águas de Lindóia - SP.
- Enz, J. W., Hofman, V. L. y Thostenson, A. (2017). *Air temperature inversions: causes, characteristics and potential effects on pesticide spray drift*. NDSU Extension Service.
- Felsot, A. S., Unsworth, J. B., Linders, J. B., Roberts, G., Rautman, D., Harris, C. y Carazo, E. (2010). *Agrochemical spray drift; assessment and mitigation - A review*, *J. Environ. Sci. Health B*, 46(1), 1-23 <https://doi.org/10.1080/03601234.2010.515161>
- Giles, D. K. y Downey, D. (2003). Quality control verification and mapping for chemical application. *Precis. Agric.*, 4(1), 103-124. <https://doi.org/10.1023/A:1021871207195>
- Grafton, M. C., Izquierdo, D. A., Yule, I. J., Willis, L. A. y Manning, M. J. (2015). *The effect of field conditions on in-field spread patterns from twin disk spreaders*. En: *2015 ASABE annual international meeting* (pp. 1). American Society of Agricultural and Biological Engineers.
- Hignett, T. P. (1985). Physical and chemical properties of fertilizers and methods for their determination. En: *Fertilizer manual* (pp. 284-316). Springer.
- Kara, M. y Hofstee, J. W. (2000). Factors affecting the flowability of fertilizers through orifices. *International Agrophysics*, 14(1).
- Merlotto, A. y Piccolo, M. C. (2009). Tendencia climática de Necochea-Quequén (1956-2006), Argentina. Instituto Universitario de Geografía Universidad de Alicante. *Investigaciones Geográficas*, 50, 143-167.
- Moshou, D., Deprez, K. y Ramon, H. (2004). Prediction of spreading processes using a supervised self-organizing map. *Mathematics and Computers in Simulation*, 65(1-2), 77-85. <https://doi.org/10.1016/j.matcom.2003.09.010>
- Murphy, G. y Hurtado, R. (2011). *Agrometeorología*. Editorial FAUBA. 426 p.
- Nuytens, D. (2007). Drift from field crop sprayers: the influence of spray application technology determined using indirect and direct drift assessment means. En: *Dissertationes de agricultura*. Katholieke Universiteit Leuven. Faculteit Bio-ingenieurswetenschappen. 267 p.
- Nuytens, D., De Schamphelaere, M., Baetens, K. y Sonck, B. (2007). The influence of operator-controlled variables on spray drift from field crop sprayers. *Transactions of the ASABE*, 50(4), 1129-1140.
- Oliveira, S. (2002). Efeito da chuva sobre a tenacidade e eficiência de fungicidas cúpricos associados ao óleo vegetal no controle da ferrugem do cafeeiro. *Fitopatol. Bras.*, 27(6), 581-585.
- R Core Team. (2020). R: a language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <https://www.R-project.org/>
- San Martino, S., Della Maggiora, A. y Monterubbianesi, G. (2002). El régimen de temperaturas máximas y mínimas y amplitudes térmicas en Balcarce (Argentina) y su relación con el ENOS y la ocurrencia de precipitaciones. *Rev. Arg. Agrometeorología*, 2(1), 89-96.
- Satorre, E. H. y Andrade, F. H. (2021). Cambios productivos y tecnológicos de la agricultura extensiva argentina en los últimos quince años. *Cienc. Hoy*, 29, 19-27.
- Salyani, M. y Cromwell, R. P. (1992). Spray drift from ground and aerial applications. *Transactions of the ASAE*, 35(4), 1113-1120.
- Smith, D. B., Willcutt, M. H., Doler, J. C. y Diallo, Y. (2004). Uniformity of granular fertilizer applications with a spinner truck. *Applied Engineering in Agriculture*, 20(3), 289.
- Thaper, R. K. (2014). Effect of vane shape and fertilizer product on spread uniformity using a dual-disc spinner spreader (Doctoral dissertation). Auburn University.
- Tepper, G. (2012). *Weather essentials for pesticide application*. Grains Research & Development Corporation.
- Tourn, S., Platz, P., Mur, M., Merani, V., Larrieu, L., Guilino, F. D., Giambelluca, L., Vázquez, J. M. y Balbuena, R. (2021). Calidad de aplicación de fertilizante sólido. Caracterización de la técnica y maquinaria utilizada en Argentina. *Horizonte A*, 135, 7-11.

- Turan, J., Findura, P., Djalovic, I., Sedlar, A., Bugarin, R. y Janic, T. (2011). Influence of moisture content on the angle of repose of nitrogen fertilizers. *International Agrophysics*, 25(2).
- Villalba, J. y Hetz, E. (2010). Deriva de productos agroquímicos - Efecto de las condiciones ambientales. En: Magdalena, J. C. *et al.* (Coord.). *Tecnología de aplicación de agroquímicos* (pp. 45- 54). CYTED, Red "PULSO". Área de comunicaciones del INTA.
- Villette, S., Piron, E., Martin, R., Miclet, D., Boilletot, M. y Gée, C. (2010). Measurement of an equivalent friction coefficient to characterise the behaviour of fertilisers in the context of centrifugal spreading. *Precision Agriculture*, 11(6), 664-683. <https://doi.org/10.1007/s11119-010-9192-3>