

Evaluación de las condiciones meteorológicas para la aplicación de fitosanitarios en la provincia de Entre Ríos, Argentina

C. G. Sedano, C. A. Aguirre y G. A. Rondán

RESUMEN

En el presente trabajo se analizan tres manuales de Buenas Prácticas Agrícolas en relación a las condiciones meteorológicas del año 2018 correspondientes a las ciudades de Paraná, Gualeguaychú y Concordia, Entre Ríos. Del análisis surge que considerando las condiciones propuestas para la aplicación de fitosanitarios según el manual de AAPRESID-REM el valor de horas disponibles para la aplicación es mayor que el que corresponde a las condiciones aconsejadas por FAO. Además, se analizó la incidencia de la humedad relativa (HR) en el proceso de evaporación de gotas utilizando herramientas de simulación computacional de los procesos micro-físicos en el spray de eyeción. Se observó que los diámetros de gotas de aproximadamente $25\mu\text{m}$ se evaporan antes de recorrer los 0,02m. Los casos simulados corresponden a situaciones reales que se registraron en Paraná. Éstos consisten en situaciones en las cuales los valores de temperatura y humedad están dentro y fuera de los rangos aconsejados en los manuales. Se obtuvo la mayor evaporación cuando la HR fue de 23% y la temperatura de bulbo seco (T_d) de 38°C , donde se evaporan gotas de hasta $81,8\mu\text{m}$. La menor proporción de gotas evaporadas se obtuvo con una $\text{HR}=93\%$ y $T_d=26,2^\circ\text{C}$, evaporándose las gotas menores de $29,2\mu\text{m}$.

Palabras clave: BPA; pulverización; agroquímicos; simulación

C. G. Sedano, C. A. Aguirre and G. A. Rondán, 2021. Evaluation of meteorological conditions for application of phytosanitary products in the Entre Ríos province, Argentina. RADA XII: 47-60

SUMMARY

This paper analyzes three manuals of Good Agricultural Practices in relation to meteorological conditions of the year 2018, corresponding to Paraná, Gualeguaychú and Concordia cities of Entre Ríos. The analysis shows that considering the proposed conditions for the application of phytosanitary products according to the AAPRESID-REM manual, the number of hours available for application is higher than the one that corresponds to the conditions recommended by FAO. In addition, the impact of relative humidity (RH) on the

droplet evaporation process was analysed using computational simulation tools of the micro-physical processes in the ejection spray. It was observed that droplet diameters of approximately 25 µm evaporate before reaching 0.02 m. The simulated cases correspond to real situations that were recorded in Paraná. These consist of situations in which temperature and humidity values are within and outside the ranges recommended in the manuals. The highest evaporation was obtained when RH was 23 % and the dry bulb temperature (T_d) was 38°C, where droplets of up to 81.8 µm evaporated. The lowest proportion of evaporated droplets was obtained with RH = 93% and $T_d = 26.2^\circ\text{C}$, with droplets smaller than 29.2 µm evaporating.

Key words: BPA; ovulverization; agrochemicals; simulation

C. G. Sedano: Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Entre Ríos. C. A. Aguirre y G. A. Rondán: Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Entre Ríos. Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET). Ruta Provincial 11, km 10,5. Oro Verde, Entre Ríos. Argentina. Correspondencia a: carlos.sedano@fca.uner.edu.ar

INTRODUCCIÓN

En la República Argentina, la economía vinculada a los cultivos agrícolas representa el 6,3% del PIB nacional (BCRA, 2018). Atendiendo esta importancia económica, el Ministerio de Agroindustrias de la Nación presentó un relevamiento contenido en un conjunto de pautas que se deben tener en cuenta para la aplicación de productos fitosanitarios en áreas periurbanas, titulado: Pautas sobre aplicaciones de productos fitosanitarios en áreas periurbanas, en el marco de las 'buenas prácticas agropecuarias' (MAGyP, 2013), sin brindar precisiones respecto a las condiciones meteorológicas para la aplicación de fitosanitarios.

En la provincia de Entre Ríos, la Ley de Plaguicidas N°6.599 (1980), y sus normas complementarias y reglamentarias, establecen las condiciones para la comercialización, aplicación, transporte y almacenamiento de productos fitosanitarios en la jurisdicción.

De los 18 documentos que constituyen dicho digesto provincial, en 2 de ellos se indica la obligatoriedad de registrar, en la receta agronómica, la velocidad y dirección del viento a fin de evitar la deriva de las pulverizaciones cuando la aplicación se realice en proximidad de cursos de agua (Resolución N° 49 SAAyRN, 2004) y galpones de producción avícola (Resolución N° 19 SAAyRN, 2006).

Asimismo, el Decreto Provincial N° 2.239 (2019), en su artículo 5º, establece que los tratamientos que se realicen en proximidad a escuelas rurales "... Se llevarán a cabo aplicando las Buenas Prácticas Fitosanitarias y la Guía de Uso Responsable de

Agroquímicos...".

Atendiendo la importancia técnica que poseen las denominadas "Buenas Prácticas Agrícolas" para la aplicación de fitosanitarios en la República Argentina, en general, y en la provincia de Entre Ríos, en particular, en el presente trabajo se analizaron tres fuentes bibliográficas que, por su trayectoria, son consideradas en el ámbito técnico, teniendo en cuenta los datos meteorológicos del año 2018 registrados en las estaciones del Servicio Meteorológico Nacional de las localidades de Concordia, Gualeguaychú y Paraná, Entre Ríos. Este año fue analizado particularmente debido a que se presentó como uno de los más cálidos comparándolos con la serie climática 1981-2010. Según un reporte de la Organización Meteorológica Mundial (OMM) se revela que la temperatura media mundial en 2018 superó aproximadamente 1°C (con un margen de error de $\pm 0,13^\circ\text{C}$) a la de la era preindustrial (1850-1900) y fue superior en aproximadamente 0,38 °C ($\pm 0,13^\circ\text{C}$) a la media a largo plazo del período 1981-2010 (estimada en 14,3 °C) (OMM, 2019). El objetivo del presente análisis comparativo es el de determinar el tiempo en horas durante el año 2018 en que esta práctica ha podido ser realizada bajo las normas establecidas en dichos manuales. Posteriormente, se simuló la eyección de gotas de boquilla HARDI™ ISO F 110-03 (Sedano et al.; 2019, 2020), considerando condiciones meteorológicas de temperatura y humedad que favorezcan la evaporación y, por el contrario, que no la favorezcan, a fin de determinar el rango de diámetros de gotas evaporadas antes de que se alcance la superficie objetivo de la aplicación.

MATERIALES Y MÉTODOS

1. Manuales de Buenas Prácticas Agrícolas (BPA) para la aplicación terrestre de fitosanitarios

A fin de realizar el análisis de los diferentes manuales de BPA para la aplicación de fitosanitarios, se consideran los tres principales manuales vigentes en la actualidad:

- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), Guías sobre Buenas Prácticas para la Aplicación Terrestre de Plaguicidas, Roma (FAO, 2002).
- Red de Buenas Prácticas Agrícolas (RED BPA), Buenas Prácticas Agrícolas: Directivas y requisitos para cultivos extensivos (2015) (BPA, 2015).
- Manejo de malezas resistentes - Calidad de aplicación de herbicidas - Bases para lograr un tratamiento eficiente (AAPRESID-REM, 2018).

De acuerdo a las recomendaciones establecidas por FAO en la aplicación aérea de fitosanitarios (FAO, 1988) y ratificada por (FAO, 2002), las condiciones ideales para la aplicación del fitosanitario mediante un equipo terrestre se presentan cuando la velocidad del viento se encuentra entre $3 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ ($0,83 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$) y $7 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ ($1,94 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$) como se observa en la Tabla 1.

Tabla 1. Condiciones de viento establecidas por la FAO (2002) para la aplicación de herbicidas.

| Descripción | Velocidad aproximada del aire (m/s) | Decisión de pulverización |
|--------------|-------------------------------------|---|
| Calma | 0,55 – 0,83 | No aplicar |
| Aire ligero | 0,83 – 1,94 | No aplicar |
| Brisa ligera | 1,94 – 2,78 | Condiciones ideales para la pulverización |
| Brisa suave | 2,78 – 4,17 | Evitar la pulverización |

Sin embargo, la RED BPA (2015) establece un rango comprendido entre $5 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ ($1,39 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$) y $15 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ ($4,17 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$), que es sensiblemente mayor al que aconseja FAO (2002) y coincide con el que propone APRESID-REM (2018), indicando las potenciales consecuencias de la aplicación por fuera de los rangos establecidos.

Respecto a la temperatura, FAO (2002) no establece rangos para la aplicación de fitosanitarios mediante equipo terrestre, sin embargo, hace referencia a la humedad del aire. En tal sentido recomienda que la diferencia de temperaturas registradas por un psicrómetro de

ventilación natural en casilla meteorológica ($\Delta T = T_d - T_w$) no debe superar los 8°C (FAO, 1988), donde T_d es la temperatura del termómetro de bulbo seco y T_w es la temperatura del termómetro de bulbo húmedo. La RED BPA (2015) establece que las aplicaciones deben realizarse cuando la humedad relativa (HR) se encuentre por encima del 50% y T_d sea menor a 25°C . Por otra parte, AAPRESID-REM (2018) presentan el gráfico de T_d respecto a la HR (Figura 1) en la cual se observa que la temperatura más elevada para aplicaciones sin restricción es de 35°C , con $80\% \leq HR < 100\%$. Asimismo, recomienda no realizar aplicaciones cuando la $HR \approx 100\%$ "...por riesgo de lluvia y lavado de agroquímicos..." no obstante, desde el punto de vista meteorológico, se pueden registrar lluvias con valores de $HR \geq 90\%$ o bien que la $HR \approx 100\%$ sin ocurrencias de lluvias.

De igual manera, AAPRESID-REM (2018) establece un rango entre $2^\circ \text{C} \leq \Delta T \leq 8^\circ \text{C}$ "para aplicaciones agrícolas de calidad sin restricciones ambientales". Lamentablemente, no se encuentra debidamente definido el concepto de "calidad", lo que impide tomar decisiones con criterio científico.

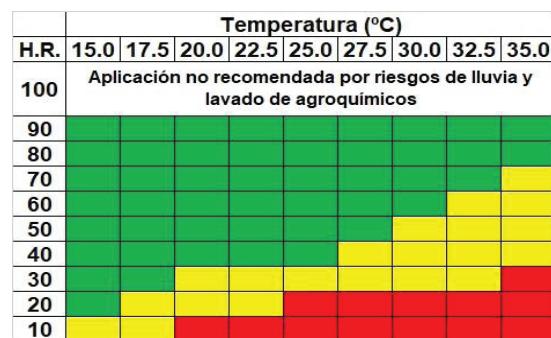


Figura 1. Combinaciones de valores de humedad relativa y temperatura, dan las diferentes condiciones para aplicar (verde: aplicación sin restricción, amarillo: aplicación con restricciones y rojo: no aplicar). Fuente AAPRESID REM, 2018.

Resulta importante remarcar que, pese a la trascendencia técnica que adquieren los citados manuales, únicamente la Guías sobre Buenas Prácticas para la Aplicación Terrestre de Plaguicidas, publicada por FAO (2002) presenta un autor responsable, Alan Leavers. Asimismo, el documento presentado por RED BPA (2015) no presenta autor o responsable técnico firmante. Por otra parte, el documento presentado por AAPRESID-REM (2018) posee como autores a "Gota Protegida y REM".

2. Datos de las estaciones meteorológicas de la provincia de Entre Ríos y su análisis estadístico

Con el objeto de cuantificar la incidencia de las condiciones meteorológicas en la aplicación de fitosanitarios para el año 2018 se realiza, en primer lugar, un análisis estadístico para comparar las variables meteorológicas que se mencionan en dichos manuales con la serie de datos climáticos 1981-2010. Estos datos fueron solicitados al Centro de Información Meteorológico del Servicio Meteorológico Nacional de la República Argentina (SMN, 2019) para las estaciones meteorológicas de aeródromo ubicadas en los aeropuertos de las ciudades de Paraná (31°47'S; 60°29'O), Gualeguaychú (33°00'S; 58°37'O) y Concordia (31°18'S; 58°01'O), de la provincia de Entre Ríos, Argentina (Figura 2). Los datos proporcionados por el SMN corresponden a observaciones cuatridiurnas desde 1981 hasta 1990 y horarias a partir de 1990 y hasta 2010. Los mismos corresponden a Temperatura del aire, Viento (velocidad y dirección), Humedad relativa del aire, Presión atmosférica y Precipitaciones.

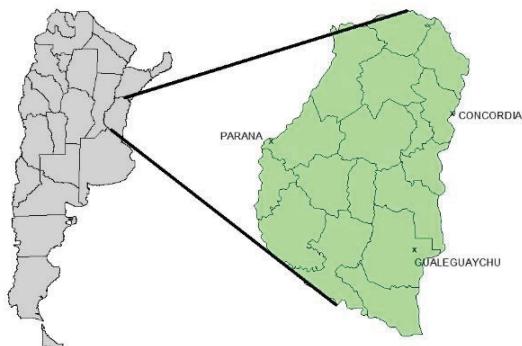


Figura 2. Ubicación de las estaciones seleccionadas: Paraná (31°47'S; 60°29'O), Gualeguaychú (33°00'S; 58°37'O) y Concordia (31°18'S; 58°01'O). Fuente: SMN, 2018.

El análisis de datos consistió en una comparación de dos muestras considerando la serie climática 1981-2010 en relación a las que se registraron durante el año 2018. Se obtuvieron, en primer lugar, los descriptivos: Promedio, Mediana, Moda, Desvío Estándar, Coeficiente de Variación, Valores Mínimo y Máximo de las series, Cuartiles Inferior y Superior (Primer y Tercer Cuartil), Rango Intercuartílico, Sesgo Estandarizado y Curtosis Estandarizada. Las Tablas 3, 4 y 5 presentan un resumen de estos valores para las variables T_d , HR e Intensidad del Viento que son las de mayor relevancia según los manuales de BPA.

Se realizaron test de hipótesis para las varianzas usando el estadístico F de Snedecor con el fin de determinar si es posible considerar que ambas muestras presentan varianzas iguales o diferentes. Con este análisis se procedió a realizar el test de hipótesis de la diferencia de medias muestrales usando la distribución t de Student. Además, se obtuvieron intervalos de confianza del 95% para el cociente de varianzas y la diferencia de medias. Por último, se realizaron las pruebas de Kolmogorov-Smirnov para comparar las distribuciones de las dos muestras (serie climática 1981-2010 y año 2018) con el fin de determinar si existe diferencia estadísticamente significativa entre las dos distribuciones de cada variable meteorológica analizada con un nivel de confianza del 95%. Los gráficos de Caja y Extensión para la T_d media anual, HR media anual y velocidad del viento media anual se muestran y se comparan con las que se obtuvieron para el año 2018 en las tres localidades entrerrianas.

3. Cálculo de las horas diurnas y nocturnas mensuales propicias para la aplicación de fitosanitarios

Con la finalidad de obtener la cantidad de horas mensuales en las cuales las condiciones meteorológicas fueron propicias para la aplicación de fitosanitarios por medio terrestre, según los manuales de BPA, para las tres localidades de la provincia de Entre Ríos, se realizó el cálculo de la hora de salida y puesta de sol incluidos los crepúsculos matutino y vespertino. La duración del día lumínico civil, también conocido como fotoperíodo, incluye los crepúsculos matutino y vespertino según la definición de crepúsculo civil que considera que el mismo comienza y termina cuando el sol se encuentra a 6° bajo la línea del horizonte. Esta duración del día fue computada para cada día del año y en cada una de las localidades mencionadas utilizando el algoritmo de Duffett-Smith (1983). Sumando estas duraciones del fotoperíodo en cada uno de los meses se obtienen las duraciones totales mensuales del mismo en cada localidad citada como se muestra en la Tabla 2. Como se mencionó anteriormente, en el caso particular de las recomendaciones realizadas por la FAO (FAO, 1988) para la humedad del aire, se hace mención a la diferencia psicrométrica ($\Delta T = T_d - T_w$) indicando que la misma no debe superar los 8°C. Como el valor de T_w no fue suministrado por el SMN, se obtuvo esta variable utilizando un algoritmo de resolución por iteraciones considerando la HR y la T_d :

$$T_d - T_w = \frac{e_{tw} - e_a}{a.p}$$

donde: $e_a = HR.e_{Td}$ es la tensión de vapor presente y $e_w = 6,108 \cdot \exp\left(\frac{17.27 \cdot T_w}{T_w + 237,3}\right)$ es la tensión de vapor a la temperatura de bulbo húmedo. De igual forma $e_{Td} = 6,108 \cdot \exp\left(\frac{17.27 \cdot T_d}{T_d + 237,3}\right)$ es la tensión de vapor de saturación del aire, p es la presión atmosférica a nivel de la estación en hPa y $a=0,0008$ es el coeficiente psicrométrico para ventilación natural.

De esta forma, es posible calcular e_s y e_a utilizando los datos proporcionados por el SMN. El algoritmo de resolución de la diferencia de temperaturas del psicrómetro $T_d - T_w$ se calculó por iteraciones resolviendo la ecuación implícita con un error menor a 0,01 °C:

$$T_d - T_w = \frac{6,108 \cdot \exp\left(\frac{17.27 \cdot T_w}{T_w + 237,3}\right) - e_a}{a.p}$$

Esta caracterización meteorológica de los valores medios mensuales de la temperatura y los totales mensuales de las precipitaciones del año 2018 para las estaciones de Paraná, Gualeguaychú y Concordia permite analizar las recomendaciones de los diferentes manuales de BPA para la aplicación terrestre de fitosanitarios en las tres localidades entrerrianas.

Tabla 2. Fotoperíodo en horas totales mensuales para las localidades de Paraná, Concordia y Gualeguaychú, Entre Ríos.

| | Paraná | Concordia | Gualeguaychú |
|------------|--------|-----------|--------------|
| Enero | 461,0 | 459,7 | 464,4 |
| Febrero | 394,4 | 393,6 | 396,3 |
| Marzo | 405,9 | 405,6 | 406,5 |
| Abril | 363,3 | 363,7 | 362,5 |
| Mayo | 352,0 | 352,8 | 350,0 |
| Junio | 330,0 | 331,0 | 327,4 |
| Julio | 346,1 | 347,1 | 343,8 |
| Agosto | 365,8 | 366,4 | 364,5 |
| Septiembre | 381,2 | 381,2 | 381,2 |
| Octubre | 425,4 | 424,8 | 427,0 |
| Noviembre | 439,3 | 438,1 | 442,2 |
| Diciembre | 468,8 | 467,3 | 472,5 |

4. Simulación de la evaporación de gotas eyectadas desde los picos de pulverización

Para la simulación del proceso de evaporación de las gotas eyectadas considerando diferentes

condiciones meteorológicas establecidas por los tres manuales de BPA, se partió del código euleriano provisto por ARPS (Advanced Regional Prediction System) desarrollado por CAPS (Center for Analysis and Prediction of Storms) y la Universidad de Oklahoma (USA), el cual utiliza para la resolución de las ecuaciones de balance de cantidad de movimiento, balance de masa y de energía, la técnica de la Simulación de las Grandes Escalas (LES). El código euleriano LES de diferencias finitas centradas en dirección horizontal e implícita de tipo Crank-Nicholson para la dirección vertical (Xue *et al.*, 1995) ha sido adaptado por Aguirre (2005) para la simulación de la dispersión de partículas fluidas acoplándose a un modelo estocástico de seguimiento lagrangiano STO. Sus resultados de concentración de partículas fueron validados con mediciones de un gas pasivo realizadas en túnel de viento por Fackrell y Robins (1982) para una superficie plana rugosa y por Gong (1991) en presencia de una colina de suave pendiente. Posteriormente, fue utilizado por Aguirre *et al.* (2006 a, b) para obtener una descripción de los fenómenos de dispersión atmosférica, difusión y reacciones químicas de especies en fases gaseosa, Aguirre *et al.* (2012) para la simulación de la pluma de dispersión de gases en un episodio de emisión con viento prevalente del este, Aguirre *et al.* (2013) para una situación de dispersión de olores desde un basural a cielo abierto en la localidad de Paraná, Argentina. Posteriormente, Aguirre *et al.* (2014 a) incorpora un acople del modelo LES-STO con el Modelo de Capa Límite Atmosférica de Meso-escala (MCLM) propuesto por Berri (1987) a fin de tener en cuenta las variaciones de la circulación de viento durante un día en la región del Río de la Plata considerando condiciones de borde variables con el tiempo. Aguirre *et al.* (2014 b) contrastan los resultados de este modelo con mediciones de concentración de partículas de metales en cercanías de una planta de fundición en Tucumán (Argentina) que funcionó durante 24 años, realizadas por Fernandez-Turiel *et al.* (2001). Además, Aguirre *et al.* (2014 a) presentan el modelo LES-STO para la dispersión de partículas sólidas de diámetros del orden de las decenas de micrón. Orcellet *et al.* (2016) utiliza este modelo acoplado para representar la dispersión atmosférica de Total de Azufre Reducido (TRS) emanados desde la planta de fabricación de celulosa durante varios días, contrastando los resultados de las simulaciones con reportes de olores de autoridades del Programa de Monitoreo Ambiental de la Comisión Administradora Binacional (Argentina-Uruguay). Otros autores utilizaron este modelo acoplado para dispersión de

partículas líquidas (Vinkovic *et al.*, 2006) y partículas sólidas en movimiento de salto o suspensión en túnel de viento (Vinkovic *et al.*, 2006). Sedano *et al.* (2019), determinan la velocidad de eyeción, coeficiente de arrastre y distancia que deben recorrer las gotas hasta alcanzar la velocidad de sedimentación simulando la eyeción desde una boquilla HARDI™ ISO F110-03 respecto a pruebas realizadas por Nuytten (2007), bajo estándar ISO 22866:2005. Posteriormente, Sedano *et al.* (2020) validan la evaporación de gotas respecto a pruebas realizadas en túnel de viento por Williamson y Threadgill (1974) y presentan un modelo de colisión binaria con generación de gotas satélite. En el presente trabajo, se utilizó el modelo validado de evaporación de gotas sin considerar la colisión binaria y en condiciones de viento calmo.

4.1. Modelo Acoplado Eulero - Lagrangiano

4.1.1. Modelo de Evaporación de gotas.

Cuando una gota es eyectada desde el pico de una pulverizadora, la misma comienza un proceso de transferencia de masa y calor por convección y advección con el medio fluido que la transporta. Este proceso dependerá, tanto de las propiedades del líquido eyectado como así también de las condiciones meteorológicas del ambiente donde se realiza la aplicación. Partiendo del modelo de evaporación de gotas propuesto por Williamson y Threadgill (1974), Sedano *et al.* (2020), propone un modelo que incorpore los estados transitorios y de sedimentación descritos por Sjenitzer (1952):

$$\frac{d(d)}{dt} = -\frac{4M_g \gamma_e \Delta P}{\rho_w R_d d T_f} Sh$$

donde,

$$\Delta P = e_{tw} - (HR \cdot e_{Td})$$

T_f : Temperatura de la película de aire:

$$T_f = \frac{(T_d + T_w)}{2}$$

d: Diámetro de la gota

e_{Td} : Presión de saturación de vapor a temperatura ambiente.

e_{tw} : Presión de saturación de vapor a la temperatura del bulbo húmedo.

HR: Humedad Relativa

ρ_w : Densidad de agua

γ_e : Difusividad del vapor de agua en el aire.

$$\gamma_e = 2,5007 e^{-5(\frac{T_d}{\Delta T})^{1.94}} \cdot p$$

donde,

$$\Delta T: T_d - T_w$$

$$T_d: [K]$$

$$p: [Atm]$$

Sh: El número de Sherwood, definido por Williamson & Threadgill (1974) como:

$$Sh = 1 + 0,276(R_e)^{(1/2)}(Sc)^{(1/3)}$$

siendo,

$$Sc = \frac{v_v(Td)}{\gamma_e}$$

el número adimensional de Schmidt

donde,

$v_v(Td)$: Viscosidad cinemática del aire, que es función de la temperatura de bulbo seco.

4.1.2. Modelo Euleriano (ARPS) - Condiciones Meteorológicas

El código ARPS está diseñado para resolver las ecuaciones de balance de masa, cantidad de movimiento, energía y los escalares transportados por el viento como vapor de agua, agua en estado líquido y sólido. ARPS resuelve sistemas de ecuaciones en cada nodo del malla de cálculo euleriano y en cada paso de tiempo de la simulación, por lo cual se obtiene una descripción espacio-temporal de las variables meteorológicas.

Las variables eulerianas, necesarias para simular la evaporación, que son tomadas de ARPS para cada posición de las gotas y en cada instante de tiempo, son la presión (p), temperatura potencial (θ) y la humedad específica del aire (q_a).

Los valores de las variables utilizadas para la resolución de la ecuación (3) son obtenidos desde el modelo euleriano ARPS para cada posición de la gota en cada paso de tiempo de la simulación.

A partir de (p), (θ) y (q_a) y se expresan las magnitudes de la ecuación 3

$$HR = \frac{e_a}{e_{Td}}$$

Donde, e_a es la presión de vapor presente en Pa:

$$e_a = \frac{q_v \cdot p}{0,622}$$

$$e_{Td} = 610,8 \cdot e^{\left[\frac{17,27 \cdot T_d}{T_d + 237,3} \right]}$$

$$T_d = \theta \cdot \Pi$$

Donde, Π es la función de Exner:

$$\Pi = \left(\frac{p}{p_0} \right)^{\frac{R_p}{C_p}}$$

Siendo, C_p calor específico a presión constante y p_0 la presión de referencia. ARPS toma como presión de referencia $p_0=100.000 \text{ P}_a$.

Las magnitudes de las variables e_{T_w} y T_w se calcularon conforme a los descrito en la sección 3.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados de la comparación entre la serie climática de datos meteorológicos 1981-2010

respecto de los datos registrados durante el año 2018 para las estaciones de Paraná, Concordia y Gualeguaychú se muestran en las Tablas 3, 4 y 5 respectivamente.

Puede apreciarse que la temperatura media anual del año 2018 fue superior a la normal climática en las tres estaciones, registrando en Paraná una anomalía de +0,48 °C, en Concordia +0,32 °C y en Gualeguaychú +0,02 °C. La HR del año 2018, por el contrario, fue menor a la normal climática en Paraná, registrando una anomalía de -1,54%, mayor en Concordia +1,1% y también mayor en Gualeguaychú +0,75%. En lo que respecta a la velocidad del viento, se observa una anomalía positiva en las tres localidades para el año 2018

Tabla 3. Resumen Estadístico de datos anuales de la Estación Meteorológica Paraná. Comparación del año 2018 con datos de la serie climática 1981-2010.

| Valores anuales | Temperatura 1981-2010 | Temperatura 2018 | HR % 1981-2010 | HR % 2018 | Intensidad Viento km/h 1981-2010 | Intensidad Viento km/h 2018 |
|--------------------------|-----------------------|------------------|----------------|-----------|----------------------------------|-----------------------------|
| Recuento | 187298 | 8759 | 187298 | 8759 | 187298 | 8759 |
| Promedio | 18,32 | 18,80 | 71,35 | 69,81 | 12,15 | 13,44 |
| Mediana | 18,4 | 19,2 | 74,0 | 72,0 | 11,0 | 13,0 |
| Moda | 20,0 | 19,0 | 96,0 | 96,0 | 0,0 | 9,0 |
| Desviación Estándar | 6,80 | 7,16 | 18,75 | 19,30 | 9,92 | 8,90 |
| Coeficiente de Variación | 37,08% | 38,07% | 26,27% | 27,65% | 81,66% | 66,21% |
| Mínimo | -2,3 | 0,6 | 11,0 | 13,0 | 0,0 | 0,0 |
| Máximo | 39,2 | 38,0 | 100,0 | 100,0 | 111,0 | 67,0 |
| Rango | 41,5 | 37,4 | 89,0 | 87,0 | 111,0 | 67,0 |
| Cuartil Inferior | 13,5 | 13,6 | 58,0 | 56,0 | 4,0 | 7,0 |
| Cuartil Superior | 23,0 | 23,8 | 87,0 | 86,0 | 19,0 | 19,0 |
| Rango Intercuartílico | 9,5 | 10,2 | 29,0 | 30,0 | 15,0 | 12,0 |
| Sesgo Estandarizado | 25,66 | -1,86 | -3859,8 | -15,34 | 8013,32 | 27,07 |
| Curtosis Estandarizada | -41,46 | -10,47 | -62,88 | -14,28 | 90,24 | 9,49 |

Tabla 4. Resumen Estadístico de datos anuales de la Estación Meteorológica Concordia. Comparación del año 2018 con datos de la serie climática 1981-2010.

| Valores anuales | Temperatura 1981-2010 | Temperatura 2018 | HR % 1981-2010 | HR % 2018 | Intensidad Viento km/h 1981-2010 | Intensidad Viento km/h 2018 |
|--------------------------|-----------------------|------------------|----------------|-----------|----------------------------------|-----------------------------|
| Recuento | 183311 | 8740 | 183311 | 8740 | 183311 | 8740 |
| Promedio | 18,96 | 19,28 | 72,08 | 73,09 | 9,56 | 10,95 |
| Mediana | 19,2 | 19,7 | 76,0 | 76,0 | 7,0 | 9,0 |
| Moda | 21,0 | 20,0 | 96,0 | 97,0 | 0,0 | 0,0 |
| Desviación Estándar | 6,93 | 7,21 | 18,97 | 19,47 | 10,68 | 8,52 |
| Coeficiente de Variación | 36,54% | 37,38% | 26,32% | 26,64% | 111,71% | 77,81% |
| Mínimo | -4,1 | -1,1 | 10,0 | 20,0 | 0,0 | 0,0 |
| Máximo | 40,4 | 38,4 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 61,0 |
| Rango | 44,5 | 39,5 | 90,0 | 80,0 | 100,0 | 61,0 |
| Cuartil Inferior | 14,3 | 14,1 | 58,0 | 59,0 | 0,0 | 6,0 |
| Cuartil Superior | 23,7 | 24,15 | 88,0 | 90,0 | 19,0 | 15,0 |
| Rango Intercuartílico | 9,4 | 10,05 | 30,0 | 31,0 | 19,0 | 9,0 |
| Sesgo Estandarizado | 857,14 | -5,03 | 4278,01 | -20,75 | -7538,94 | 43,08 |
| Curtosis Estandarizada | -23,42 | -7,65 | -57,13 | -12,89 | 32,38 | 38,47 |

Tabla 5. Resumen Estadístico de datos anuales de la Estación Meteorológica Gualeguaychú. Comparación del año 2018 con datos de la serie climática 1981-2010.

| Valores anuales | Temperatura 1981-2010 | Temperatura 2018 | HR % 1981-2010 | HR % 2018 | Intensidad Viento km/h 1981- 2010 | Intensidad Viento km/h 2018 |
|--------------------------|-----------------------|------------------|----------------|-----------|-----------------------------------|-----------------------------|
| Recuento | 173806 | 8475 | 173789 | 8473 | 173802 | 8469 |
| Promedio | 18,06 | 18,08 | 72,95 | 73,70 | 9,35 | 10,84 |
| Mediana | 18,1 | 18,5 | 77,0 | 78,0 | 7,0 | 9,0 |
| Moda | 19,6 | 20,2 | 97,0 | 97,0 | 0,0 | 7,0 |
| Desviación Estándar | 7,17 | 7,32 | 19,35 | 18,88 | 9,65 | 6,74 |
| Coeficiente de Variación | 39,68% | 40,50% | 26,53% | 25,61% | 103,31% | 62,22% |
| Mínimo | -5,5 | -2,0 | 11,0 | 19,0 | 0,0 | 0,0 |
| Máximo | 40,7 | 37,3 | 100,0 | 100,0 | 91,0 | 50,0 |
| Rango | 46,2 | 39,3 | 89,0 | 81,0 | 91,0 | 50,0 |
| Cuartil Inferior | 13,1 | 12,6 | 58,0 | 60,0 | 0,0 | 6,0 |
| Cuartil Superior | 22,9 | 22,9 | 90,0 | 90,0 | 15,0 | 15,0 |
| Rango Intercuartílico | 9,8 | 10,3 | 32,0 | 30,0 | 15,0 | 9,0 |
| Sesgo Estandarizado | -1502,35 | -1,13 | -20856,4 | -21,58 | 36401,4 | 40,46 |
| Curtosis Estandarizada | -27,34 | -8,14 | -60,44 | -13,251 | 60,10 | 27,20 |

respecto de la normal climática con un valor de +0,29 km/h en Paraná, +1,39 km/h en Concordia y de +1,49 km/h en Gualeguaychú. Para evaluar la variabilidad de los registros respecto de sus valores medios se obtuvo el Coeficiente de Variación. Este estadístico indica mayor variabilidad durante el 2018 respecto a la normal climática (1981-2010) para la T_d y la HR en las localidades de Paraná y Concordia, mayor variabilidad para la T_d pero menor variabilidad de la HR en Gualeguaychú. Sin embargo, para la velocidad del viento se observó una menor variabilidad en las tres localidades durante el 2018 respecto de sus valores climáticos.

Los resultados de los test de hipótesis para el desvío estándar indican, con un 95% de confianza, que no es posible para ninguna de las tres variables considerar varianzas iguales entre los valores registrados durante el 2018 respecto de sus valores climáticos en las tres localidades. Con el mismo porcentaje de confianza para el test de diferencia de promedios, tampoco es posible asegurar que los valores medios de T_d para Paraná y Concordia registrados durante el año 2018 pertenezcan a la distribución de los registros climáticos del período 1981-2010. No ocurre lo mismo en Gualeguaychú, donde el valor de T_d media puede ser considerado dentro de una variabilidad normal climática, aunque su valor medio anual fue levemente superior a la normal climática. Esto confirma que el año 2018 fue más cálido que lo normal lo que está en acuerdo con lo que se observa a nivel mundial según el informe de la OMM (2019). De particular interés se presenta el sesgo estandarizado y la curtosis estandarizada que se utilizan para comparar si las muestras

proviene de distribuciones normales. Para ninguna de las tres variables se puede afirmar que los registros presentan este tipo de distribución, es por esta razón que se ha utilizado el estadístico t de Student para la comparación de las diferencias de medias.

Las Figuras 3, 4 y 5 muestran los gráficos de caja y extensión para la temperatura media anual, humedad relativa media anual y velocidad

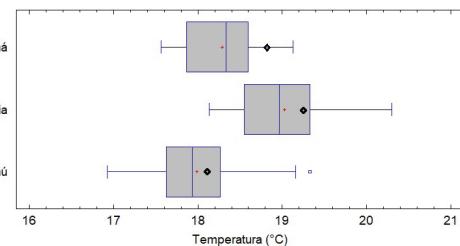


Figura 3. Gráficos de Caja y Extensión para la Temperatura media anual del período 1981-2010 en las 3 estaciones meteorológicas. ◇ Indica el valor medio anual para el año 2018.

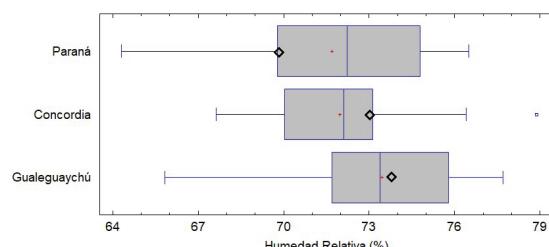


Figura 4. Gráficos de Caja y Extensión para la Humedad Relativa media anual del período 1981-2010 en las 3 estaciones meteorológicas. ◇ Indica el valor medio anual para el año 2018.

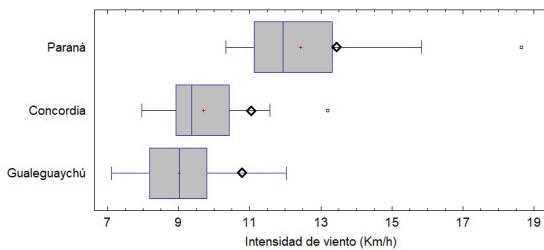


Figura 5. Gráficos de Caja y Extensión para la Intensidad del viento medio anual del período 1981-2010 en las 3 estaciones meteorológicas. \diamond Indica el valor medio anual para el año 2018.

del viento media anual del período 1981-2010 indicando el valor medio anual de cada variable para el año 2018.

Además, las Figuras 6, 7 y 8 muestran los gráficos de los valores medios anuales y el intervalo de confianza del 95%, indicando también la posición que toman los valores medios del año 2018. Los resultados de los test de hipótesis para el desvío estándar y la diferencia de medias entre los valores climáticos y el año 2018 para T_d , HR e Intensidad del viento en Paraná, Concordia y Gualeguaychú, respectivamente, confirman que las varianzas y los promedios entre el año 2018 y la serie climática no son iguales, excepto para la T_d en Gualeguaychú. Los tests de Kolmogorov-Smirnov confirman que existe una diferencia estadísticamente significativa entre las dos distribuciones con un nivel de

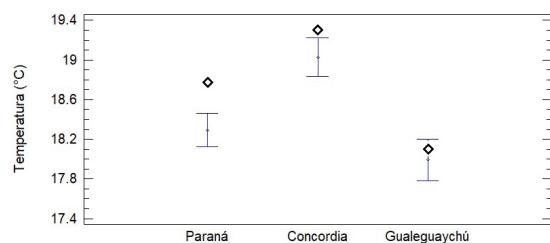


Figura 6. Gráfico de Medias e Intervalo de Confianza del 95% para la Temperatura media anual del período 1981-2010 en las tres localidades. \diamond Indica el valor medio anual para el año 2018.

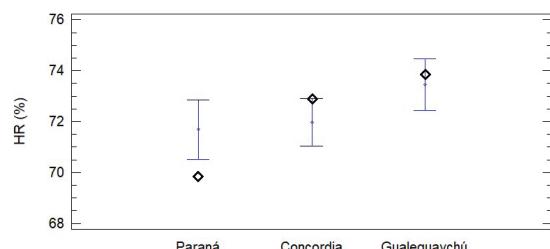


Figura 7. Gráfico de Medias e Intervalo de Confianza del 95% para la Humedad Relativa media anual del período 1981-2010 en las tres localidades. \diamond Indica el valor medio anual para el año 2018.

confianza del 95%.

En la Figura 9 se pueden observar las horas mensuales disponibles para realizar aplicaciones de fitosanitarios en la ciudad de Paraná durante el año 2018. Las líneas continuas representan la totalidad de las horas y las líneas de trazo y punto representan las horas donde se eliminaron los días que se registraron lluvias $\geq 1 \text{ mm} \pm 0.1$. Se observa que, considerando los días sin lluvias, las condiciones meteorológicas propuestas por RED BPA (2015) presentan menor cantidad de horas de aplicación para los meses comprendidos entre enero y marzo, respecto de los otros dos manuales. A partir del mes de marzo, los requerimientos establecidos por FAO (2002) presentan menor cantidad de horas disponibles para realizar las aplicaciones de fitosanitarios, llegando a un mínimo de 88 horas para el mes de noviembre.

Por otra parte, las condiciones meteorológicas propuestas por AAPRESID-REM (2018) presentan, en todos los casos, la mayor cantidad de horas disponibles para realizar la aplicación de fitosanitarios, registrando un máximo de 344 horas para el mes de junio. Considerando

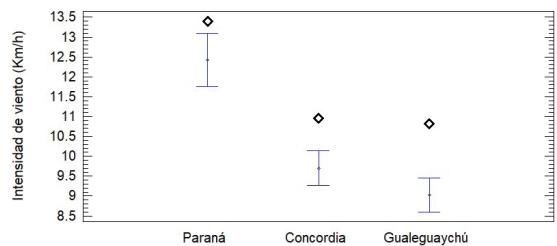


Figura 8. Gráfico de Medias e Intervalo de Confianza del 95% para la Intensidad del Viento medio anual del período 1981-2010 en las tres localidades. \diamond Indica el valor medio anual para el año 2018.

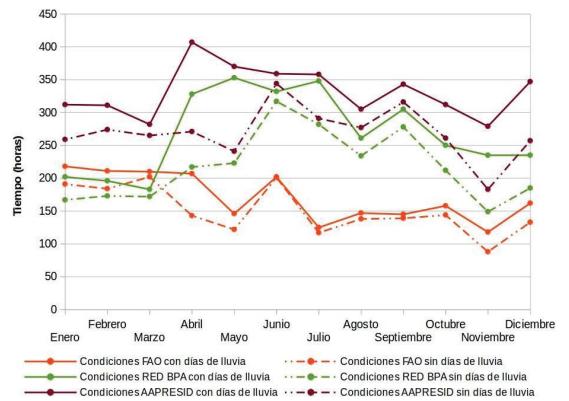


Figura 9. Horas mensuales disponibles para realizar la aplicación de fitosanitarios, considerando los datos meteorológicos de la estación Paraná del SMN, para el año 2018.

el promedio anual de horas, las condiciones meteorológicas propuestas por AAPRESID-REM (2018) incrementan un 79,74 % la cantidad de horas respecto a las condiciones propuestas por FAO (2002).

Asimismo, la mayor diferencia entre el porcentaje de horas disponibles para realizar aplicaciones en las jornadas diurnas y nocturnas se observa para las condiciones propuestas por FAO (2002), alcanzando un promedio anual de 28 % para la jornada diurna y un 72 % para la jornada nocturna (Tabla 6).

De igual manera, para la ciudad de Paraná, las condiciones propuestas por AAPRESID-REM (2018) presentan el mayor porcentaje de horas diurnas para realizar aplicaciones terrestres de fitosanitarios, alcanzando una media anual del 57 % del total de horas disponibles (Tabla 6).

Realizando el correspondiente análisis con los datos meteorológicos de la ciudad de Gualeguaychú, Entre Ríos (Figura 10), se puede observar que, al igual que sucede en la ciudad de Paraná, en los primeros tres meses del año las condiciones propuestas por RED BPA (2015) son las que presentan menor cantidad de horas disponibles para realizar aplicaciones terrestres de fitosanitarios. A partir del mes de abril y hasta diciembre, las condiciones propuestas por FAO (2002) son las que presentan menor cantidad de horas disponibles para realizar aplicaciones, alcanzando el mínimo de 109 horas en el mes de diciembre. Durante todo el año, las condiciones propuestas por AAPRESID-REM (2018) presentan mayor cantidad de horas para realizar las aplicaciones terrestres de fitosanitarios, registrándose la máxima cantidad de horas en el mes de octubre, donde se alcanzaron las 410 horas. Considerando el promedio anual de horas disponibles para la aplicación de fitosanitarios, las condiciones propuestas por AAPRESID-REM (2018) presentan un incremento de horas disponibles respecto de las condiciones propuestas por FAO (2002).

Al igual a lo observado en el caso anterior, en la ciudad de Gualeguaychú, las condiciones propuestas por AAPRESID-REM (2018) presentan mayor porcentaje de horas diurnas para

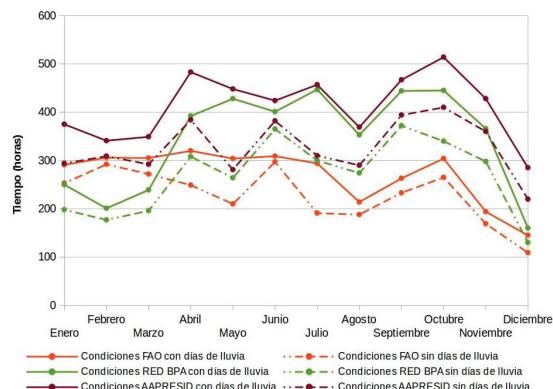


Figura 10. Horas mensuales disponibles para realizar la aplicación de fitosanitarios, considerando los datos meteorológicos de la estación Gualeguaychú del SMN, para el año 2018.

realizar aplicaciones terrestres de fitosanitarios, alcanzando una media anual del 56 % del total de horas disponibles (Tabla 6). Los datos de la estación meteorológica de la ciudad de Concordia (Figura 11) poseen semejanza respecto a los datos previamente analizados para las estaciones meteorológicas de las ciudades de Paraná y Gualeguaychú. Entre los meses de enero y marzo las condiciones que presentan menos horas se corresponden con las condiciones meteorológicas propuestas por RED BPA (2015) pero, en este caso, las condiciones propuestas por AAPRESID-REM (2018) registran menor cantidad de horas durante el mes de marzo que las propuestas por FAO (2002), la cual resulta ser la de mayor cantidad de horas disponibles durante dicho mes.

Desde el mes de abril y hasta el mes de diciembre se observa que las condiciones propuestas por FAO (2002) presentan la menor cantidad de horas, alcanzando su mínimo en el mes de mayo con 141 horas. De igual manera, durante los meses de abril a diciembre, las condiciones meteorológicas propuestas por AAPRESID-REM (2018) presentan la mayor cantidad de horas disponibles para realizar aplicaciones terrestres de fitosanitarios, alcanzando su máximo en el mes de julio con 357 horas. De igual forma a lo sucedido con las localidades antes descritas, en la ciudad de Concordia, la mayor cantidad de horas

Tabla 6. Porcentajes medios de horas disponibles para la aplicación de productos fitosanitarios, según los diferentes manuales de BPA, correspondientes al año 2018.

| Zona horaria | Paraná | | Gualeguaychú | | Concordia | |
|----------------|---------|-----------|--------------|-----------|-----------|-----------|
| | Diurnas | Nocturnas | Diurnas | Nocturnas | Diurnas | Nocturnas |
| FAO % | 41 | 59 | 38 | 62 | 28 | 72 |
| BPA % | 47 | 53 | 45 | 55 | 37 | 63 |
| AAPRESID-REM % | 57 | 43 | 56 | 44 | 47 | 53 |

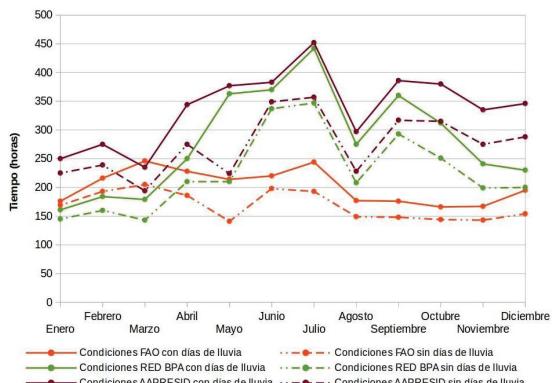


Figura 11. Horas mensuales disponibles para realizar la aplicación de fitosanitarios, considerando los datos meteorológicos de la estación Concordia del SMN, para el año 2018.

disponibles para la aplicación de fitosanitarios es alcanzada para las condiciones propuestas por AAPRESID-REM (2018) y la menor cantidad de horas se observan para el manual propuesto por FAO (2002), representando un incremento anual de 62,43 %.

La mayor diferencia en la media anual de la cantidad de horas diurnas y nocturnas para la aplicación terrestre de fitosanitarios se observa para las condiciones propuestas por FAO (2002), observándose un total de 72% de horas nocturnas (Tabla 6). El mes con menor cantidad de horas disponibles fue mayo, que alcanzó 141 horas. Por otra parte, el mes de marzo registró la mayor cantidad de horas con un total de 205 horas.

Las condiciones propuestas por AAPRESID-REM (2018) presentaron la menor diferencia entre el porcentaje de horas diurnas y nocturnas disponibles para pulverizar, alcanzando un 47 % y un 53 %, respectivamente. El mes que registró la menor cantidad de horas fue marzo, alcanzando 194 horas y el mes que registró la mayor cantidad de horas fue julio, registrando 357 horas mensuales.

Como se puede observar en la tabla 6, únicamente para las localidades de Gualeguaychú y Paraná, el manual propuesto por AAPRESID-REM (2018) presentan mayor cantidad de horas diurnas disponibles para la aplicación terrestre de fitosanitarios.

Utilizando el modelo simulación de eyección, transporte y evaporación de gotas (Sedano *et al.*, 2019 y 2020) se realiza la simulación de la evaporación de gotas sin considerar el fenómeno de colisión binaria y se utiliza el acople desde las grandes escalas turbulentas hacia las escalas de submalla (Sedano *et al.*, 2019), ya que sólo se desea evaluar la velocidad evaporante del aire según la T_d y HR, definidas en los manuales de

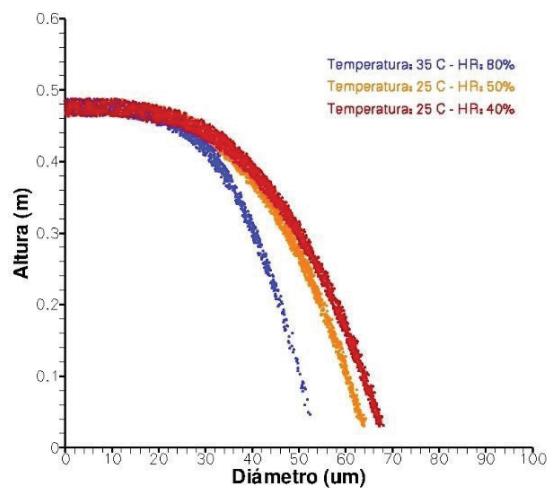


Figura 12. Evaporación de gotas considerando los manuales de BPA propuestos por FAO [rojo], RED BPA [naranja] y AAPRESID-REM [azul].

BPA para la aplicación de fitosanitarios descritos por FAO (2002), RED BPA (2015) y AAPRESID-REM (2018), considerando la presencia de viento calmo.

Se simularon 6,5 s de eyección de gotas, con un paso de tiempo de $2 \cdot 10^{-4}$ s, durante los cuales se emitieron 812.500 partículas líquidas cuyo diámetro medio fue de 330 μm (Sedano *et al.*, 2020). El mallado fue diseñado con un total de 142 celdas en dirección (x), 36 celdas en dirección (y) y 44 celdas en dirección (z) utilizando celdas de altura menor cerca de la superficie del suelo para obtener una mejor descripción de las pequeñas escalas turbulentas en esta zona de generación de vórtices. Las dimensiones de las celdas fueron de 0,1 m en la horizontal (x, y) y 0,0414 m de altura promedio en la dirección (z).

Inicialmente, se simularon las condiciones propuestas por RED BPA (2015) considerando una temperatura de bulbo seco (T_d) de 25° C y una HR del 50 %. Para las condiciones propuestas por FAO (2002) y AAPRESID-REM (2018) se simuló una temperatura T_d de 35° C y una HR del 80 % y T_d de 25° C y una HR del 40 %. Manteniendo la temperatura del líquido para aplicar a 20° C, los tres manuales de BPA para la aplicación de fitosanitarios presentan semejanza en la evaporación de gotas cuyo diámetro es menor a los 25 μm , evaporándose antes de recorrer 0,02 m desde su eyección, representando este diámetro un 0,35 % del volumen aplicado. A partir de ese diámetro, comienzan a tomar un rol preponderante las variables meteorológicas imperantes en la aplicación.

Este fenómeno puede observarse claramente en la Figura 12 al contrastar las simulaciones

realizadas. Considerando una temperatura T_d de 25° C y una HR del 40 % las gotas menores de 68,2 μm se evaporan antes de alcanzar el suelo, representando un 2,84 % del total de la aplicación. Cambiando las condiciones meteorológicas con un incremento de la HR al 50 % las gotas menores de 64,3 μm se evaporan antes de alcanzar el suelo, representando un 2,8 % de la aplicación. Por otra parte, simulando una temperatura T_d de 35° C y una HR del 80 % se evaporan las gotas menores de 52,4 μm, representando el 2,76 % de la aplicación. Es importante destacar que, en las estaciones meteorológicas de las ciudades de Paraná, Gualeguaychú y Concordia Entre Ríos, los datos de la serie climática 1981-2010 no registran ningún caso con temperaturas de T_d de 35° C con una HR ≥ 80 %. A fin de analizar las condiciones meteorológicas que se encuentran fuera de los rangos de T_d y HR establecidos por AAPRESID-REM (2018), que se muestran en la Figura 1, se realizan las simulaciones para valores registrados en la estación meteorológica Paraná, considerando días sin precipitaciones (Tabla 7).

Tabla 7. Análisis del proceso de evaporación de gotas, considerando valores meteorológicos fuera de rango de acuerdo con lo descripto por AAPRESID-REM.

| Descripción | Fecha | Hora | T_d | HR |
|------------------------------------|------------|------|-------|----|
| Amarillo | 23/08/2008 | 15 | 19,8 | 11 |
| No aplicar por riesgo de lluvia | 20/02/1992 | 8 | 26,2 | 93 |
| Fuera de rango por valores mínimos | 01/08/1991 | 8 | -1,0 | 66 |
| Fuera de rango por valores máximos | 07/02/2018 | 17 | 38 | 23 |
| Rojo | 20/02/2018 | 12 | 35 | 30 |

Como se puede observar en la Figura 13, manteniendo la temperatura del líquido a pulverizar en 20° C, las dos situaciones de menor diámetro evaporado se registraron para los casos de mayor HR, en concordancia a lo descrito por Kurose *et al.* (2009), siendo el menor porcentaje evaporado el que corresponde a la simulación realizada con T_d de 26,2° C y HR de 93 % donde se evaporan las gotas menores a 29,2 μm, alcanzando un 1,1 % del total de la aplicación.

Al comparar los casos simulados se observa que, cuando la HR < 30 %, la T_d posee mayor incidencia en el proceso de evaporación alcanzando el valor máximo, dentro de los casos presentados, para una T_d de 38° C y HR de 23 % con las gotas evaporadas menores a 81,8 μm, representando un 4,73 % del total de la aplicación. Este fenómeno, posee similitud con la determinación del confort humano considerando la T_d , comúnmente denominado

sensación térmica, en función de diferentes variables meteorológicas, como en este caso la HR.

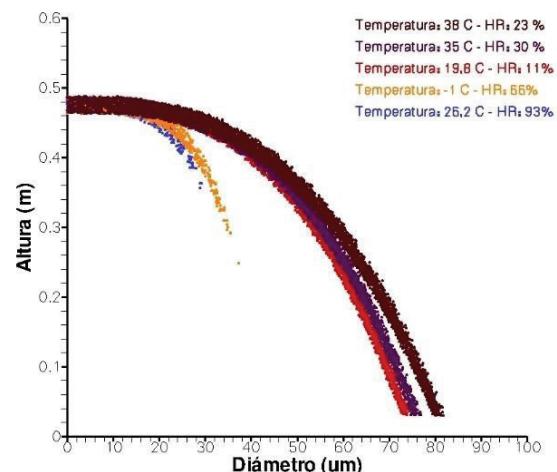


Figura 13. Evaporación de gotas considerando condiciones meteorológicas máximas y mínimas de Temperatura y HR de Paraná.

Es importante destacar que, si la aplicación de fitosanitarios es realizada con una mezcla de base salina, estas gotas se evaporan hasta quedar el soluto concentrado. Es por ello que la diferencia entre la temperatura T_d y T_w debe ser reducida a la menor diferencia posible, sin que se registren lluvias, a fin de evitar dicha evaporación. Resulta clara la necesidad de considerar, a la hora de confeccionar manuales de BPA, las características fisicoquímicas de los fitosanitarios.

CONCLUSIONES

Considerando los tres manuales de BPA para la aplicación terrestre de fitosanitarios se observa que si se siguen las condiciones del manual propuesto por FAO (2002) resulta que la cantidad de horas medias mensuales disponibles para la aplicación es la más baja mientras que si se siguen las condiciones propuestas en el manual de AAPRESID-REM (2018) se obtiene la mayor cantidad de horas. Asimismo, se observó que, únicamente, para las localidades de Gualeguaychú y Paraná, el manual propuesto por AAPRESID-REM (2018) presentan mayor cantidad de horas diurnas disponibles para la aplicación terrestre de fitosanitarios.

Considerando las condiciones meteorológicas propuestas por los tres manuales en las simulaciones se observó que los diámetros de gotas de aproximadamente 25 μm se evaporan antes de recorrer los 0,02 m. Teniendo en cuenta la

incidencia que tienen la HR y T_d en el proceso de evaporación, es que ΔT debería poseer el menor valor posible sin que se registren precipitaciones.

Finalmente, resulta importante destacar que, para la formulación de los manuales de BPA para la aplicación terrestre de fitosanitarios, además de tenerse en cuenta las características meteorológicas, es fundamental considerar las propiedades fisicoquímicas de los fitosanitarios utilizados.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Centro de Información Meteorológica del Servicio Meteorológico Nacional, quienes facilitaron los datos meteorológicos necesarios para llevar adelante el presente trabajo.

BIBLIOGRAFÍA

- Aguirre, C. A., 2005. Dispersion et Melange Atmospherique Eulero-Lagrangien de Particules Fluides Réactives. Application a des cas simples et complexes, Ph.D. thesis, Universite Claude Bernard Lyon 1, France. 323 pp.
- Aguirre, C.; A. Brizuela, I. Vinkovic and S. Simoëns, 2006. A sub-grid lagrangian stochastic model for turbulent passive and reactive scalar dispersion, International Journal of Heat and Fluid Flow 27 (4): 627–635.
- Aguirre, C.; A. Brizuela, I. Vinkovic y S. Simoëns, 2006. Modelo acoplado Eulero-Lagrangiano de simulación de la dispersión atmosférica de especies químicamente reactivas en la capa límite. Revista Científica de Mecánica Computacional 25: 185–205.
- Aguirre, C.; A. Brizuela, G. Berri y E. Orcellet, 2012. Dispersión de gases emanados desde la fábrica Botnia utilizando un modelo de simulación de las grandes escalas acoplado a un modelo estocástico lagrangiano. II Congreso Latinoamericano de Ingeniería del Viento (CLIV2), 2, pp. 1–17.
- Aguirre, C.; A. Brizuela and L. Hildt, 2013. Computational tools for the simulation of atmospheric pollution events, Scientia Interfluvius 4 (1): 7–29.
- Aguirre, C.; G. Berri, A. Brizuela and E. Orcellet, 2014. External Weather Data Assimilation to Simulate Wind and Temperature Fields in the Region of Gualeguaychú, Argentina, Journal of Mechanics Engineering and Automation 4: 887–899.
- Aguirre, C.; P. Aceñolaza, A. Brizuela y C. Sedano, 2014. Simulación Computacional de la Dispersión de Partículas Sólidas en la Atmósfera utilizando un Modelo Acoplado. Revista Científica de Mecánica Computacional 33: 3431–3453.
- Banco Central de la República Argentina (BCRA), 2018. Informe de política monetaria – julio de 2018. ISSN 2525-071X.
- Berry, G., 1987. Estudio del comportamiento termohidrodinámico de la capa límite atmosférica sobre la región del Río de La Plata con un modelo de simulación numérica, Ph.D. thesis, Departamento de Ciencias de la Atmósfera y los Océanos, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires. 147 pp.
- Decreto N° 2.239, 2019. Aprobando reglamentación complementaria de Ley de Plaguicidas. Gobernador de la provincia de Entre Ríos. 4 pp.
- Duffett-Smith, P., 1983. Practical Astronomy with your Calculator. Cambridge University Press (Australia) Pty Ltd. Publications of the Astronomical Society of Australia 5 (2), 286 pp. doi:10.1017/S1323358000017136.
- Fackrell, J. E. and A. G. Robins, 1982. Concentration fluctuation and fluxes in plumes from point sources in a turbulent boundary layers. Journal of Fluid Mechanics 117: 1–26.
- FAO, 1988. Good practice for ground and aerial application of pesticides, guidelines 1988. Tech. rep., Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- FAO, 2002. Guías sobre Buenas Prácticas para la Aplicación Terrestre de Plaguicidas. Roma. ISBN 92-5-304717-8. 39 pp.
- Fernandez-Turiel, J. L.; P. Aceñolaza, M. E. Medina, J. F. Llorenz and F. Sardi, 2001. Assesment of a smelter impact area using surface soils and plants. Environmental Geochemistry and Health 23: 65–78.
- Gong, W. 1991. A Wind Tunnel Study of Turbulent Dispersion over two - and three - dimensional Gentle Hills from Upwind Point Sources in Neutral Flow. Boundary Layers Meteorology 54: 211–230.
- Gota protegida – REM, 2018. Manejo de malezas problema - Calidad de aplicación de herbicidas - Bases para lograr un tratamiento eficiente. REM – AAPRESID. Volumen IX. ISSN N° 2250-5350.
- ISO-22866, 2005. Equipment for crop protection - methods for field measurement of spray drift, Tech. rep., ISO - International Organization for Standardization. 17 pp.
- Kurose, R.; A. Fujita and S. Komori, 2009. Effect of relative humidity on heat transfer across the surface of an evaporating water droplet in air flow. Journal of Fluid Mechanics 624: 57–67. doi:10.1017/S0022112009005862.
- Ley de Plaguicidas N° 6.599, 1980. Gobernador de la provincia de Entre Ríos. 20 pp.
- MAGyP, 2013. Pautas sobre aplicaciones de productos fitosanitarios en áreas periurbanas. Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca. Secretaría de

- Agricultura, Ganadería y Pesca. 34 pp.
- Nuyttens, D., 2007. Drift from field crops prayers: The influence of spray application technology determined using indirect and direct drift assessment means, Ph.D. thesis, Faculteit Bio-ingenieurs wetenschappen, Katholieke Universiteit Leuven. 267 pp.
- OMM, 2019. La OMM confirma que los últimos cuatro años han sido los más cálidos desde que se tienen registros. Comunicado de prensa, Organización Meteorológica Mundial. <https://public.wmo.int/es/media/comunicados-de-prensa/la-omm-confirma-que-los-%C3%BAltimos-cuatro-a%C3%B1os-han-sido-los-m%C3%A1s-c%C3%A1lidos>. (Consultada 15/08/2021).
- Orcellet, E. E.; G. J. Berri, C. A. Aguirre and G. V. Muller, 2016. Atmospheric dispersion study of trs compound semitted from a pulp mill plant in coastal regions of the Uruguay river, South America. Aerosol and Air Quality Research 16: 1473–1482.
- Red de Buenas Prácticas Agrícolas (BPA), 2015. Buenas Prácticas Agrícolas: Directivas y requisitos para cultivos extensivos. Comisión de Cultivos Extensivos. 48 pp.
- Resolución N° 19 SAAyRN, 2006. Distancia de resguardo desde galpones avícolas. Sub-Secretaría de Asuntos Agrarios y Recursos Naturales de la provincia de Entre Ríos. 2 pp.
- Resolución N° 49 SAAyRN, 2004. Plaguicidas – Legislación. Sub-Secretaría de Asuntos Agrarios y Recursos Naturales de la provincia de Entre Ríos. 2 pp.
- Sedano, C.; C. Aguirre, G. Rondán y A. Brizuela, 2020. Numerical simulation of spray ejection from a nozzle for herbicide application: Evaporation and Binary Collision Models. Computers and Electronics in Agriculture, 175. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105551>
- Sedano, C.; C. Aguirre and A. Brizuela, 2019. Numerical simulation of spray ejection from a nozzle for herbicide application: Comparison of drag coefficient expressions. Computers and Electronics in Agriculture 157: 136–145. Obtenido de <https://doi.org/10.1016/j.compag.2018.12.032>.
- Sjenitzer, F., 1952. Spray drying: Theoretical considerations on the movement and evaporation of liquid droplets, the use of various drying gases, and the application of the concept of transfer units to a rational evaluation of the process. Chemical Engineering Science 1 (3): 101–106. ISSN 0009-2509. [https://doi.org/10.1016/0009-2509\(52\)85001-8](https://doi.org/10.1016/0009-2509(52)85001-8).
- SMN, 2018. Listado de Estaciones Meteorológicas del SMN. Ministerio de Defensa. Servicio Meteorológico Nacional. https://datos.gob.ar/dataset/smn-listado-estaciones-meteorologicas-smn/archivo/smn_9.1 (Consultada 15/08/2021).
- SMN, 2019. Estadísticas 2019, Servicio Meteorológico Nacional. <https://www.smn.gob.ar/noticias/tiempo-y-clima-resumen-2019-0> (Consultada 15/08/2021).
- Vinkovic, I.; C. A. Aguirre, S. Simoens and M. Gorokhovski, 2006. Large-eddy simulation of droplet dispersion for inhomogeneous turbulent wall flow, International Journal of Multiphase Flow 32: 344–364.
- Williamson, R. E. and A. Threadgill, 1974. A simulation for the dynamics of evaporating spray droplets in agricultural spraying. Power and Machinery Division of ASAE, 17 (2): 254–261. <https://doi.org/10.13031/2013.36835>.
- Xue, M.; K. K. Droege, V. Wong, A. Shapiro and K. Brewster, 1995. Arps version 4.0 user's guide, Tech. rep., Center for Analysis and Prediction of Storms. 380 pp.