

## ***Inversión Térmica, meso meteorología aplicada a la reducción de deriva en pulverizaciones aéreas***

Ing. Agr. Pedro Daniel Leiva – EEA INTA Pergamino  
[pdleiva@pergamino.inta.gov.ar](mailto:pdleiva@pergamino.inta.gov.ar)



Se conoce como deriva a las gotas asperjadas que caen fuera del blanco objeto del tratamiento, y más específicamente como exoderiva aquellas que lo hacen fuera del lote tratado. Las aplicaciones en bajos volúmenes necesitan gotas más pequeñas, y por lo tanto están más sujetas a derivar. Los factores meteorológicos que condicionan o predisponen esa situación son: la baja humedad relativa ambiente, la alta temperatura, el viento fuerte y la inversión térmica. Los dos primeros afectan la evaporación, reduciendo paulatinamente el tamaño de la gota; el viento incrementa la componente horizontal de la composición del movimiento de caída, y finalmente, bajo condiciones de inversión térmica la densidad del aire por encima de la gota es menor que aquella ubicada por debajo, situación que impide a la gota descender.

### **¿Qué es una inversión térmica?**

Durante la noche el calor se pierde desde el suelo, especialmente en las noches despejadas, por lo que la temperatura es muy baja a nivel del suelo. Como el aire frío desciende, se mantiene cerca del suelo y los meteorólogos dicen que hay una inversión.

En esa situación a menudo no hay viento, de tal forma que las pequeñas gotitas pueden permanecer más tiempo en el aire, dando como consecuencia la aparición de nieblas o neblinas durante la mañana.



[www.esacadémic.com/dic.nsf/eswiki/614280](http://www.esacadémic.com/dic.nsf/eswiki/614280)

Una vez que el sol está sobre el horizonte, calentará la atmósfera de forma tal que a medida que transcurre el día el suelo está más caliente, y éste a su vez calentará el aire y, a medida que ese aire se eleve se produce un gradual movimiento ascendente. Como consecuencia, por desplazamiento, otros paquetes de aire frío descienden, y con ese

movimiento la atmósfera se hace más turbulenta; con la aparición del viento se pierde la estratificación del aire que caracteriza una inversión. Por ese motivo los meteorólogos hablan de atmósfera estable o turbulenta; las pulverizaciones agrícolas no deben hacerse bajo condiciones de calma, es decir sin viento.

### **Consecuencias de pulverizar bajo condiciones de inversión**

Como ejemplo, un avión trabaja a una altura entre 2 a 5 m, según tipo de avión, equipo aspersor y condición del viento. En una atmósfera normal el aire por encima del avión está más frío que debajo de él, en consecuencia existe un flujo descendente de aire, que junto con la aerodinámica del vuelo (“efecto suelo”) hacen que la aspersión baje en dirección al cultivo. Por el contrario, bajo condiciones de inversión, el asperjado queda flotando y las gotas continúan evaporándose y se trasladan por leves brisas de dirección variable hasta que alcanzan una zona turbulenta y caen; o cuando transformadas ya en un aerosol -e independizadas del tipo de atmósfera- viajan largas distancias.

### **Cuantificación de la deriva**

El tamaño de gota normal para bajos volúmenes varía entre 100-150 $\mu$ , en cambio para medios o altos volúmenes entre 200-350 $\mu$ . Esto tiene implicancias importantes, aún en una atmósfera turbulenta, en cuanto al tiempo de caída y al ritmo de evaporación. Desde una altura de 3 m una gota de 100 $\mu$  cae a una velocidad de 35 cm/seg y tarda 8.6 segundos en alcanzar el suelo; desde 60 cm de altura una gota de 250 $\mu$  cae a 80 cm/seg alcanzando el suelo en sólo 0.75 segundos. La gota pequeña tarda 11.4 veces más en caer, y tiene más posibilidades de evaporar. Además, una gota de 150 $\mu$  incrementa rápidamente su superficie específica (superficie por unidad de volumen, responsable del fenómeno de evaporación) cuando pasa a tener 100 $\mu$ , mientras que la superficie específica cuando la gota pasa de 250 a 200 $\mu$  se incrementa muy poco. Se deduce entonces que las gotas más pequeñas tardan más en caer y se evaporan más rápido.

Datos comparativos de ensayos para un mismo tamaño de gota, asperjada con avión bajo atmósfera normal e invertida, demuestran un incremento entre 7 y 8 veces la deriva: de 7.2 a 49.5 m de desplazamiento horizontal para gotas de 150 $\mu$ ; y 15.8 a 132 m para gotas de 100 $\mu$ , respectivamente. Deducimos también que las gotas más pequeñas derivan más, alejándose entre 50 y 130 m de la vertical de caída cuando hay inversión; mientras que bajo atmósfera turbulenta el alejamiento es mucho menor, oscilando entre 7 y 16 m (Brooks, FA, 1947; EPA-USA, 1976).

Los mismos autores ofrecen datos para una gota gruesa de 400 $\mu$ , con valores de deriva de 3 a 15 m, para condición normal e invertida respectivamente; por lo cual deducimos que el fenómeno de inversión también afecta a los tratamientos terrestres, incrementando 5 veces la deriva.

### **Causas de la deriva en aplicación aérea**

Según Fritzs, BK (2003) las causas de deriva pueden dividirse en controlables e incontrolables, pero evitables. Las primeras corresponden a la configuración y calibración del equipo aspersor: longitud del botalón, tipo y orientación del aspersor, presión de trabajo y tamaño de gota. Entre las evitables o remediabiles figuran: la velocidad y dirección del viento, la baja humedad relativa, la alta temperatura y la estabilidad atmosférica, que denominamos inversión térmica. En esta categoría la única remediabla con antievaporantes es la baja humedad; el resto condicionan la posibilidad de realizar el trabajo.

Deducimos entonces que el aplicador es el responsable de considerar estos factores y del ajuste de las técnicas de aplicación, acorde a las circunstancias dadas, para reducir el peligro de deriva tanto como sea posible.

Sin lugar a dudas los efectos más notables de una deriva por inversión se registran al aplicar herbicidas con avión, no tanto con insecticidas y mucho menos con fungicidas. No obstante en todos los casos se contribuye a la contaminación ambiental y a reducir la eficiencia de los plaguicidas.

### **Indicadores verificables por el piloto**

Transcribimos a continuación recomendaciones de dos especialistas en pulverización aérea, de reconocimiento internacional (Dennis R. Gardisser & Dennis K. Kuhlman, 1992), tendientes a reducir la deriva, y con énfasis en la evaluación de condiciones de inversión térmica.

“Un piloto también tienen que estar alerta para detectar señales de una inversión térmica (aire frío a nivel del suelo con una capa de aire caliente más arriba). A menudo ocurre cuando las velocidades del viento son muy bajas o sólo hay viento a baja altura. Puede haber alta deposición del asperjado durante las inversiones térmicas, pero la dirección hacia donde se mueve la deriva de pesticidas resulta incierta. Los vientos cambiantes pueden causar daños a un cultivo adyacente y en cualquier dirección durante una aplicación de herbicidas”.

“Un piloto puede determinar la presencia de una fuerte inversión observando un aumento de la temperatura del aire exterior cuando su avión asciende a 30 metros de altitud. De no observarse un cambio en la temperatura del aire exterior no es garantía que no exista inversión, pero podría ser el único indicador disponible para el piloto. La observación de los movimientos del viento, el polvo de los caminos de tierra, humo o vapor de las plantas industriales, por ejemplo, proporcionará indicadores de la estabilidad del aire. La situación de inversión puede variar de 15 metros a 150-300 metros, o más por encima del nivel del terreno”.

“La principal amenaza es, pues, un gradiente de temperatura que causa que el aire se eleve y se estanque. El humo que se eleva desde una fuente de calor desde suelo y alcanza un techo es una indicación ideal de un severo estancamiento del aire debido a las condiciones de inversión térmica. Bancos de neblina en el suelo suspendido a la altura del parabrisas, bruma o niebla espesa a través de un arroyo o depresión, son también indicadores de condiciones de inversión”.

“Se pueden formar inversiones localizadas sobre los campos que están mojados o inundados, que van desde un campo de arroz inundado a un campo de maíz bajo sistema de riego de pivote central, debido a las bajas temperaturas que existen junto a la tierra o a los espejos de agua. Estas condiciones pueden ser localizadas y lo suficientemente fuertes para impedir la penetración de la aspersion dentro del follaje del cultivo. El humo producido por el aceite arrojado contra el escape de un avión debe descender hacia el cultivo, cuando la atmósfera está en una condición normal (turbulenta)”.

“La temperatura del aire y la humedad tienen un efecto pronunciado en la tasa de evaporación de las gotas, así como la actividad de algunos plaguicidas. La evaporación del agua, o los solventes volátiles, se vuelven críticos con gotas de menos de 100 micras de diámetro”.

“Humedad relativa superior al 70 por ciento es lo ideal. Una humedad relativa por debajo del 50 por ciento justifica la aplicación de ajustes especiales (antievaporantes, e.g. aceite). Temperatura, el viento y la humedad relativa no son independientes. Posicionando las boquillas hacia atrás, con orificios grandes y/o reduciendo la presión de pulverización son métodos válidos para aumentar el tamaño inicial de la gota. Uno de estos simples ajustes podría ser una solución para prevenir una falla del control”.

“Aplicaciones a la mañana temprano combinan condiciones meteorológicas deseables para una buena pulverización, como ser bajas temperaturas, velocidad del viento ideal (entre 5 y 8 km/h) y alta humedad relativa (mayor a 60% HR). Cuando una aplicación debe hacerse después de las 9 de la mañana o antes de las 7 PM, la pulverización requerirá de un poco de viento, humedad alta, y día fresco. Cuando este no sea el caso, el aumento del tamaño de la gota y el volumen total por hectárea resultan necesarios para lograr que el plaguicida llegue a la meta”.

“Costo, riesgo, y porcentaje de eficacia de control de plagas son factores que el aplicador debe considerar y discutir con el productor. Sin embargo, la aplicación de ciertos pesticidas alrededor de los cultivos sensibles o lugares delicados, simplemente no se debe realizar bajo condiciones climáticas adversas. Se debe dejar una zona de amortiguación amplia y, en estos casos, la pulverización terrestre puede ser la mejor solución en sitios considerados de aplicación sensible”.

“El objetivo de cualquier aplicación es colocar correctamente el material con respecto a la plaga y la planta de modo que el pesticida pueda actuar. La más valiosa herramienta que el aplicador aéreo debe ejercitar es la acumulación de materia gris entre las orejas (capacitarse y experimentar)”.

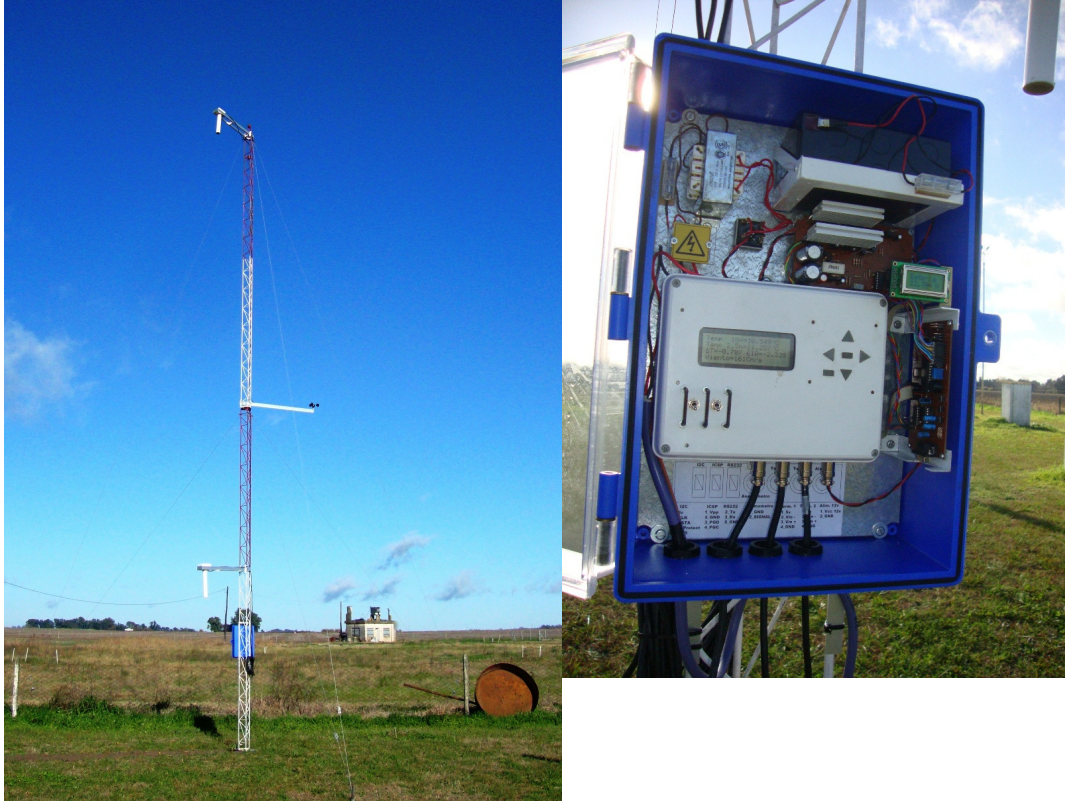
### **Torre de inversión térmica**

Con el propósito de cuantificar las diferencias de temperatura a distintas alturas y el viento equidistante a ellas se construyó una torre de inversión térmica de 10 m de altura. Consta de dos termómetros ubicados a 2,5 y 10 m de altura con un anemómetro de cazoletas ubicado a 5 m del suelo. Los termómetros tienen una precisión de 5 centésimas de grado ( $\Delta \pm 0.05$  °C) y el anemómetro mide el viento con una precisión de 0.5 km/hora.

Los termómetros están encerrados por tres cilindros concéntricos de 50 cm de largo, con un ventilador eléctrico en la parte superior que fuerza el aire externo a circular en derredor de la termocupla.

Una consola estanca ubicada a la altura del operador registra y almacena la información a intervalos de 10 minutos durante un año. Una plaqueta de

circuito integrado calcula las diferencias de temperatura y combina los datos de viento para calcular un índice de estabilidad atmosférica. El conjunto cuenta con una batería de 12 V que se utiliza para el caso de eventuales cortes del suministro eléctrico. Además, un enlace a distancia permite visualizar la información en una PC hasta una distancia de 800 m.



### **Evaluación y caracterización de la estabilidad atmosférica**

Cuando la temperatura a 10 m de altura es mayor que aquella registrada a 2.5 m se dice que la atmósfera está invertida y estable; cuando además hay muy poco viento la situación atmosférica es muy estable. Ambas situaciones resultan peligrosas y muy peligrosas respectivamente cuando se realizan pulverizaciones con plaguicidas. Poco viento, o la ausencia del mismo, es indicativo de una tropósfera estratificada en capas de menor a mayor temperatura de abajo hacia arriba, situación no deseada cuando se trabaja en pulverizaciones agrícolas.

Una sencilla fórmula (Munn, 1966; citado por Fritz, BK, 2003 y 2008) calcula el índice de Estabilidad Atmosférica (I.E.A.) como sigue:

$$I.E.A. = \frac{(T_2 - T_1)}{V^2} * 10^5$$

#### Referencias:

T= temperatura [°C] (T<sub>1</sub>= a 2.5 m, T<sub>2</sub>= a 10 m)

V= viento [cm/seg] a 5 m

Queda claro entonces que, los valores negativos de la fórmula son indicativos de una situación atmosférica turbulenta, y en consecuencia adecuada para pulverizar. Es decir cuando  $T1 > T2$ , y simultáneamente se registra la presencia de viento, la situación es favorable. La siguiente tabla define los rangos de valores del índice y su interpretación.

<b>RANGO DEL I.E.A.</b>	<b>CONDICION ATMOSFERICA</b>	<b>PELIGRO</b>
-1.7 a -0.1	<b>Inestable</b>	<b>Segura</b>
-0.1 a +0.1	Neutra	Neutra
+0.1 a +1.2	<b>Estable</b>	<b>Peligroso</b>
+1.2 a +4.9	<b>Muy estable</b>	<b>Muy Peligroso</b>

### **Objetivos de estudio**

Como cualquier otro parámetro meteorológico, la inversión térmica necesita ser caracterizada para conocer la estadística de ocurrencia para un mismo lugar a lo largo del día/estación climáticas/año, tanto como para diferentes regiones del país. Se propone además, instalar una red de alcance regional o nacional coincidente con las estaciones meteorológicas del SMN y el INTA, como así también sumar aquellas privadas. Estas últimas situadas mayoritariamente en las bases de operaciones de los contratistas de pulverización aérea y directamente beneficiados con su oportuna determinación. En consecuencia, se propone analizar los siguientes 5 parámetros:

- ✓ Momento de ocurrencia (meses / época del año)
- ✓ Intensidad ( $\Delta T$  y viento)
- ✓ Duración (minutos)
- ✓ Cambios en la estabilidad atmosférica a lo largo del día (mañana, medio día, tarde y noche)
- ✓ Ubicación geográfica (diferencias según área ecológica)

## **Referencias bibliográficas**

**Brooks, FA.** 1947. The drifting of poisonous dust applied by airplanes and land rigs. *Agricultural Engineering* 28 (6): 233-239.

**Dennis R. Gardisser and Dennis K. Kuhlman.** 1992. *Agricultural Aircraft Calibration and Setup for Spraying*. Cooperative Extension Service, Paper Number: MF-1059. Kansas State University. 20 pages.

**EPA.** 1976. *A guide for commercial applicators*. US Environmental Protection Agency, Office of Pesticide Program. Washington D.C. 20460. 8 pages

**Fritz, BK.** ASAE-2003. *Measurement and Analysis of Atmospheric Stability in Two Texas Regions*. Paper Number: AA03-005. An ASAE Meeting Presentation. 13 pg.

**Fritz, BK; Hoffmann, WC; Lan, Y; Thomson, JS; Huang, Y.** 2008. *Low-Level Atmospheric Temperature Inversions and Atmospheric Stability: Characteristics and Impacts on Agricultural Applications*. USDA-ARS, College Station, TX and Stoneville, MS, 10 pages.

**Matthews, GA.** 2008. *Pesticide Application Methods*. Ed. Wiley-Blackwell. Oxford, UK. 432 pg.