



INSTITUTO NACIONAL DE TECNOLOGÍA AGROPECUARIA  
Centro Regional Santa Fe

Estación Experimental Agropecuaria INTA Oliveros

---

## FENÓMENO DE INVERSIÓN TÉRMICA: Efectos sobre las pulverizaciones.

Autores: *Ings. Agrs. Costanzo, Marta<sup>(1)</sup> y Massaro, Ruben A.<sup>(2)</sup>*

(1) Ex-docente Cátedra Climatología Agrícola, Facultad de Ciencias Agrarias, Univ. Nac. de Rosario.

(2) Profesional Asociado, INTA EEA Oliveros, Santa Fe.

Palabras clave: Inversión térmica, Meteorología, Pulverizaciones agrícolas.

---

### I. INTRODUCCIÓN

#### 1.a. ¿Qué es la inversión térmica?

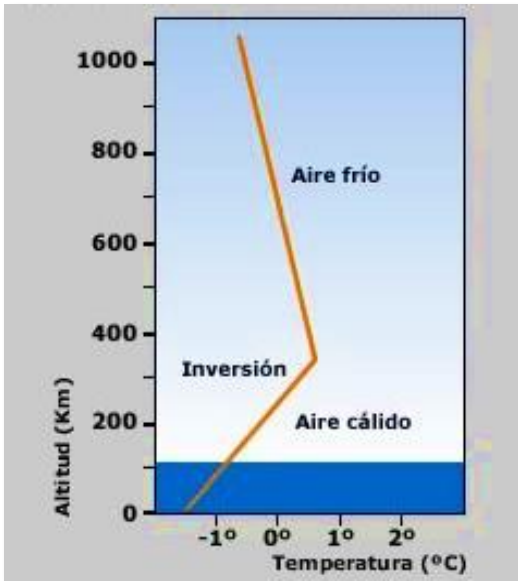
El fenómeno meteorológico llamado **Inversión Térmica (IT)** es natural y se produce por enfriamiento de las capas de aire inferiores, cercanas a la superficie, durante las horas de la noche. Prácticamente ocurre, según bibliografía y estudios locales, todos los días de nuestro calendario. Pero en determinadas épocas del año es cuando adquiere importancia para las pulverizaciones terrestres y aéreas.

La temperatura del aire depende, fundamentalmente, del intercambio de calor que se realice entre la capa inferior del aire con la superficie (suelo, vegetación, agua, hielos) ya que los gases que componen la atmósfera son casi transparentes a la radiación solar (luz visible), y algunos de ellos, absorben las radiaciones térmicas o de onda larga.

La superficie del suelo, en cambio, absorbe una parte de la luz que recibe produciendo un aumento de la temperatura superficial del mismo y, en consecuencia, irradia calor principalmente hacia el aire, y parte lo conduce a las capas inferiores del suelo.

De esto depende que en horas diurnas las superficies, suelo o cultivos, incrementen su temperatura, irradiando calor, principalmente hacia el aire que está por encima de él. En consecuencia, el calentamiento del aire es de abajo hacia arriba, o sea que la **temperatura disminuye con la altura**, causado en gran medida por el alejamiento de la fuente de calor, por el enfriamiento que sufre el aire al ascender y expandirse. Al **descenso de la temperatura con la altura se lo define como PERFIL TÉRMICO**

**NORMAL:** la temperatura del aire es mayor cerca de la superficie y disminuye con la altura. En promedio, el aire muestra un **descenso de la temperatura** de 6,5°C/km de altura. Pero **cuando se produce un aumento de la temperatura del aire con la altura, se habla de INVERSIÓN TÉRMICA:** aire más frío abajo y más cálido arriba.



La IT se puede presentar en un estrato cercano a la superficie terrestre, así como en una capa ubicada en altura. Por ejemplo, **cuando una capa de aire frío se encuentra debajo de una capa de aire más caliente.** Es un proceso no permanente, dinámico en el tiempo en cuanto a su altura de formación, espesor de la capa involucrada, y duración.

**Las inversiones térmicas favorecen la estabilidad atmosférica cuando se presentan en superficie, influyendo en el estancamiento de los contaminantes, mientras el fenómeno dure (Figura 1).**

**Figura 1.** Inversión térmica a baja altura.

**Fuente:** InfoMurcia. Glosario.

### 1.b. Tipos de inversión térmica

- Inversión nocturna o por radiación del aire junto al suelo
- Inversión marina.
- Inversión frontal
- Inversión por subsidencia.
- Las dos primeras son inversiones de superficie mientras que las dos últimas se dan en altura **(Figura 2).**



**Figura 2.** Distintos tipos de inversiones térmicas.

La inversión térmica en superficie o nocturna es la que nos interesa para las pulverizaciones.

Como se mencionó anteriormente, cerca de la superficie, la temperatura del aire está muy influida por las variaciones diarias del balance de radiación del suelo (características del suelo y vegetación). Durante las horas en que el suelo no recibe luz solar (horas nocturnas), se produce un enfriamiento rápido de la superficie del mismo. A medida que la superficie del suelo se enfría, la capa de aire pegada a la superficie también lo hace; en consecuencia, aumenta su densidad y se vuelve muy estable; vale decir, se impide cualquier movimiento vertical. **La inversión térmica se inicia entonces en la superficie, ganando espesor con el transcurso del tiempo.**

El proceso se revierte, después de la salida del sol o durante las primeras horas de la mañana, al calentarse la superficie del suelo, la cual irradia calor al aire que está inmediatamente por encima de él. Este aire caliente, es menos denso, se eleva y favorece la mezcla turbulenta vertical. **Es por esta razón, que la IT se va disipando de abajo hacia arriba.**

Los contaminantes que quedan atrapados debido a las inversiones son dispersados por la vigorosa mezcla vertical producida cuando la inversión se interrumpe.

### 1.c. Relación entre la ocurrencia de IT y estabilidad atmosférica

Dado que el aire frío es más denso, dentro de una capa con inversión térmica, la densidad del aire es mayor en la base que en el tope. Esto provoca una estratificación, con el aire más pesado cerca de la superficie; se inhibe la mezcla vertical, más aún si no hay viento. Por eso se dice **que la inversión térmica es una situación muy estable.**

**Como resultado, el aire puede moverse sólo horizontalmente (*flujo laminar*) dentro de la inversión, en forma muy suave.**

#### Id. ¿Qué factores influyen sobre la IT?

- Las características de la cobertura superficial, suelo o vegetación
- La topografía
- La humedad del aire
- La ocurrencia o no del viento

---

## II. MEDICIÓN Y ESTIMACIÓN DE LA INVERSIÓN TÉRMICA

Los diversos factores que describen la meteorología local y que afectan al comportamiento de la pulverización, han sido combinados en una sola función que engloba el gradiente vertical de temperatura y la velocidad del viento, la llamada **relación de estabilidad (SR, en inglés)**, y se introdujo como una simplificación del número de Richardson, empleado anteriormente (Coutts y Yates, 1968), según Akesson y otros (1975).

$$SR = \frac{T_2 - T_1}{U^2} \times 10^5$$

En esta fórmula,  $T_2$  y  $T_1$  son temperaturas en grados Celsius o Centígrados, tomadas a 10 m y a 3,5 m de altura, respectivamente, y  $U$  es la velocidad del viento en centímetros por segundo (cm/s) a 5 m de altura.

Las alturas de medición están adaptadas para aeroplificadores. Para equipos terrestres podrían usarse las mismas, o reemplazar la altura de  $T_1$  al tope del cultivo.

Cuando la temperatura del aire en altura ( $T_2$ ) es menor que en superficie ( $T_1$ ), hay condiciones meteorológicas de mezcla turbulenta y la relación SR toma valores **negativos**. Si la SR se aproxima a cero, existen condiciones neutras; es decir, prevalece el gradiente térmico normal, condiciones que son de mezcla vertical suave. En cambio, cuando **SR es positiva**, la temperatura  $T_2$  es mayor que la  $T_1$ , lo cual quiere decir que el aire de arriba es más caliente que el de superficie, existe **inversión térmica** y se presentan condiciones estables, muy estable si la velocidad del viento ( $U$ ) es nula, o muy suave. La velocidad del viento favorece la mezcla vertical de las capas de aire, rompiendo la estratificación del mismo. Por lo tanto, la ausencia de viento o su intensidad muy baja (menos de 3 km/hora) favorecen la ocurrencia de la IT.

El grado de peligrosidad de una IT depende de la interacción entre el gradiente térmico vertical y la intensidad de la turbulencia vertical. Ambos dependen de: la tasa de enfriamiento de la superficie, las variaciones de la velocidad del viento, la rugosidad de la superficie, los efectos intermitentes de sombreado de la nubosidad transitoria y vientos de drenaje que inyectan aire fresco en la base de la inversión (Tepper, 2017).

Miller, 2001 (citado por Tepper, 2017) encontró que, bajo condiciones de estabilidad, cuando se suprime la mezcla vertical, los plaguicidas no se dispersan verticalmente pero sí horizontalmente en grandes concentraciones cerca de la superficie. En cambio, en condiciones inestables, con mezcla vertical intensa, los plaguicidas tienden a irse hacia arriba diluyéndose.

Si se aplican plaguicidas con corrientes convectivas capaces de elevar las gotas y al mismo tiempo hay capas de inversión térmica en altura, es muy probable que las gotas y vapores arrastrados se acumulen y concentren en la zona inmediatamente inferior a la capa de inversión, pudiendo desplazarse horizontalmente o caer cuando las condiciones meteorológicas cambien (Costanzo et al., 2019).

Si se realiza la pulverización dentro o por encima de la capa de inversión, sea ésta a nivel del suelo (aplicación aérea y terrestre) o en altura (aplicación aérea), las gotas pequeñas no podrán atravesarla y quedarán atrapadas en la misma, no llegando al cultivo.

---

### III. CÓMO DETERMINAR SI OCURRE UNA INVERSIÓN TÉRMICA

El método más preciso para determinar si hay IT es realizar mediciones muy cuidadosas del perfil térmico vertical por medio de instrumentos. Para ello, se pueden hacer observaciones simultáneas a distintas alturas -mínimo en 2 niveles- contando con sendos termómetros. En cuanto a los termómetros, hay que tener en cuenta:

- 1) La temperatura del aire que se mide a niveles tan próximos, puede diferir sólo unos pocos grados e incluso décimas de grado, por lo que deben tomar medidas cuidadosamente; además, se recomienda que cuenten con una apreciación 0,05°C, aunque lo más frecuente es contar con sensores de apreciación de 0,1°C (Tepper, 2017).  
El uso de termómetros digitales, brinda la posibilidad de leer hasta centésimas de grado.
- 2) Si se usan dos instrumentos, asegurarse que ambos estén calibrados para leer exactamente la misma temperatura, para minimizar errores de lectura. Se pueden calibrar periódicamente durante la temporada, a las temperaturas típicas que encuentre en el campo o testearlos con el termómetro dentro del abrigo de una estación meteorológica.
- 3) Es muy importante que todo el tiempo estén protegidos de la radiación solar directa, para evitar lecturas erróneas por calentamiento por radiación; incluso cuando el sol esté muy bajo sobre el horizonte, como ocurre al amanecer y atardecer.

No menos importante es elegir adecuadamente dónde tomar las mediciones: La mejor opción es medir la temperatura del aire en el mismo predio a pulverizar o en un área donde las condiciones del suelo y del cultivo sean las mismas que las del área a asperjar.

Según Tepper (2017), visualmente y a campo, se puede detectar la ocurrencia de una IT a través de: la ausencia de viento, presencia de rocío, movimiento del humo o polvo en suspensión o nieblas cerca de la superficie. Otros indicadores son **las temperaturas en superficie que deben ser muy bajas**.

---

#### IV. ESTUDIOS SOBRE LA INVERSIÓN TÉRMICA NOCTURNA

Barbero et al. (2020) midieron temperaturas del aire a diferentes alturas entre 0 a 10 m en forma horaria en Zavalla (Sta. Fe) durante los meses de enero, abril, julio y octubre de 2018. Determinaron que en todos los meses analizados se presentó inversión térmica nocturna diariamente, tanto en el estrato 0 a 1,5 m, como en estrato de 1 a 5 m y el de 5 a 10 m. En cuanto al momento de inicio y fin de la IT, en el estrato inferior comenzó antes del anochecer y terminó después del amanecer; se corroboró que el fenómeno se inicia desde superficie y va ascendiendo, y se disipa en el mismo sentido en el rango de altitud evaluada en este estudio.

Leiva (2013), en Pergamino (BA), midió que la IT se dio diariamente y, en promedio, se inició antes del anochecer finalizando después de la salida del sol.

---

#### V. EFECTOS SOBRE LAS PULVERIZACIONES.

Los estudios relacionan la IT con el tamaño de las gotas para evitar situaciones de deriva (Enz y otros, 2019; Leiva, 2013), enfatizando que **no se debe pulverizar con gotas finas o muy finas cuando ocurre**

este fenómeno, sino con gotas de tamaño mayor (superior a los 400 micrones). Esta información del tamaño de las gotas (en micrones) se encuentra disponible en los Catálogos de las diferentes marcas comerciales que producen y venden las boquillas en muchos países (Teejet, 2022; SPRAYtec 2022). Pero no se relaciona el tamaño de las gotas y su recorrido después de ser expulsadas de las boquillas. No diferencian las boquillas hidráulicas de las hidroneumáticas (tipo Venturi, aire inducido o asistidas por aire). Las primeras boquillas citadas producen una pulverización en la que las gotas quedan en caída libre, en suspensión, después de un corto recorrido. Pulverizando con boquillas de aire inducido, las gotas no quedan en suspensión en la capa de aire fría cercana a la superficie, no sólo por su mayor tamaño sino por el efecto del Venturi (diseño interior) que impulsa las gotas, atravesando la capa de aire cercana (Massaro, 2021).

---

## VI. BIBLIOGRAFÍA.

- **AKESSON**, Norman y Yates. 1975. El empleo de aeronaves en la agricultura. FAO, Cuadernos de fomento agropecuario N° 94, Cap. 9, pág. 113-120.
- **BARBERO**, S.; Doval, T.; Kissling, M.; Lorenzatti, T.; Pensato, L.; Rodríguez, A.; Yurun, V.; Jozami, E. y Coronel, A. 2020. Caracterización del fenómeno de inversión térmica en Zavalla. XIII Reunión Argentina y IX Latinoamericana de Agrometeorología (RALDA 2020), Paraná, Entre Ríos. 25 al 27-11-2020. Actas disponibles en <https://www.siteaada.org/>
- **COSTANZO**, M., Carrancio, L. y Massaro, R.A. 2019. Efectos del ambiente sobre la pulverización de plaguicidas. Conceptos básicos de micrometeorología agrícola. INTA Oliveros, Para Mejorar la Producción 58, pág. 107-210.
- **ENZ**, J.W.; Hofman, V.; Thostenson, A. 2019. Air Temperature Inversions. Causes, Characteristics and Potential Effects on Pesticide Spray Drift (AE1705, Revised Oct. 2019). NDSU, Extensión Service. <https://www.ag.ndsu.edu/publications/crops/>, consultado en marzo 2022.
- **GRAEMER TEPPER**, 2017. Micro-Meteorological Research and Educational Services (MRES). 26 pág.
- **LEIVA**, P.D. 2013. Recaudos por deriva en pulverizaciones agrícolas. Siete aspectos importantes para su manejo. INTA EEA Pergamino, 6 pág.
- **MASSARO**, R.A. 2021. Deriva: Pérdida de gotas en pulverizaciones terrestres. INTA EEA Oliveros, 4 pág.
- **SPRAYtec SRL**. 2022. Catálogo. Componentes para pulverizadores. 110 pág.
- **Teejet Technologies**. 2022. Catálogo 51A-ES. 164 pág.