



Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria
Centro Regional Santa Fe
Estación Experimental Agropecuaria Oliveros

El Delta T (ΔT) como indicador del ambiente meteorológico para pulverizaciones

Ing. Agr. MSc. Luis A. Carrancio¹; Ing. Agr. Rubén A. Massaro²

¹ Profesional de INTA EEA Oliveros. carrancio.luis@inta.gob.ar

² Profesional Grupo Desarrollo Rural, INTA EEA Oliveros. massaro.ruben@inta.gob.ar

Palabras clave: plaguicidas, pulverización, deriva, Delta T.

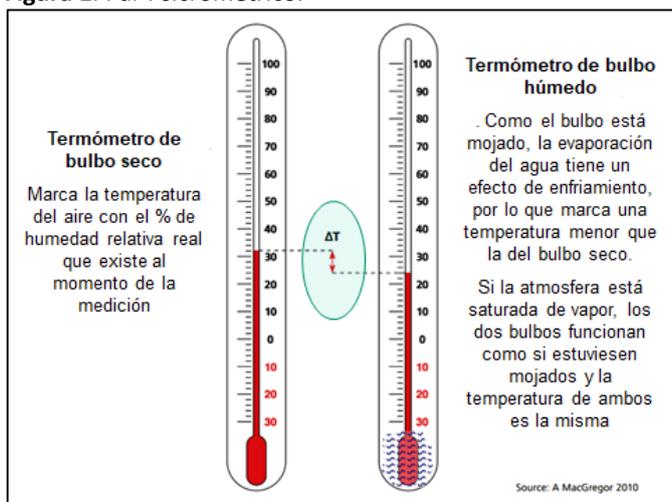
La caracterización del ambiente meteorológico es fundamental para la decisión de realizar aplicaciones de plaguicidas mediante la pulverización en base acuosa.

Tal es así que, junto al dato de tamaño de gota, siempre se recomienda conocer velocidad y dirección del viento, temperatura, humedad relativa, punto de rocío, incluso probabilidad de precipitaciones, entre otras. (Carrancio, *et al*, 2015).

Un indicador, aun poco difundido en nuestro país es el denominado Delta T (ΔT) o Delta Temperatura, el cual es utilizado desde hace más de diez años en países como EEUU, Canadá, Australia y Nueva Zelanda principalmente (Agriculture Victoria, 2017; Australian Government, 2017; Peter Hughes, 2008).

Este indicador es un estimador confiable y eficiente de la cantidad de vapor que la atmósfera puede absorber a una temperatura dada. Desde el punto de vista agronómico, y específicamente de la deriva, está directamente ligado al potencial de evaporación del agua de la gota pulverizada. Otro aspecto importante es la relación existente con el estrés vegetal y éste con la penetración de plaguicidas que actúan con diferentes grados de sistema.

Figura 1. Par Psicrométrico.



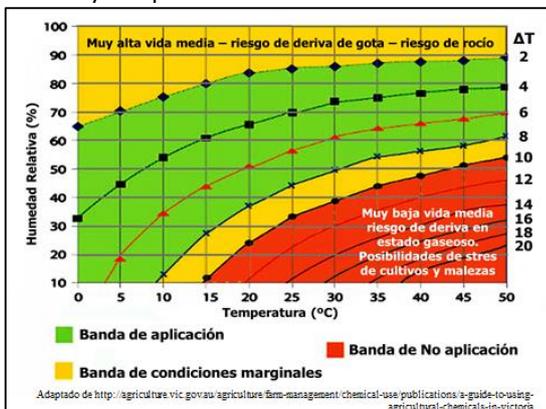
Se define como ΔT a la diferencia entre la temperatura del termómetro de bulbo seco y la temperatura del termómetro de bulbo húmedo, registrada por el Par Psicrométrico, medida en grados Celsius ($^{\circ}\text{C}$), para nuestro medio (Figura 1). Aunque la forma más tradicional de calcularlo es la mencionada, en la práctica se lo puede hacer a partir de datos locales de temperatura y humedad relativa mediante una Tabla Psicrométrica (Tabla 1), gráfico de curvas de ΔT (Figura 3) o por lectura directa en aparatos meteorológicos específicos que lo calculan instantáneamente (Figura 2).

El ΔT , cuando está definido por la relación de temperatura y humedad relativa, puede ser influenciado por la velocidad del viento: a mayor velocidad más evaporación. El efecto del viento está contemplado en el caso del cálculo del ΔT mediante el Par Psicrométrico, dado que este último toma condiciones reales de ambas temperaturas.

Figura 2. Instrumento manual para medición de variables meteorológicas (Kestrel, 2017).



Figura 3. Curvas de ΔT en función de humedad relativa y temperatura.



Idealmente los valores de ΔT apropiados para pulverizar plaguicidas deben estar entre 2 y 8, y nunca más de 10. Los valores bajos de ΔT , menores a 2, prolongan la vida media de las gotas en estado líquido, lo que puede aumentar el riesgo de deriva de la pulverización a mayor distancia antes que se evapore el agua de las mismas. También, con valores próximos a 0, hay riesgo de rocío (Graemer Tepper, 2017).

Valores elevados de ΔT , superiores a 8, indican altas tasas de evaporación del agua y una baja supervivencia de las gotas, causando dispersión de vapor o aumentando la flotabilidad de las mismas por disminución del diámetro. En estas situaciones se puede agregar la alta probabilidad que, tanto cultivos como malezas, presenten estrés hídrico (Australian Government, 2017).

Los valores de temperatura y humedad relativa por si solos y separados, no alcanzan para caracterizar correctamente al ambiente meteorológico, dado que la capacidad máxima de la atmosfera de retener vapor puede ser diferente aún con igual humedad relativa pero con diferentes temperaturas.

Por ejemplo, el aire que está con una HR = 40 % a una temperatura de 20 °C ($\Delta T=7$) posee 5,78 gr de agua/kg de aire seco y potencialmente puede absorber 8,89 gr de agua/kg de aire seco más, hasta saturarse (100 % HR). El mismo aire con HR=40% a una temperatura de 30°C ($\Delta T=9$) posee 10,59 gr de agua/kg de aire seco y potencialmente puede absorber 15,87 gr de agua/kg de aire seco más, hasta saturarse; es decir 6,98 gr de agua/kg de aire seco más que en el caso anterior. Por lo que a la misma humedad relativa pero por diferencia de temperatura, el potencial de evaporación del aire más caliente aumenta un 77 % respecto del más frío (Tabla 2).

Tabla 2. Variación de la capacidad de absorción de agua del aire a diferentes relaciones de T (°C) y HR (%).

T (°C)	HR (%)	gr. agua/kg. aire	gr. agua/kg. aire (a 100% HR)	Absorción potencial (gr. agua/kg. aire)
30	20	5,25	26,46	21,21
	30	7,91		18,55
	40	10,59		15,87
	50	13,31		13,15
	60	15,77		10,69
	70	18,78		7,68
	80	21,11		5,35
	90	23,77	2,69	

T (°C)	HR (%)	gr. agua/kg. aire	gr. agua/kg. aire (a 100% HR)	Absorción potencial (gr. agua/kg. aire)	Diferencia de la absorción entre 30 y 20°C (gr. agua/kg. aire)
20	20	2,88	14,67	11,79	-9,42
	30	4,33		10,34	-8,21
	40	5,78		8,89	-6,98
	50	7,25		7,42	-5,73
	60	8,72		5,95	-4,74
	70	10,20		4,47	-3,21
	80	11,69		2,98	-2,37

	90	13,19		1,48	-1,21
--	----	-------	--	------	-------

Matthews, G.A. (1988), generó una fórmula mediante la cual se puede calcular la Vida Media de una gota en segundos, a partir del diámetro de la misma y el ΔT .

Johnstone & Johnstone (1977) (en Matthews, G.A., 1988) ya recomendaban suspender las aplicaciones para volúmenes menores a 50 lt/ha, cuando la Vida Media de la gota es menor o igual a 62 segundos. Y para volúmenes superiores a 50 lt/ha., cuando la Vida Media de la gota es menor o igual a 30 segundos (Tabla 3).

Vida media de una gota (seg)

$$\frac{(\text{Diámetro de la gota en } \mu\text{m})^2}{80 \times (\Delta T)}$$

adaptado de Matthews, G.A. 1988. Métodos para la Aplicación de Pesticidas. C.E.C.S.A. México.

Tabla 3. Vida media de la gota según ambiente meteorológico.

Vida de la gota según el ambiente $\Delta T=8$				Vida de la gota según el ambiente $\Delta T=1,5$			
Tamaño de gota (μm)	Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)	Humedad Relativa (%)	Vida Media (en segundos)	Tamaño de gota (μm)	Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)	Humedad Relativa (%)	Vida Media (en segundos)
50	30 $^{\circ}\text{C}$	45 %	3,9	50	25 $^{\circ}\text{C}$	87 %	20,8
100			15,6	100			83,3
150			35,1	150			187,5
200			62,5	200			333,3
300			140,6	300			750,0

Junto con la evaluación de la Vida Media de la gota, a partir del ΔT (Figura 4 y 5), es importante tener en cuenta la deriva por acción del viento, para lo cual existe la clasificación de los tamaños de gota basada en las especificaciones del Consejo Británico de Protección de Cultivos (BCPC) y de conformidad con la norma S-572.1 de ASABE vigente desde 2009. En la misma se establece que para disminuir la deriva debe pulverizarse con gotas mayores de 250 μ de Diámetro Volumétrico Medio (DVM).

Figura 4. Relación entre Tiempo de vida media de una gota y el ΔT .

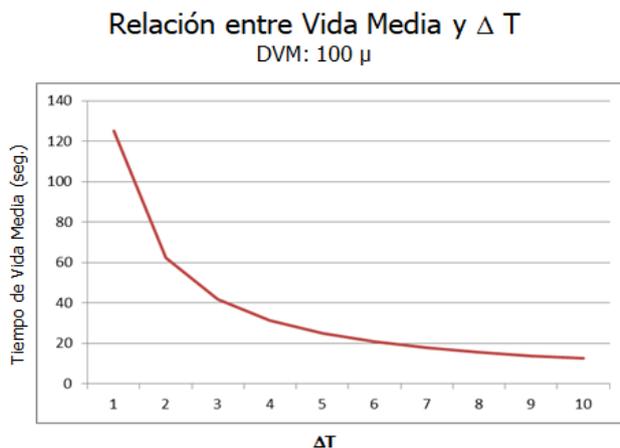
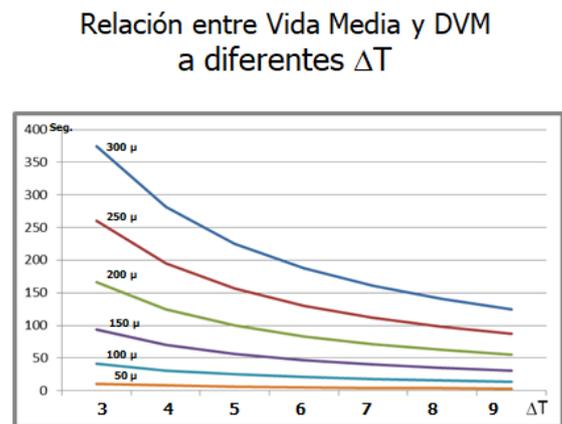
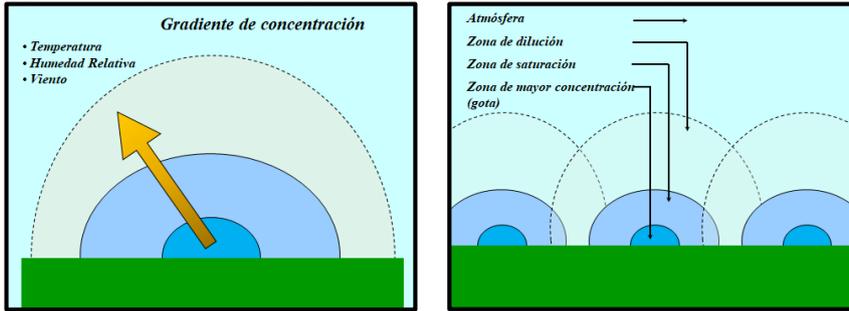


Figura 5. Relación entre vida media de la gota y DVM a diferentes ΔT .



La relación entre el ΔT y la Vida Media de la gota para un determinado DVM, muestra que a mayor ΔT menor vida media; dicha relación se hace más crítica a medida que disminuye el DVM. La fórmula desarrollada por Matthews, G.A. (1988), es indicativa para ambientes sin viento.

Figura 6. Evaporación de la gota sobre la hoja o sobre una superficie sólida



El viento es un factor determinante para la evaporación del agua de la gota, dado que éste remueve la capa de aire saturado de vapor de agua que rodea a la gota, aumentando el gradiente de humedad entre esta y el aire que la circunda (Figura 6).

Existen estudios en los cuales se ha ponderado la variación del Índice de Evaporación de las gotas en función de la velocidad del viento (Lopez M. *et al.*, 2009) pudiendo establecerse una relación como se muestra en Figura 7.

Figura 7. Relación entre velocidad de viento e Índice de evaporación de la gota.



Figura 8. Efecto de la velocidad del viento sobre los valores de la constante (Cte.).

Velocidad del viento (km/h)	Cte.	Velocidad del viento (km/h)	Cte.
0	80,00	8	108,00
1	82,41	9	113,49
2	84,77	10	119,30
3	86,32	11	132,27
4	87,87	12	145,30
5	92,60	13	170,65
6	96,30	14	196,20
7	98,03	15	221,30

El efecto del viento sobre la evaporación aumenta con el aumento de la velocidad.

Si integramos estos nuevos valores a las curvas de ΔT , para toma de decisiones se pueden obtener nuevos gráficos para diferentes rangos de viento (0-5, 6-10 y 11-15 km/h) como los siguientes (Figura 10). A partir de este estudio, se modificó la magnitud de la constante utilizada por Matthews, G.A. (1988), generando nuevos valores para la misma según la velocidad del viento, tomando rangos entre 1 y 15 km/h, dado que esta última es la máxima aceptada para aplicar dentro de los parámetros de la buena práctica de pulverización (Figura 8).

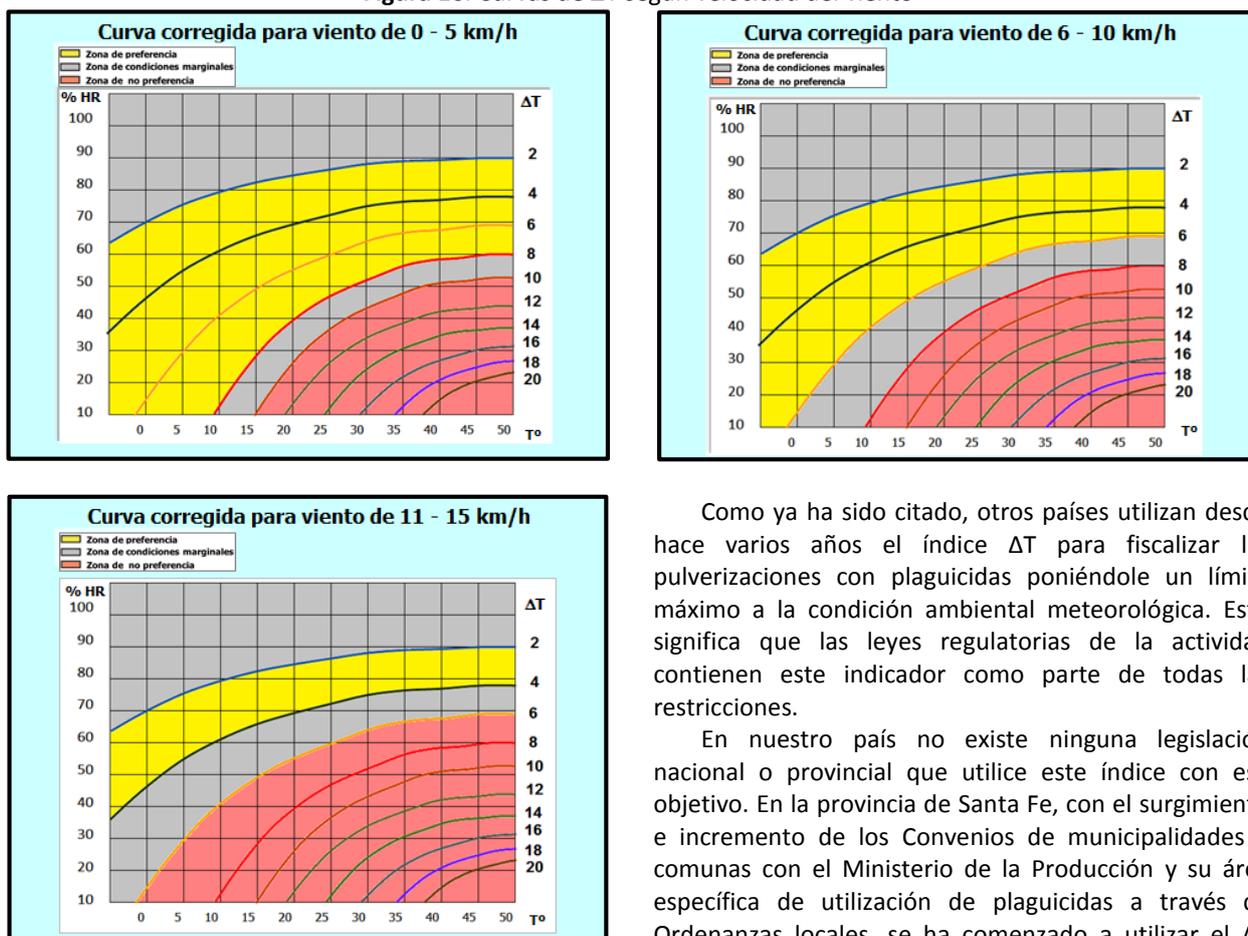
Si utilizamos las nuevas constantes se pueden calcular los valores de Vida Media de las gotas, para cada DVM a diferentes ΔT (Figura 9).

Figura 9. Vida media de la gota en función del DVM, velocidad del viento para $\Delta T= 4,5$ y $\Delta T=8$

Diámetro (μ)	$\Delta T= 4,5$								
	Velocidad del viento (km/h)								
	0	2	4	6	8	10	12	14	
50	6,94	6,6	6,3	5,8	5,1	4,7	3,8	1,7	
100	27,78	26,4	25,3	23,1	20,6	16,6	15,3	6,9	
150	62,50	59,4	56,9	51,9	46,3	41,9	34,4	15,6	
200	111,11	105,6	101,1	92,2	82,2	74,4	61,1	27,8	
250	173,61	164,9	158,0	144,1	128,5	116,3	95,5	43,4	
300	250,00	237,5	227,5	207,5	185,0	167,5	137,5	62,5	
350	340,28	323,3	309,7	282,4	251,8	228,0	187,2	85,1	
400	444,44	422,2	404,4	368,9	328,9	297,8	244,4	111,1	

Diámetro (μ)	$\Delta T= 8$							
	Velocidad del viento (km/h)							
	0	2	4	6	8	10	12	14
50	3,90	3,7	3,6	3,2	2,9	2,6	2,1	1,0
100	15,60	14,8	14,2	13,0	11,6	10,5	8,6	3,9
150	35,20	33,4	32,0	29,2	26,0	23,6	19,3	8,8
200	62,50	59,4	56,9	51,9	46,3	41,9	34,4	15,6
250	97,70	92,8	88,9	81,1	72,3	65,4	53,7	24,4
300	140,60	133,6	128,0	116,7	104,1	94,2	77,3	35,2
350	191,40	181,8	174,2	158,9	141,6	128,2	105,3	47,9
400	150,00	237,5	227,5	207,5	185,0	167,5	137,5	62,5

Figura 10. Curvas de ΔT según velocidad del viento



Como ya ha sido citado, otros países utilizan desde hace varios años el índice ΔT para fiscalizar las pulverizaciones con plaguicidas poniéndole un límite máximo a la condición ambiental meteorológica. Esto significa que las leyes regulatorias de la actividad contienen este indicador como parte de todas las restricciones.

En nuestro país no existe ninguna legislación nacional o provincial que utilice este índice con ese objetivo. En la provincia de Santa Fe, con el surgimiento e incremento de los Convenios de municipalidades y comunas con el Ministerio de la Producción y su área específica de utilización de plaguicidas a través de Ordenanzas locales, se ha comenzado a utilizar el ΔT como variable para autorizar pulverizaciones en áreas periurbanas.

Esto sucede en localidades como Godoy, Arequito, Oliveros. En estas y en otras comunas se está difundiendo este indicador a través de capacitaciones específicas de Buenas Prácticas de Pulverización.

Desde 2013 a la actualidad, profesionales de INTA EEA Oliveros (Santa Fe) se han abocado a la investigación en aplicación de plaguicidas en situaciones para control de malezas rastreras en barbecho químico, malezas con crecimiento avanzado o “doble golpe”, control de “orugas defoliadoras” y “chinchas” fitófagas en soja.

Los experimentos han sido realizados en condiciones de campo y con equipos automotrices. En todos ellos se han registrado las variables meteorológicas en el sitio experimental: temperatura (°C), humedad relativa (HR %) y velocidad del viento (km/h). Con las variables de temperatura y HR se ha buscado el para describir el ambiente meteorológico de cada tratamiento. En algunos de ellos se trabajó en condiciones meteorológicas extremas (, y no recomendables, para poder evaluar el efecto de algunas técnicas de pulverización y de coadyuvantes agregados al caldo de pulverización (Massaro *et al*, 2013, 2014, 2016, 2017 y 2018).

En la Tabla 4 se describen las condiciones en que se realizaron los trabajos y el correspondiente ΔT . Como se puede observar en esa descripción, el ambiente adverso para las pulverizaciones definido por un ΔT superior a 8, fue compensado por el uso de pastillas hidroneumáticas, asistidas por aire o tipo Venturi. Estos componentes de aspersión le dan velocidad a la salida de las gotas por lo que las mismas no quedan suspendidas y expuestas al arrastre por el movimiento del aire en un ambiente de alta evaporación. También se utilizaron coadyuvantes reductores de la evaporación del agua (antievaporantes o antiderivas) para prolongar la vida media de las gotas en un ambiente adverso, cuando se pulverizó con pastillas hidráulicas.

Oliveros, julio de 2018

Tabla 4. Delta T para diferentes situaciones en ensayos de aplicación de plaguicidas.

Situación de trabajo	Tipo de pastilla	Tamaño de las gotas ⁽¹⁾	Cobertura (gotas/cm ²)	Plaga y Eficacia del control	Velocidad del viento (km/h)	ΔT
Barbecho químico con malezas rastreras	MagnoJet AD/AI 110015	VC	21	“Rama negra” 90.4 %	0-8	6-8.5
	MagnoJet AD/IA 110015	C	31	“Rama negra” 94.2 %	0-12	7.5-8.5
	Teejet TT110003	C	45	“Rama negra” 92.5 %	0-4	9.5-10
Barbecho químico con malezas rastreras	Teejet AI 110025	XC	29	“Rama negra” 100 %	10-14	9.1-9.2
	Teejet AI 110025	VC	35	“Rama negra” 100 %	10-12	8.7
	Hypro AP 11002	F	109	“Rama negra” 100 %	12-14	8.4-8.2
Insecticida en soja desarrollada.	MagnoJet AD/AI 110015	C	Tercio superior=39 Tercio medio=25	“Oruga anticarsia” 87/44 %	2-12	9.5
	MagnoJet Cono lleno CH 100-1	M	Tercio superior=92 Tercio medio=48	“Oruga anticarsia” 86/93 %	2-12	9.5
Insecticida en soja desarrollada.	MagnoJet Cono lleno CH 100-1 sin coadyuvante.	M	Tercio superior=88 Suelo entre tallos=17	“Complejo de chinches ninfas grandes y adultos” = 66 %	2-12	8.5
	MagnoJet Cono lleno CH 100-1 con coadyuvante.	M	Tercio superior=107 Suelo entre tallos=24	“Complejo de chinches ninfas grandes y adultos” =83 %	2-12	8.5

⁽¹⁾Norma ASABE S-572.1**Bibliografía.**

1. Agriculture Victoria. 2017. A guide to using agricultural chemicals in Victoria. <http://agriculture.vic.gov.au/agriculture/farm-management/chemical-use/publications/a-guide-to-using-agricultural-chemicals-in-victoria>
2. ASABE. 2009. Norma S-572.1.
3. Australian Government, 2017. Bureau of Meteorology. <http://www.bom.gov.au/lam/deltat.shtml>
4. Australian Government, 2017. Bureau of Meteorology, Weather for Pesticides Spraying. <http://www.bom.gov.au/info/leaflets/Pesticide-Spraying.pdf>
5. Carrancio, L.; Massaro, R. y Cardozo, F. 2015. Criterios para el uso de plaguicidas en áreas críticas INTA Oliveros, Artículo Técnico, 4 pág.
6. Graemer Tepper, 2017. Micro-Meteorological Research and Educational Services (MRES).
7. Kestrel Instruments. 2017. Preventing Spray Drift. <https://kestrelinstruments.com/blog/preventing-spray-drift/>
8. López, M., Mujica, A. y Duarte, L. 2011. Criterio sobre la formulación matemática para el cálculo de pérdidas por evaporación y arrastre a baja presión. Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias, Vol. 20,2. Abril-junio.
9. Massaro, R. 2013. Aplicación de plaguicidas en áreas críticas. INTA EEA Oliveros, Para Mejorar la Producción 50, Cultivos Estivales.
10. Massaro, R.A.; García, A.; Batch, J.; Cejas, E.; Pereyra, D. 2013. Evaluación de la eficacia del *Bacillus thuringiensis* en el control de *Anticarsia gemmatilis* en soja, con pulverización antideriva. INTA EEA Oliveros, Para Mejorar la Producción 50, pág. 79-82.
11. Massaro, R.A.; García, A.; Magnano, L. 2014. Evaluación de técnicas de pulverización antideriva para el control de malezas en barbecho químico. INTA EEA Oliveros, Revista Para Mejorar la Producción 52. Pág. 147-150.
12. Massaro, R.; Kahl, M.; Behr, E. 2014. Aplicación de herbicidas con pastillas antideriva para el control de malezas en barbecho químico. INTA EEA Oliveros, Revista Para Mejorar la Producción 52. Pág. 133-136.
13. Massaro, R.A.; García, A. y Kahl, M. 2017. Efecto de dos coadyuvantes en el control de malezas en barbecho químico con dos técnicas de pulverización terrestre. INTA EEA Oliveros, Revista Para Mejorar la Producción 56. Pág. 117-124.
14. Massaro, R.A., Kahl, M., Behr, E., Yanguas, M. 2017. 13º Encuentro Nacional de Monitoreo, Libro de Resúmenes, pág. 43.
15. Massaro, R.; García, A. y Papa, J.C. 2018. Evaluación del control de *Conyza sp.* con herbicidas en doble golpe y con diferentes técnicas de pulverización terrestre. II Congreso Argentino de Malezas (ASACIM). Ciencia, producción y sociedad: hacia un manejo sustentable, Rosario, 5 y 6 de junio de 2018. Actas, Pág. 84.
16. Matthews, G.A. 1988. Métodos para la Aplicación de Pesticidas. México, C.E.C.S.A.
17. Peter Hughes, 2008. Spray drift fact sheet. Queensland Department of Primary Industries and Fisheries. http://cottonaustralia.com.au/uploads/resources/Spray_Drift_Fact_Sheet%2C_GRDC.pdf

Tabla 1. Tabla Psicrométrica.

		$\Delta T (T^{\circ}S - T^{\circ}H)$																						
		0°C	0	0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5	5,5	6	6,5	7	7,5	8	8,5	9	9,5	10	
T e r m e t r o S e c o	1°	100	90	81	72																			
	2°	100	90	82	73	64																		
	3°	100	90	82	74	66	63	50																
	4°	100	91	83	75	67	60	52	44															
	5°	100	91	84	76	69	61	53	46	39														
	6°	100	92	86	77	70	63	56	48	42	36													
	7°	100	92	86	78	71	64	57	50	44	38	33												
	8°	100	92	86	78	72	66	59	52	46	40	34	28											
	9°	100	93	86	79	73	67	61	54	48	42	35	31	26										
	10°	100	94	87	80	74	68	62	56	50	44	39	34	28	23									
	11°	100	94	87	81	75	69	63	57	51	46	41	36	30	25	20								
	12°	100	94	88	82	76	70	63	59	54	48	43	38	33	29	23	18							
	13°	100	94	88	82	77	71	65	60	55	50	46	40	33	31	26	21	17						
	14°	100	94	88	83	78	72	67	62	57	52	47	42	37	33	28	23	19	18					
	15°	100	94	88	83	79	73	68	63	58	55	48	43	39	35	30	25	21	19	16				
	16°	100	95	88	84	80	74	69	64	59	56	50	46	41	37	32	27	23	19	18	14			
	17°	100	95	90	85	80	75	70	65	60	56	52	48	43	38	33	29	26	22	17	16	15		
	18°	100	95	90	85	80	76	70	65	61	57	53	49	44	40	36	32	28	24	20	19	17		
	19°	100	95	90	85	80	76	71	66	62	58	54	50	46	42	38	34	31	27	25	22	19		
	20°	100	95	90	85	81	76	72	68	64	60	56	52	48	44	40	36	33	29	26	22	19		
	21°	100	96	90	86	82	77	73	69	65	61	57	53	49	45	41	38	34	31	27	24	21		
	22°	100	96	90	86	83	77	73	69	66	61	58	54	50	47	43	40	36	32	29	26	23		
	23°	100	96	91	87	83	78	74	70	67	62	59	55	52	48	44	41	37	34	31	28	25		
	24°	100	96	91	87	83	78	74	70	68	63	60	56	53	50	45	43	39	36	33	30	27		
	25°	100	96	91	87	83	79	75	71	69	64	61	57	54	51	47	44	41	38	35	32	29		
	26°	100	96	92	87	83	80	76	72	70	65	62	58	56	52	48	45	42	39	36	33	31		
	27°	100	96	92	88	84	81	77	72	71	66	62	59	56	53	49	46	43	40	37	35	33		
	28°	100	96	93	88	85	81	77	73	71	66	63	60	57	54	50	47	44	41	39	37	36		
	29°	100	96	93	89	85	82	78	74	72	68	64	61	58	55	52	48	45	42	40	38	36		
	30°	100	96	93	89	85	82	78	74	72	68	65	62	59	55	52	49	46	43	41	39	37		
	31°	100	96	93	89	86	82	79	75	73	68	66	63	60	57	54	49	47	44	42	40	38		
	32°	100	96	93	89	86	83	79	76	73	69	66	63	60	58	55	50	49	45	43	41	39		
	33°	100	96	93	90	86	83	79	76	74	70	67	64	61	59	56	52	50	46	44	42	40		
	34°	100	96	93	90	87	83	80	76	74	70	67	65	62	59	57	53	50	47	45	43	41		
	35°	100	96	94	90	87	83	80	77	75	71	68	65	63	60	58	54	51	48	46	44	42		
	36°	100	96	94	90	87	83	80	77	76	71	68	66	63	61	58	54	52	49	47	45	43		
	37°	100	97	94	90	87	84	81	78	76	72	69	66	64	61	59	55	53	50	48	46	44		
	38°	100	97	94	91	87	84	81	78	76	72	70	67	64	62	59	56	54	51	49	47	45		
	39°	100	97	94	91	87	84	82	78	76	73	70	67	66	63	60	56	55	52	50	48	46		
	40°	100	97	94	91	88	84	82	79	76	73	71	68	66	63	61	58	56	53	51	49	47		