

VALORIZACIÓN DEL SISTEMA DE PRODUCCIÓN ARROCERO

DISIPACIÓN DE LOS HERBICIDAS CLOMAZONE Y QUINCLORAC EN ARROZ BAJO DOS TRATAMIENTOS DE RIEGO

Guillermina Cantou^{1/}, Alvaro Roel^{1/}, Mariana Carlomagno^{2/}, Gualberto González-Sapienza^{2/}

INTRODUCCIÓN

El cultivo de arroz en Uruguay se basa en general en un sistema de producción en rotaciones con pasturas e integrado con la producción ganadera, que permite considerarlo de baja intensidad e impacto ambiental. En los últimos 10 años, el cultivo ha ocupado un área anual promedio de 168 mil ha (DIEA-MGAP, 2009). El agua es un factor fundamental de la producción de arroz en Uruguay, ya que el cultivo se realiza bajo riego por inundación continua desde los 20-30 días posteriores a la emergencia hasta completar la madurez fisiológica.

En la zafra 2008/09, los herbicidas clomazone y quinclorac se aplicaron (sólo o en mezcla) en aproximadamente el 79 y 49% del área total sembrada con arroz, respectivamente (Molina *et al.*, 2009). De aquí la importancia de comenzar a generar información nacional respecto a la disipación de estos herbicidas en las condiciones de clima y suelo de Uruguay, de manera de tomar conciencia sobre la importancia del cuidado ambiental.

Clomazone es un herbicida selectivo para el cultivo de arroz, de pre y post emergencia. Pertenece al grupo de las isoxazolidinonas. Su mecanismo de acción se basa en la inhibición de la síntesis de clorofilas y carotenoides en las plantas susceptibles. La absorción del herbicida se realiza a nivel de las raíces y de meristemas de la parte aérea. La vida media de este producto en agua es de 5 días y en sedimento de 38

días. En el suelo, presenta una vida media de 28 a 173 días, dependiendo de las características del suelo (EPA, 2007). Quinclorac es un herbicida selectivo de post emergencia. Pertenece al grupo químico del ácido carboxílico. Su modo de acción es el de las auxinas sintéticas. Tienen actividad foliar y en el suelo. Estudios de campo indican que este herbicida es moderadamente persistente en ambientes terrestres (vida media de 18 a 176 días). Los residuos pueden perjudicar ciertos cultivos susceptibles sembrados un año después de la aplicación (EPA, 2007).

Para cuantificar la compatibilidad ambiental del sistema y su sustentabilidad es necesario considerar no solo los productos químicos utilizados sino también las prácticas de manejo realizadas. El uso inadecuado de agroquímicos (en cantidad y momento) y el inapropiado manejo del agua puede causar efectos adversos en el ambiente. Según la Fundación de Protección Ambiental de Río Grande del Sur (FEPAM, 2006), el cultivo de arroz constituye una actividad de alto potencial de contaminación puesto que el riego aumenta las posibilidades de transporte de agroquímicos vía agua de lluvia y drenaje para recursos hídricos superficiales y vía lixiviación para los subterráneos.

Generalmente, la aplicación del herbicida es seguida por la inundación del cultivo y, dependiendo del manejo del agua realizado y de las precipitaciones que se den, los herbicidas pueden persistir hasta su degradación en el área donde fueron aplicados o ser transportados hacia fuera del área de cultivo, contaminando otros recursos naturales. La Comunidad Económica Europea (Directive N°

^{1/} INIA Treinta y Tres

^{2/} Cátedra de Inmunología, Facultad de Química, Universidad de la República

0/778/EEC) establece en 0.1 ppb la concentración máxima admisible para cualquier agroquímico en agua potable (compuesto individual) y en 0.5 ppb para la suma total de residuos. Para aguas superficiales, el límite máximo exigido es de 1 a 3 ppb (Slobodnik *et al.*, 1997; Brouwer *et al.*, 1994, citados por Zanella, 2002).

El objetivo del presente trabajo es determinar los niveles de concentración de los herbicida clomazone y quinclorac en agua, suelo y grano y evaluar su interacción con el manejo del agua del cultivo de arroz. Los resultados presentados en este artículo son parte integrante del Proyecto FPTA N° 226 "Inmunoensayos como herramientas analíticas de bajo costo para el monitoreo sustentable de la producción agrícola y su impacto ambiental", llevado a cabo por La Facultad de Química, Cátedra de Inmunología y Orgánica. Este FPTA tiene además entre sus objetivos específicos, desarrollar y validar inmunoensayos rápidos

y de bajo costo para clomazone, quinclorac y DON y adaptarlos en formatos de *kit* que faciliten su utilización por personal no especializado.

Si bien el presente trabajo corresponde a un primer año de evaluación, esta línea de investigación impulsada permite visualizar una vez más al ambiente como una variable que interactúa con las prácticas de manejo utilizadas, de manera de asegurar la sostenibilidad del sistema de producción del cultivo.

MATERIALES Y MÉTODOS

En la zafra agrícola 2008/2009 se instaló un ensayo en la Unidad Experimental Paso de la Laguna (UEPL-INIA), sobre un Brunosol Subéutrico Lúvico, con las características que se describen en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Análisis de suelo.

pH	M.O.	Bray I	Cítrico	K	Textura			Clasificación
(H ₂ O)	(%)	(µg P/g)	(µg P/g)	(meq/100g)	% Arena	% Limo	% Arcilla	
6.2	2.24	3.9	5.0	0.28	23	48	30	arenoarcillosa

M.O.: Materia Orgánica

Los tratamientos de riego consistieron en inundar el cultivo en dos momentos: 15 días después de la emergencia (tratamiento temprano) y 30 días después de la misma

(tratamiento referencia). Se utilizaron parcelas de 112 m². El manejo del cultivo se detalla en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Manejo del cultivo.

Fecha	Actividad	Detalle
15/10/08	Siembra y fertilización de base	160 kg/ha de semilla cv. INIA Olimar 148 kg/ha 18-46-0
5/11/08	Emergencia	
17/11/08	Aplicación de herbicida	Facet 1,4 l/ha + Propanil 3,75 l/ha + Command 0,8 l/ha + Cyporex 200 g/ha
Variable según tratamiento	Fertilización	50 kg/ha de urea en seco, previo a la inundación y 60 kg/ha de urea a primordio

Para ambos tratamientos se aplicó en post emergencia, 384 y 350 g i.a.ha⁻¹ de clomazone y quinclorac, respectivamente, en un volumen de caldo de 120 L.ha⁻¹. Luego de la aplicación, los herbicidas permanecieron en el suelo sin lámina de

agua por 2 y 16 días para los tratamientos temprano y de referencia, respectivamente. Las parcelas se regaron individualmente y disponían de un aforador en cada una de ellas que permitía cuantificar la cantidad de agua utilizada. Desde el momento en que se inundó el cultivo se mantuvo una lámina

de agua de 10 cm. Las variables climáticas (temperatura, humedad, precipitaciones), fueron obtenidas de la Estación Meteorológica ubicada en la propia UEPL. Además se utilizaron sensores HOBO en cada tratamiento de riego para medir el comportamiento de la humedad y de la temperatura del agua y del aire a lo largo del estudio.

Para el análisis cuantitativo de los herbicidas, se hicieron muestreos de suelo, agua y grano. En el caso de suelo, se recolectaron muestras compuestas de 10 cm de profundidad (10 puntos), un día antes de la aplicación del herbicida (DAA), un día después de la aplicación (DDA) y previo a la cosecha. Además, para el tratamiento referencia, se recolectaron muestras a los 3, 7 y 15 DDA. Previamente al análisis, las muestras de suelo fueron liofilizadas por 24 hs y se almacenaron a -20 °C en la Estación Experimental de INIA Las Brujas. Las muestras de suelo están siendo analizadas a la fecha de publicación de este artículo, por lo que los resultados no serán presentados.

En el caso del agua, se recolectaron muestras compuestas de la lámina de agua de las parcelas (8 puntos), 4 horas después de la inundación, 2, 3, 6, 9, 14, 17, 21, 28, 35, 41, 48 días después de la inundación (DDI) y previo al momento de drenaje de las parcelas (previo a cosecha). También se hicieron muestreos en el Río Olimar, fuente de agua del sistema y en el canal de conducción del agua de riego. Las muestras de agua se mantuvieron a 4 °C, se centrifugaron y filtraron con filtro 0.4 µm. La Cátedra de Inmunología de la Facultad de Química determinó las concentraciones de clomazone y quinclorac por HPLC (*High Performance Liquid Chromatography*). El límite de detección de la técnica es de 0.5 ppb.

Para analizar grano, se tomo una muestra compuesta de lo cosechado (asegurando que la misma sea representativa), el 16 y 19 de marzo de 2009 para el tratamiento temprano y de referencia, respectivamente. Dicho análisis fue realizado por el Laboratorio de Análisis Orgánico de la

Facultad de Química, mediante el método de Cromatografía de Gases acoplada a Espectrómetro de Masas. El límite de detección es de 10 ppb.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Determinaciones en agua

Para ambos manejos del agua se observa que la concentración del herbicida clomazone aumenta a partir del día en que se inundó el cultivo hasta llegar a un valor máximo y luego desciende con el tiempo (Figura 1). El nivel máximo alcanzado en el tratamiento de inundación temprano fue siete veces mayor al detectado en el tratamiento de referencia (128.4 ppb vs. 19.3 ppb). Estos valores fueron registrados a los 6 y 9 DDI(*), respectivamente.

A pesar de que los productos poseen diferentes características físico-químicas, el herbicida quinclorac presentó el mismo comportamiento al ya descrito para clomazone (Figura 2), aunque los niveles de residuo fueron superiores en todos los muestreos realizados. Para quinclorac, el tratamiento de inundación temprano registró el máximo nivel de residuo a los 6 DDI y el valor registrado fue cuatro veces mayor al obtenido en el tratamiento de referencia. Para este último, el máximo se dio a los 19 DDI.

(*) DDI = días después de la inundación, tomando como referencia (día 0), el día en que se inundo el tratamiento en cuestión (temprano/de referencia).

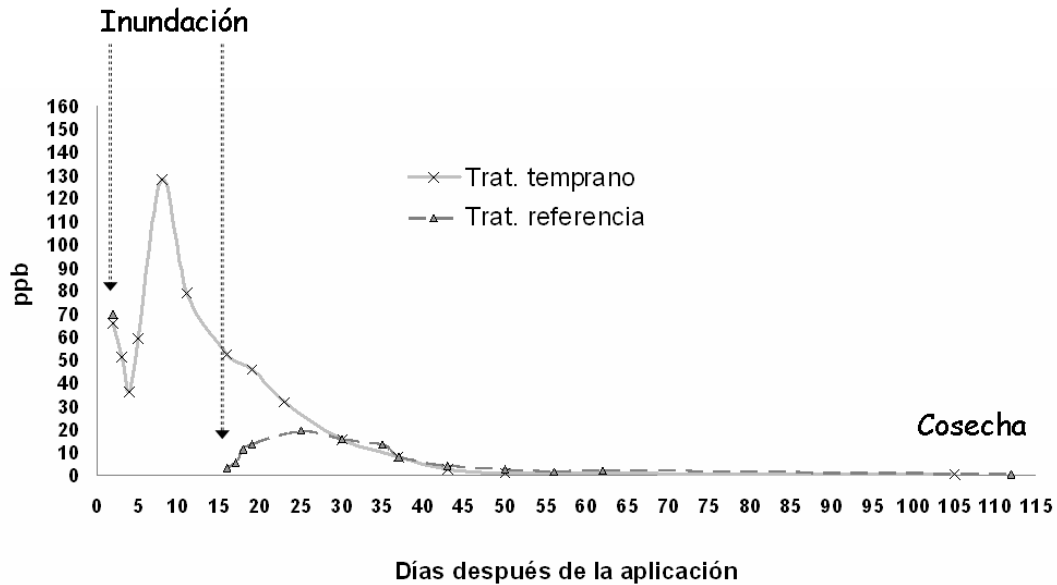


Figura 1. Concentración de clomazone en agua para los tratamientos de riego temprano y de referencia. UEPL/ INIA, Treinta y Tres, Uruguay. 2009. Tratamiento temprano: inundación el 19 noviembre, Tratamiento referencia: inundación el 3 diciembre.

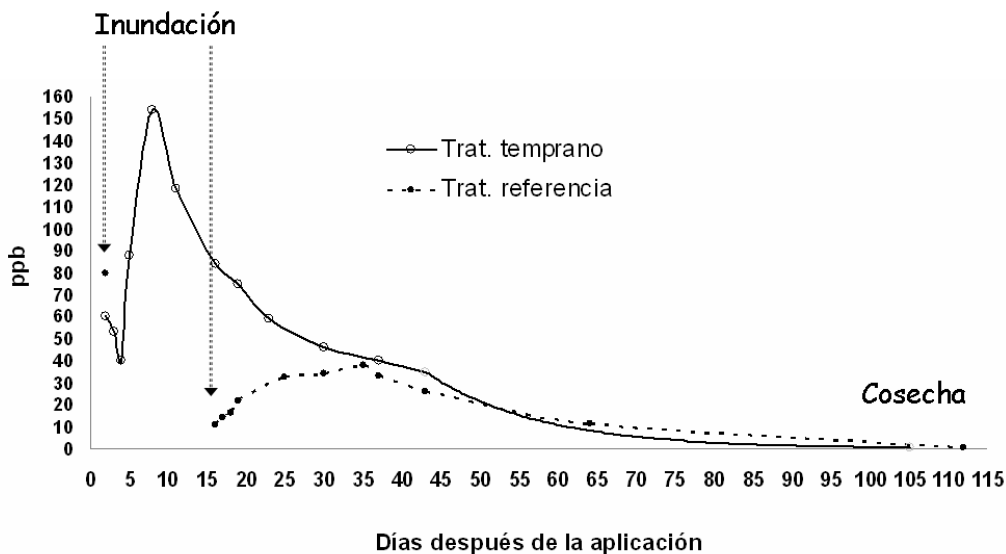


Figura 2. Concentración de quinclorac en agua para los tratamientos de riego temprano y de referencia. UEPL/ INIA, Treinta y Tres, Uruguay. 2009. Tratamiento temprano: inundación el 19 noviembre, Tratamiento referencia: inundación el 3 diciembre.

Para ambos herbicidas, la muestra recolectada el día en que se inundó el cultivo presentó una mayor concentración en el tratamiento temprano respecto al de referencia (20 veces más para clomazone y 5 más para quinclorac). Esta menor concentración de herbicida en el

tratamiento de referencia evidencia que hubo condiciones favorables para la disipación del mismo durante el período en que estuvo en el suelo (sin lámina de agua). Los datos climáticos para el período en estudio se presentan en la Figura 3.

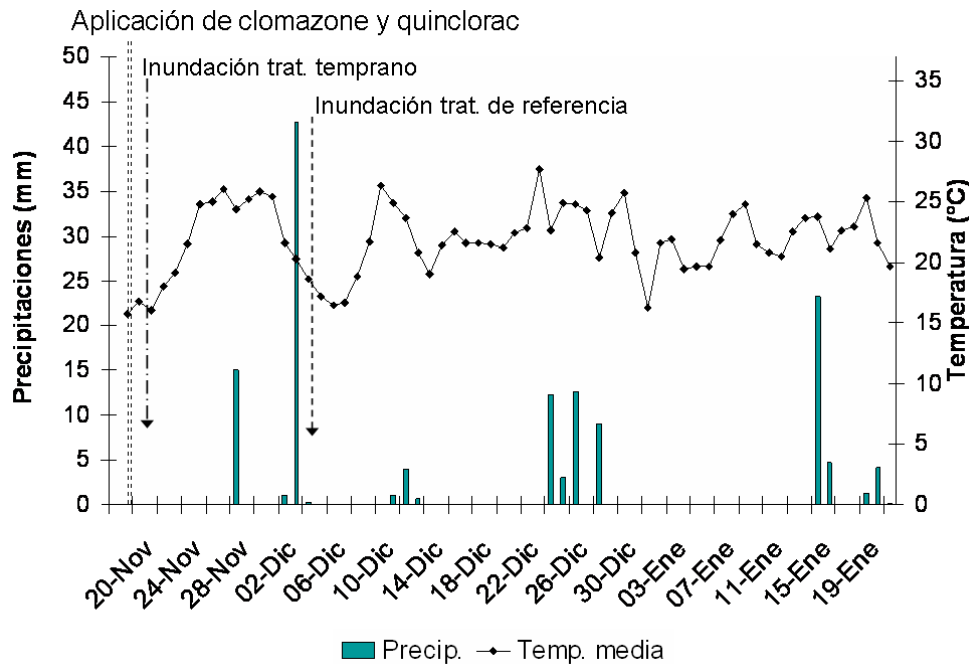


Figura 3. Temperatura (°C) y precipitaciones (mm) desde el 17/11/2008 al 19/01/2009. Datos de la Estación Meteorológica de la UEPL/INIA, Treinta y Tres, Uruguay. Tratamiento temprano: inundación el 19 noviembre, Tratamiento referencia: inundación el 3 diciembre.

Los herbicidas en estudio sufren degradación microbiana la cual es promovida por una alta humedad en suelo y altas temperaturas (Colombia, 2005; Modernel, 2002), condiciones que se dieron en el período en que el cultivo del tratamiento de referencia estuvo sin lámina de agua. Otro factor de gran incidencia en la disipación del clomazone es la volatilización, sobre todo ante estas condiciones, considerando que posee una alta presión de vapor, de 1.44×10^{-4} mmHg (EPA, 2007).

El día en que se inundó el tratamiento temprano se realizó un baño al tratamiento de referencia (aporte de 50 mm de agua). El escurrimiento es otro factor que pudo afectar la disipación de los herbicidas luego de dicho baño y ante dos eventos de lluvias que se dieron en ese período (de 15 y 43 mm). Esto es predecible dado que el herbicida clomazone es altamente soluble en agua (1100 mg/L) y quinclorac presenta un coeficiente de adsorción bajo ($K_d < 1.0$), por lo que se considera de alta movilidad en suelo y alto potencial de lixiviación (EPA, 2007). De hecho, de una muestra tomada

luego del baño -a la salida del agua del tratamiento de referencia- se detectó residuos de 70 y 80 ppb de clomazone y quinclorac, respectivamente (Figura 1 y 2).

Los resultados obtenidos muestran que, para ambos tratamientos, una vez alcanzada la concentración máxima de residuo, la tasa de disipación de clomazone fue mayor a la que presentó el herbicida quinclorac. El nivel de residuo de clomazone se ubicó por debajo del límite estipulado para aguas superficiales (3 ppb) a partir de los 41 DDI para el tratamiento temprano y de 35 DDI para el de referencia. Si a estos valores los llevamos a una misma escala temporal (expresada en días después de la aplicación, DDA), correspondería a 43 y 51 DDA, respectivamente.

Para quinclorac, al momento de finalizar el período de muestreos en agua (48 DDI en ambos tratamiento de inundación), las concentraciones del producto permanecían aún altas (39.3 y 11.2 ppb, para la inundación temprana y de referencia, respectivamente). En este sentido, se requieren realizar muestreos de mayor

duración para determinar el momento en que este compuesto alcanza el límite máximo admisible para aguas superficiales.

Por último, durante el período del ensayo no se detectaron residuos de clomazone ni quinclorac en el agua del Río Olimar, ni en el canal de riego, por lo que no hubo entrada de producto por fuera del sistema.

Determinaciones en grano

A cosecha, se analizó residuos de clomazone y quinclorac en granos de arroz con cáscara, siendo el período entre la aplicación de los herbicidas y la recolección de la muestra de 119 y 122 DDA para el tratamiento temprano y el de referencia, respectivamente. En ninguno de los tratamientos se detectó niveles de herbicidas por encima del límite de detección de la técnica 10 ppb. Cabe destacar los niveles máximos de residuos (LMR) fijados por la Unión Europea para estos agroquímicos son de 10 y 5000 ppb para clomazone y quinclorac, respectivamente.

CONCLUSIONES

El manejo del agua afectó el comportamiento de los herbicidas en el ambiente. De los datos obtenidos, resulta importante adoptar y delinear prácticas de manejo del agua que eviten o minimicen el movimiento de esta hacia fuera del cultivo en los primeros días luego de la inundación (fundamentalmente ante inundaciones tempranas del cultivo) y en el/los baño/s que se realicen, de manera de preservar la calidad de los recursos hídricos.

Bajo las condiciones en las cuales se realizó el estudio, a cosecha no se detectaron niveles de residuos en agua, ni en granos con cáscara, por encima de 0.5 ppb y 10 ppb, respectivamente.

Si bien son datos preliminares, el presente estudio permite ir generando información acerca de cómo las prácticas de manejo actuales interaccionan con los niveles de disipación de los agroquímicos y constituye el pilar inicial para delinear buenas prácticas de manejo que permitan alcanzar

buenos niveles productivos, preservando a su vez el medio ambiente.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

COLOMBIA. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. 2005. Resolução N° 681. República de Colombia. Disponible en: <http://www1.minambiente.gov.co/> Acceso en: 20 abril, 2009.

DIEA-Estadísticas Agropecuarias. Ministerio de Ganadería Agricultura y Pesca. 2009. Encuesta de Arroz. Zafra 2008/09. Serie Encuestas N° 275. Disponible en: <http://www.mgap.gub.uy/Diea/Encuestas/> Acceso en: junio, 2009.

DGSA, Dirección General de Servicios Agrícolas. Ministerio de Ganadería Agricultura y Pesca. Disponible en: <http://www.mgap.gub.uy/DGSSAA/> Acceso en: 17 agosto, 2009.

EPA, U.S. Environmental Protection Agency. 2007. Summary Document Registration Review: Initial Docket. Disponible en: <http://www.epa.gov> Acceso en: julio, 2009.

FEPAM, Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luiz Roessler. Licenciamento Ambiental. Actividades agropecuárias. Disponible en: <http://www.fepam.rs.gov.br> Acceso en: 17 agosto, 2009.

MOLINA, F.; CANTOU, G.; ROEL, A. Biblioteca virtual de INIA. Disponible en: <http://www.inia.org.uy/estaciones/ttres/actividades/Resumen%202008%202009.pdf> Acceso en: julio, 2009.

THELEN, K.D.; KELLS, J.J.; PENNER, D. 1988. Comparison of application methods and tillage practices on volatilization of clomazone. *Weed Technology*, v. 2, p. 323-326.

ZANELLA, R.; PRIMEL E.G.; MACHADO, S.L.O.; GONÇALVES, E.E.; MARCHESAN, E. 2002. Monitoring of the herbicide clomazone in environmental water samples by solid-phase extraction and high-performance Liquid chromatography with ultraviolet detection. *Journal of Chromatography*, v. 55, p. 573-577.