



UNIVERSIDAD
DE LA REPÚBLICA
URUGUAY

Impactos económicos y ambientales de los eventos transgénicos apilados en soja y maíz del 2010 al 2020

Juan Pablo Lorente

Magíster en Ciencias Agrarias
Opción Ciencias Sociales

Agosto, 2023.

**Impactos económicos y ambientales de los
eventos transgénicos apilados en soja y maíz del
2010 al 2020**

Juan Pablo Lorente

Magíster en Ciencias Agrarias
Opción Ciencias Sociales

Agosto, 2023.

PÁGINA DE APROBACIÓN

Tesis aprobada por el tribunal integrado por los Dres. Pedro Arbeletche, Junior Miranda y Miguel Carriquiry el (día) de (mes) de (año). Autor: Ing. Agr. Juan Pablo Lorente Estrada. Director: Dr. Miguel Vassallo. Codirector: Dr. Federico García Suárez.

Tabla de contenido

Página de aprobación	III
Resumen	VII
Summary	VIII
1. <u>INTRODUCCIÓN</u>	1
2. <u>ANTECEDENTES Y JUSTIFICACIÓN DEL TEMA DE INVESTIGACIÓN</u>	3
2.1. CULTIVOS GENÉTICAMENTE MODIFICADOS.....	3
2.1.1. <u>Superficie global de cultivos genéticamente modificados</u>	5
2.1.2. <u>Consumo de agroquímicos en el ámbito global</u>	6
2.2. SUPERFICIE SEMBRADA DE SOJA Y MAÍZ EN URUGUAY	7
2.2.1. <u>Uso y destino de semillas de soja y maíz en Uruguay con y sin OGM</u>	8
2.3. IMPORTACIONES Y USO DE AGROQUÍMICOS EN URUGUAY	9
3. <u>PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN</u>	12
4. <u>HIPÓTESIS DE TRABAJO</u>	13
5. <u>OBJETIVOS DE ESTUDIO</u>	14
5.1. OBJETIVO GENERAL.....	14
5.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	14
6. <u>REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA</u>	15
7. <u>ESTRATEGIA METODOLÓGICA</u>	25
7.1. ABORDAJE CUANTITATIVO.....	25
7.1.1. <u>Variación de costos y beneficios netos en soja y maíz</u>	25
7.1.2. <u>Estimación de los rendimientos de soja con evento apilado respecto a un solo evento</u>	30
7.1.3. <u>Construcción de los índices de toxicidad para los principales agroquímicos aplicados en cultivos transgénicos de soja y maíz</u>	32
7.1.4. <u>Estimación de ingresos por aplicaciones de insecticidas en cultivos transgénicos de soja y maíz</u>	35
7.2. ABORDAJE CUALITATIVO.....	36

8. <u>RESULTADOS</u>	40
8.1. RESULTADOS OBTENIDOS A PARTIR DEL ABORDAJE CUANTITATIVO	40
8.1.1. <u>Variación de costos y beneficios netos de chacra en soja según evento transgénico</u>	40
8.1.2. <u>Variación de costos y beneficios netos de chacra en maíz según evento transgénico</u>	45
8.1.3. <u>Rendimientos de soja con eventos apilados respecto a un solo evento</u>	50
8.1.4. <u>Evolución de la toxicidad de los fitosanitarios más utilizados</u>	52
8.1.4.1. Índice según toxicidad aguda para mamíferos	52
8.1.4.2. Índice de toxicidad según umbral de daño para abejas	55
8.1.4.3. Índice de persistencia química de agroquímicos en suelo	56
8.1.5. <u>Ingresos por aplicaciones a chacras</u>	57
8.2. RESULTADOS OBTENIDOS A PARTIR DEL ABORDAJE CUALITATIVO	60
8.2.1. <u>Paquete tecnológico anterior y posterior a 2010</u>	60
8.2.2. <u>Impactos productivos en rendimientos por hectárea</u>	65
8.2.3. <u>Toxicidad de los fitosanitarios</u>	68
8.2.4. <u>Ingresos a chacra por aplicaciones de insecticidas y costos por hectárea</u>	73
9. <u>DISCUSIÓN</u>	79
10. <u>CONSIDERACIONES FINALES</u>	101
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	105
ANEXOS	114
ANEXO I: Glosario	114
ANEXO II: Listado de fuentes de información y referentes calificados que aportaron validación a la presupuestación de aplicaciones con agroquímicos en chacras de maíz y soja entre 2010, 2015 y 2020.	116
ANEXO III: Presupuestación parcial en soja con uno (RR1) y más de un evento transgénico (RR2)	117
ANEXO IV: Presupuestación parcial maíz con uno (BT 11 Y GA21) y más de un evento transgénico (BT11XGA21 Y VIP3)	118
ANEXO V: Sintaxis <i>bootstrapping</i> y análisis de medias	119

ANEXO VI: Sintaxis de la técnica Poisson test.....	121
ANEXO VII: Caracterización de personas entrevistadas.....	122
ANEXO VIII: Guía de entrevista semiestructurada a actores	123
ANEXO IX: Listado con los códigos utilizados a partir de las entrevistas en la que se define el significado de cada uno de ellos.	126
ANEXO X: Familias de códigos conceptualmente vinculados entre sí (categorías)	128
ANEXO XI: Estimación de los consumos de agroquímicos formulados en soja y maíz	129

RESUMEN

El gobierno uruguayo entre 1996 y 2020 autorizó veintiocho organismos genéticamente modificados (OGM) para maíz y soja, con uno y más de un evento apilados que brindan tolerancia a herbicidas (HT) y resistencia a plagas (Bt). Este trabajo investiga si la semilla transgénica con eventos apilados con más de una característica agronómica en soja y maíz (HT y Bt), en el período entre el 2010 y el 2020, evidencia ventajas productivas, económicas y ambientales respecto a la semilla transgénica con un solo evento (HT o Bt). Para cumplir con los objetivos propuestos, se utilizó el método de presupuestación parcial del Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT) y una base de productores agrícolas de los grupos CREA uruguayos. Además, se estimó la diferencia de medias para los rendimientos de soja con la técnica *bootstrap* y se ponderó también la cantidad de ingresos a chacras por aplicaciones de insecticidas validándose mediante la técnica de Poisson. Finalmente, se construyeron índices de toxicidad para mamíferos, abejas y persistencia química en suelo con la evolución de los principales herbicidas e insecticidas aplicados en soja y maíz. Como abordaje cualitativo se realizaron veintiséis entrevistas a diferentes actores agrícolas. Los resultados obtenidos evidenciaron ventajas económicas, principalmente para los cultivares de maíz que tienen tres eventos apilados. Las variedades de soja con eventos apilados no tuvieron diferencias en rendimiento, pero se pudo constatar una disminución en el ingreso a chacras por aplicaciones de insecticidas, lo que no compensa el mayor costo de la semilla. Se evidenció una mejora general en la evolución de las importaciones con insecticidas de menor toxicidad para mamíferos y abejas, pero con un aumento en las aplicaciones con herbicidas no glifosato de impacto negativo en el ambiente.

Palabras clave: eventos transgénicos, costos biotecnológicos, toxicidad de agroquímicos

SUMMARY

Economic and environmental impacts of stacked transgenic events in soybean and corn from 2010 to 2020

Between 1996 and 2020 the Uruguayan government authorized twenty-eight genetically modified organisms (GMOs) for corn and soybeans, with one and more than one stacked event providing herbicide tolerance (HT) and pest resistance (IR). This work investigates if the transgenic seed with stacked events with more than one agronomic characteristic in soybean and corn (HT and Bt), with respect to those of an event (HT or Bt), show productive, economic and environmental advantages in the period between 2010 to 2020 in Uruguay. To achieve the proposed objectives, a partial budgeting method of the International Center for Maize and Wheat (CIMMYT) was development and a base of agricultural producers from the Uruguayan CREA groups were used. In addition, the difference in means for soybean yields was estimated with the bootstrap technique and the amount of income to farms due to insecticide applications was also weighted and then validated using the Poisson technique. Toxicity indices for mammals, bees and chemical persistence in soil were constructed with the evolution of the main herbicides and insecticides used in soybean and corn crops. As a qualitative approach, twenty-six interviews were conducted with different agricultural actors. Results showed economic advantages, mainly for corn crops with three stacked events. While the soybean varieties with stacked events did not have differences in yield, a decrease in the entries to field due to insecticide applications was observed, which does not compensate for the higher cost of the seed. The results obtained showed a general improvement in the evolution of imports with less toxic insecticides for mammals and bees, but with an increase in applications with non-glyphosate herbicides which have negative impact on the environment.

Key words: transgenic events, biotech costs, agrochemical toxicity.

1. INTRODUCCIÓN

En el mundo, la introducción de los transgénicos en la agricultura trajo consigo controversias en lo socioeconómico y lo ambiental. En Uruguay, desde la aprobación en 1996 del primer evento transgénico en el cultivo soja, también está planteado el debate acerca de la adopción de esta biotecnología. Los cultivos transgénicos son aquellos producidos a partir de vegetales genéticamente modificados por procedimientos de ingeniería genética (Galeano, 2017).

Un evento transgénico es una recombinación o inserción particular de ADN (transgén) ocurrida en una célula vegetal a partir de la cual se originará la planta transgénica, es decir, la inserción en el genoma vegetal (Gabinete de Bioseguridad, 2021). Ejemplo de ello es el primer cultivo transgénico de soja que es tolerante al herbicida glifosato, donde se incorporó al genoma de la planta de soja información genética de una bacteria *Agrobacterium tumefaciens* (Galeano, 2017 y Borsani et al., 2010).

Los eventos o genes transgénicos apilados presentan más de un transgén, son una combinación de características en una misma planta por cruzamiento entre parentales que contienen los eventos correspondientes (Borsani et al., 2010) y pueden tener resistencia a una o más plagas y tolerancia a uno o más herbicidas.

Esta biotecnología de uso en la agricultura presenta —de acuerdo a quienes la patentan— ventajas productivas, económicas y ambientales. Como beneficios productivos y económicos se le atribuyen mejores rendimientos y reducción de costos de producción por un eficiente control de malezas y plagas. Desde el punto de vista ambiental, una menor emisión de gases de efecto invernadero (GEI), menor uso de agua y de contaminación de suelos y aguas al reducir la cantidad de insecticidas aplicados, y la posibilidad de nuevos esquemas de rotación de cultivos (Monsanto Uruguay, 2020).

La estructura de este trabajo se divide de la siguiente manera: en el primer capítulo se presentan datos sobre la importancia de los cultivos transgénicos en el mundo y en el país, algunos antecedentes de los transgénicos como justificación del trabajo, el problema de investigación, las hipótesis y los objetivos.

En el segundo capítulo se presenta una revisión de varios trabajos nacionales e internacionales con visiones contrapuestas sobre los cultivos genéticamente modificados. Se los consideró como parte del marco conceptual de la investigación, ya que varios de los temas que se discuten subyacen a las hipótesis y a los objetivos específicos de este trabajo.

El tercer capítulo describe la metodología de investigación, el abordaje cuantitativo y el cualitativo. El cuarto capítulo presenta, en primer lugar, los resultados de los costos totales que varían en cultivos de soja y maíz transgénicos con uno y más de un evento apilado, a partir del método de presupuestación parcial. También la productividad por hectárea para soja y la evolución de tres índices de toxicidad para los agroquímicos seleccionados como de uso principal en chacra. A su vez, se presentan los ingresos por aplicación de insecticidas en chacras agrícolas de soja y maíz. Al final de este capítulo se incluye una síntesis del abordaje cualitativo, intercalando fragmentos de las entrevistas de los principales temas que responden a las hipótesis de trabajo planteadas.

El quinto capítulo, la discusión, jerarquiza los resultados obtenidos con aportes de otras investigaciones que no tienen los mismos objetivos, pero llegan a conclusiones que permiten, en algún caso, tenerlos como referencia para la validación de las hipótesis y, en otros, dialogar a partir de los resultados de este trabajo. Por último, se encuentran las consideraciones finales.

2. ANTECEDENTES Y JUSTIFICACIÓN DEL TEMA DE INVESTIGACIÓN

2.1. CULTIVOS GENÉTICAMENTE MODIFICADOS

Un cultivo genéticamente modificado (OGM) es una planta utilizada para propósitos agrícolas en la que uno o varios genes provenientes de otro organismo que codifican características deseables son introducidos por ingeniería genética (Qaim, 2016). Existen tres categorías de OGM: los de primera generación, que incluyen rasgos de mejora agronómicos tales como resistencia a insectos y enfermedades; los de segunda generación, que promueven la mejora en características de calidad, tales como altos contenidos de nutrientes en los alimentos; y los de tercera generación, que son plantas modificadas para producir sustancias medicinales (Qaim, 2009).

Evenson y Gollin (2003) demostraron que en el ámbito mundial entre 1960 y 1980 un 21 % del aumento en los rendimientos de la mayoría de los cereales se debió al mejoramiento genético, mientras que el 79 % restante es explicado por el uso de riego, fertilizantes, agroquímicos, maquinaria y labores. En tanto de los años 1980 a 2000, casi un 50 % del incremento en productividad se explica por el mejoramiento genético, dados los rendimientos decrecientes con el uso de otros insumos. Esto indicaría que las mejoras de rendimientos para el segundo período de la revolución verde fueron más dependientes del uso de variedades modernas.

A partir de la revolución verde hacia principios de este siglo, las pérdidas globales por daños de plagas disminuyeron del 13,8 % al 10,8 % (Dhaliwal et al., 2015). Según Oerke (2006), entre el 2001 y el 2003, las pérdidas estimadas en el ámbito global en rendimiento de maíz por ataque de plagas se situaban en promedio en un 9,6 % y en un 10,5 % por competencia por malezas, en tanto en soja eran del 7,5 % y 8,8 % por daños de plagas y malezas, respectivamente (Oerke, 2006).

Pellegrino et al. (2018), con base en un metaanálisis de 1996 al 2016, registraron un aumento del 10 % en los rendimientos de híbrido maíz genéticamente modificados respecto a maíces no OGM. Estos autores encontraron que los incrementos de rendimiento oscilaron entre 4,6 % y 24,5 % según el híbrido de maíz tenga dos y cuatro eventos apilados, respectivamente. Más de un evento apilado en un híbrido de maíz genera una mayor protección frente al daño por las principales plagas agrícolas al presentar el gen Bt (*Bacillus thuringiensis*).

En el mundo, desde 1992 a 2019 se aprobaron 4485 eventos transgénicos —en la actualidad más comúnmente denominados cultivos biotecnológicos— por parte de los organismos regulatorios de 72 países. Los eventos se inscriben en tres categorías: para consumo humano (2115 eventos), para alimentación animal (1514) y para cultivos comerciales de uso en cultivos, humano y animal (856) (ISAAA, 2019).

El evento de maíz con tolerancia al herbicida glifosato de nombre «NK603» cuenta con la mayor cantidad de aprobaciones totales, 61 para las tres categorías indicadas en 56 países. Le sigue el evento para soja de nombre «40-3-2» con tolerancia a glifosato (HT) con 57 aprobaciones, también presente en 56 países bajo la marca Round Up Ready (RR1) que se aprobó hace 25 años (ISAAA, 2019).

Entre 1996 y 2020, en Uruguay se aprobaron 28 eventos transgénicos de uso comercial para maíz y soja con tolerancia a herbicidas HT y resistencia a plagas IR (Sistema Nacional de Bioseguridad, 2021). De ese total, 16 eventos corresponden a la especie maíz, a los que hay que agregar, en el caso de solicitudes autorizadas con eventos apilados, los eventos individuales y sus combinaciones parciales¹. Por lo

¹ En el caso de maíz se consideran los eventos individuales y sus combinaciones parciales porque al ser una especie alógama no se puede garantizar que en la producción de semilla no se eviten las combinaciones.

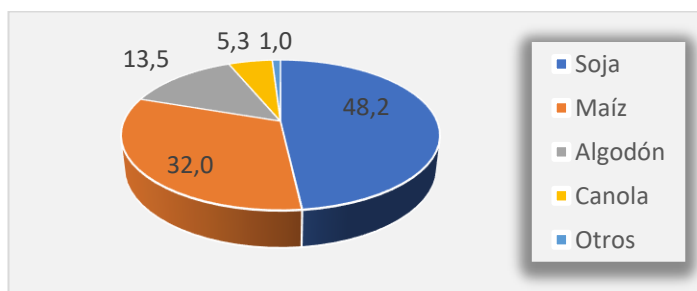
que el número de eventos totales aprobados es superior al listado que figura en el Sistema Nacional de Bioseguridad (Alejandra Ferenczi, comunicación personal, 08 de agosto de 2023).

Además, al 2020 se autorizaron quince eventos transgénicos en soja y maíz para la producción de semilla con destino a la exportación (SNB, 2021). Estos eventos promueven mejoras agronómicas y de calidad de grano, siendo OGM de primera y segunda generación, respectivamente. En la actualidad, de acuerdo con el Sistema Nacional de Bioseguridad (2021), no hay eventos transgénicos aprobados en otras especies, con la excepción de un evento apilado autorizado en 2021 para el cultivo de algodón con destino a exportación, dos para papa y uno en tomate con uso en laboratorio o invernáculo.

2.1.1. Superficie global de cultivos genéticamente modificados

Las áreas mundiales cultivadas en 2018-2019 con soja fueron 125 millones de hectáreas totales, con una producción de 360 millones de toneladas. El área global de maíz alcanzó 191 millones de ha con una producción de 1123 millones de toneladas (USDA, 2020). Según el informe del ISAAA (2019), la superficie mundial total sembrada con cultivos biotecnológicos (OGM) alcanzó los 190 millones de ha, 92 millones de soja y 61 millones de ha de maíz (gráfico 1). El área sembrada con características apiladas (más de un evento/cultivo) con resistencia a insectos y tolerancia a herbicidas ocupó 45 % del área biotecnológica global.

Gráfico 1. Adopción de eventos transgénicos en los principales cultivos (%)



Fuente: con base en ISAAA, 2019.

Estados Unidos, Brasil, Argentina, Canadá y la India son los cinco países que siembran la mayor área de cultivos con OGM, ocupando en conjunto el 91 % del área global de cultivos biotecnológicos. En América Latina son diez los países que plantaron 84 millones de hectáreas con cultivos biotecnológicos y representan un 44 % del total del área con cultivos OGM, en tanto nueve países de Asia y el Pacífico sembraron 19 millones de hectáreas con cultivos con OGM, 10 % del área global (ISAAA, 2019).

2.1.2. Consumo de agroquímicos en el ámbito global

Al 2018, el comercio mundial de agroquímicos alcanzó los 5,8 millones de toneladas por un valor de U\$S 37,6 billones. Entre el 2010 al 2017, el consumo mundial de todos los agroquímicos pasó de 3,96 a 4,11 millones de toneladas.

Asia, a partir del 2015, es el mayor exportador mundial de agroquímicos, siendo China el responsable de 2/3 de las exportaciones de pesticidas desde este continente (cuadro 1). Sin embargo, Europa en monto exportado supera a Asia, lo que es explicado por la mayor calidad de agroquímicos producidos. Los cinco países mayores importadores son Brasil, Francia, Alemania, Canadá y Estados Unidos, con un valor comercial de entre U\$S 1,4 a 3,0 billones (FAOSTAT, 2021).

Cuadro 1. Principales países importadores, exportadores y consumidores de agroquímicos

	Mayores importadores	Mayores exportadores	Mayores consumidores
Países	Brasil	China	China
	Francia	Alemania	Estados Unidos
	Alemania	Estados Unidos	Brasil
	Canadá	Francia	Argentina
	Estados Unidos	India	Canadá
Monto billones de U\$S	1,4 a 3,0	3,0 a 5,5	
Volumen millones de toneladas			2,82 kt

Nota (*): millones de toneladas.

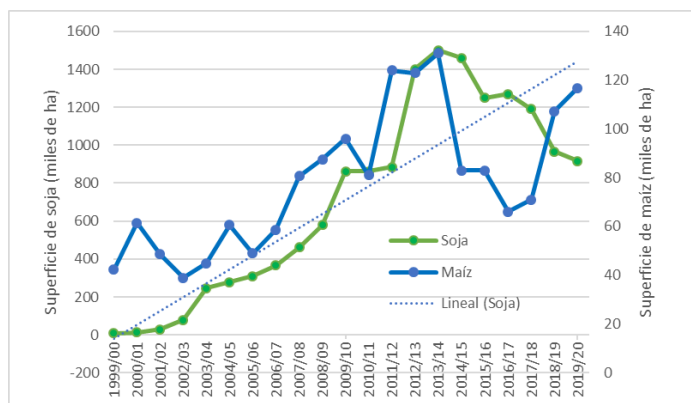
Fuente: FAO, 2021.

Los agroquímicos de mayor peligrosidad representaron 78 000 toneladas, con un valor comercial de U\$S 357 millones. Los mayores países importadores de agroquímicos peligrosos son: Myanmar, Malasia, Filipinas, Tailandia y Costa Rica, con un valor de U\$S 20 a 80 millones (FAOSTAT, 2021).

2.2. SUPERFICIE SEMBRADA DE SOJA Y MAÍZ EN URUGUAY

El área de siembra para grano de soja en Uruguay pasó de 8900 ha a 917 000 ha en el período 1999-2000 al 2019-2020, con un pico máximo de 1 500 000 ha en la zafra 2013-2014 (gráfico 2) a partir de la cual el precio de los granos disminuyó. El 99 % de la superficie sembrada de soja presenta semilla transgénica (INASE, 2021). Se produjeron entre 6800 y 1 990 807 toneladas de grano cosechadas respectivamente para cada zafra. La importancia del cultivo de soja en Uruguay se refleja en ser el tercer producto exportado luego de la carne vacuna y la celulosa, superando los U\$S 700 millones (Uruguay XXI, 2021, OPYPA, 2020, DIEA, 2006).

Gráfico 2. Evolución del área sembrada de soja y maíz



Fuente: con base en DIEA-MGAP 2005 y 2020.

La superficie de siembra para grano de maíz pasó de 42 mil a 117 mil ha entre las zafras 1999-2000 a 2019-2020 (gráfico 2). También con un pico de superficie sembrada en el 2013-2014. La producción en la zafra 1999-2000 fue de 64 700

toneladas con un rendimiento de 1530 kg/ha, en tanto en 2019-2020 alcanzó 764 712 toneladas con 6536 kg/ha de rendimiento (OPYPA, 2020).

2.2.1. Uso y destino de semillas de soja y maíz en Uruguay con y sin OGM

La importación de semilla de soja varía según la reserva propia que hagan los productores en cada cosecha, que está influenciada por la producción total de cada año. El consumo de semilla de soja en Uruguay en el 2018 se ubicó en 68 883 toneladas y se exportaron 3597 toneladas (INASE, 2021).

Para el período febrero 2018 a enero 2019 —en el que INASE releva la información que surge de la declaración jurada por movimientos de semillas en Uruguay— se importaron 14 927 toneladas de semilla de soja, mientras que para febrero 2019 a enero 2020 se importaron 857 toneladas. La diferencia se debió a que el rendimiento promedio por la cosecha de soja del 2018 fue de 1214 kg/ha debido a la escasez de agua que hubo durante el período de cultivo correspondiente a la zafra 2017-2018, cuando en la cosecha del 2019 el rendimiento fue de 2928 kg/ha con condiciones hídricas favorables durante el desarrollo del cultivo de la zafra 2018-2019 (DIEA, 2019).

Según estimación propia en base a operadores del mercado² y INASE la valorización de la semilla comercializada fue de U\$S 74 millones. El 71 % de la siembra de soja en Uruguay se realiza con el evento RR1 (40-3-2) con tolerancia al herbicida glifosato y un 28 % con los eventos apilados RR2 (MON 89788 × MON87701) con tolerancia a glifosato y resistencia a insectos. El 1 % del área de soja no tiene OGM (INASE, 2021).

El uso local de semilla de maíz en 2018 fue de 3040 toneladas, siendo la importación su único origen, y se exportaron 56 toneladas. El 98 % del área de

² Comerciales de Barraca ERRO y Agroterra.

siembra de semilla de maíz tiene eventos transgénicos y el 86 % cuenta con más de un evento apilado, con tolerancia a herbicidas y resistencia a insectos a través de la toxina Bt (INASE, 2020). El mercado de semillas de maíz para 2018 se estimó en U\$S 22 millones en base a operadores del mercado³ y INASE.

2.3. IMPORTACIONES Y USO DE AGROQUÍMICOS EN URUGUAY

En Uruguay, en 2020, según datos oficiales, se importaron 19 856 toneladas de formulados en herbicidas, insecticidas y fungicidas. La categoría herbicida representó el 89 % del total de agroquímicos importados, un incremento del 10 % tomando como año base el 2010 (cuadro 2). Por otra parte, la participación de todas las sales de glifosato respecto al total de herbicidas importados alcanzó el 65 %, cuando en el 2015 y 2010 representaron el 69 % y 85 % respectivamente de los herbicidas importados, lo que indica un aumento en la utilización de otros herbicidas no glifosato. Estos volúmenes sumados a las otras clases de agroquímicos, como curasemillas y coadyuvantes, representaron un monto 124 millones de dólares valor CIF para el total del año 2020 (DGSA).

Cuadro 2. Importaciones y consumo de agroquímicos formulados según superficie sembrada de soja y maíz

Año	2010			2015			2020		
	Import	Consumo S+M	% S+M	Import	Consumo S+M	% S+M	Import	Consumo S+M	% S+M
Herbicidas	20 516	4121	20	18 368	5149	28	17 659	4241	24
Insecticidas	3097	667	22	1100	222	20	763	158	22
Fungicidas	2308	74	3	2190	114	5	1434	85	6
Área soja (miles ha)			862			1250			908
Área maíz (miles ha)			81			83			143

Nota: Import = importaciones x 1000; Consumo S+M= consumo de agroquímicos en soja y maíz x 1000; % S+M= participación del uso de agroquímicos de soja y maíz respecto a las importaciones totales. Áreas = x 1000.

Fuente: elaboración propia con base en DGSA-MGAP y presupuestos de cultivos según Anexos II y XI.

³ Comerciales técnicos YALFIN y PROCAMPO.

Entre 2010 y 2020, hubo una disminución en las importaciones de herbicidas y de insecticidas de 14 % y 75 %, respectivamente, mientras que para el mismo período el área de soja y maíz creció un 11 %. Sin embargo, en 2014 se registró la mayor cantidad de importaciones de agroquímicos del período de veinte años. Se importaron 27 955 y 3841 toneladas de herbicidas e insecticidas, respectivamente, lo que significó un crecimiento del 36 % en herbicidas y 24 % en insecticidas respecto al 2010. Esos mayores volúmenes importados coinciden con una superficie récord de siembra de soja al igual que en el 2013 de casi un 1 500 000 de hectáreas (DGSA, DIEA 2022 y 2016).

Según Roser (2019), entre 2010 y 2017, el consumo total de agroquímicos en Uruguay, medido en kilos por hectárea, aplicados en cultivos como promedio pasó de 7,23 a 5,41. En la región se registraron tendencias similares tanto en Argentina como en Paraguay, con una disminución de un 19 % y un 20 %, respectivamente; su consumo por hectárea, excepto Brasil, para el mismo período aumentó un 7 % las aplicaciones en kg/ha promedio (FAOSTAT, 2021, Roser, 2019). También ocurrió algo similar en Asia, con una disminución de las aplicaciones en kg/ha promedio pasando de 3,72 a 3,60.

En cuanto al uso en chacras agrícolas, según estimación propia con base en presupuestaciones de cultivos de empresas y referentes calificados (cuadro 2 y anexo II), en las participaciones del consumo de agroquímicos en los cultivos de soja y maíz para el 2010-2011 respecto a la zafra 2020-2021 se observó un leve aumento en el consumo de herbicidas y fungicidas formulados, mientras que el consumo de insecticidas disminuyó un 76 %. Esto último coincide en términos relativos con la disminución de importaciones totales de insecticidas del país en un 75 %.

Tomando en consideración los antecedentes que describen el uso y la importancia de semillas transgénicas y de agroquímicos, desde un sector de la academia ven el modelo de producción actual y de gestión agrícola —con su paquete tecnológico

asociado— efectos negativos en lo económico, lo social y lo ambiental, la salud de quienes están expuestos al trabajo con agroquímicos, los aspectos normativos sobre el uso propio de semillas y el poder concentrador de la industria semillera (Cáceres, 2018, Galeano et al., 2017, Bryant et al., 2016, Howard y Bianco, 2015, Bravo, 2014). Otro grupo de académicos ha presentado evidencia científica a favor de los beneficios de los organismos genéticamente modificados con uno y más de un evento apilado, que demuestran mayores rendimientos, menor uso y costos de agroquímicos y mayores ganancias de los agricultores (Brooks y Barfoot, 2018, Ciliberto et al., 2016, Carvalho Coelho, 2015, Zilberman et al., 2015, Klumper y Qaim, 2014, Qaim y Zilberman, 2003).

3. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

El problema de investigación es si los eventos transgénicos aprobados en el 2011 y 2012 por el Sistema Nacional de Bioseguridad en el Uruguay con características apiladas de tolerancia a herbicidas (HT) y resistencia a plagas (IR) evidencian una mayor productividad, son económicamente redituables y disminuyen el uso de insecticidas en los cultivos de soja y maíz, lo que necesariamente conduce a interrogar si:

- se perciben como válidos los argumentos indicados por las multinacionales en cuanto a mejoras en la productividad parcial (kilos por hectárea) y un ahorro en costos para los productores agrícolas por menos aplicación de insecticidas, y
- de existir menores niveles de uso y peligrosidad en los agroquímicos aplicados en chacras, se puede hablar de una agricultura con menores niveles de toxicidad para el ambiente en el período bajo estudio.

4. HIPÓTESIS DE TRABAJO

1- La siembra de semilla transgénica con eventos apilados en cultivos de soja y maíz determina una mejora en los costos de insecticidas y su fumigación para los productores de las regiones litoral norte y sur del Uruguay, al disminuir la cantidad de ingresos a chacras para realizar aplicaciones con equipos pulverizadores.

2- Para la base de registros de chacras obtenida de similar manejo, si los rendimientos de soja en las regiones del litoral sur y norte con características apiladas (HT/Bt) superan a las variedades con un solo el evento (HT).

3- En el período bajo estudio, los principales herbicidas e insecticidas utilizados en chacras sembradas con soja y maíz con eventos transgénicos evolucionaron a categorías de toxicidad más benignas para mamíferos (III y IV), abejas (umbral moderado a bajo) y persistencia química en suelo (moderadamente persistente a no persistente).

5. OBJETIVOS DE ESTUDIO

5.1. OBJETIVO GENERAL

Evaluar algunos impactos económicos, productivos y ambientales en las regiones litoral sur y norte del Uruguay en el período de 2010 al 2020 por la utilización de semillas de soja y maíz con eventos transgénicos apilados respecto a los que tienen un solo evento.

5.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

— Analizar los costos y beneficios netos en cultivos de soja y maíz en el litoral norte y sur para los grupos de semillas con eventos transgénicos apilados que presentan tolerancia a herbicida y resistencia a plagas (Bt), respecto a los cultivos con un solo evento transgénico con tolerancia a herbicida o resistencia a plagas.

— Determinar si hay diferencias significativas en los rendimientos en kilos por hectárea del cultivo de soja en el litoral sur y norte, a partir de la introducción de las variedades que contienen eventos transgénicos apilados respecto a los de un evento o son debidas a cambios en el paquete tecnológico de los cultivos transgénicos.

— Categorizar según índice de toxicidad para mamíferos y abejas y persistencia química en suelo a los principales agroquímicos utilizados en los cultivos transgénicos de soja y maíz en Uruguay del 2010 al 2020.

— Estimar la cantidad de ingresos a chacra por aplicaciones de insecticidas en los cultivos de soja y maíz con uno y mas de un evento apilado en las regiones del litoral sur y norte.

6. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

La discusión de los trabajos está focalizada en el análisis de impactos ambientales, económicos y productivos por la introducción de cultivos transgénicos con uno y dos eventos apilados. Entre los argumentos en oposición a la utilización de eventos transgénicos, surge el estudio realizado por Bravo (2014), donde presenta el modelo actual de producción agrícola extensivo basado en el uso de semillas transgénicas y su paquete tecnológico aplicado en América Latina —principalmente Argentina, Bolivia, Brasil, Paraguay y Uruguay— como concentrador de la tierra, que desplaza mano de obra, con un uso continuo del herbicida glifosato con sus impactos en las poblaciones y el ambiente. Como ejemplo de impacto negativo al ambiente, estos autores destacan que la aplicación continua de un mismo herbicida, el glifosato, derivó en malezas resistentes a este, lo que determinó que hoy la solución a esta problemática es el surgimiento de nuevas semillas transgénicas con tolerancia a herbicidas de mayor toxicidad, como el 2,4 d amina y el dicamba (Galeano et al., 2017, Bravo, 2014).

Otro riesgo potencial de los cultivos transgénicos con tolerancia a herbicidas (HT) es que el propio cultivo con tolerancia a un herbicida puede resultar en una maleza al competir con otra especie sembrada en un ciclo de cultivo siguiente, plantas «guachas de maíz» en cultivos de soja tolerante a glifosato, lo que puede perjudicar la productividad por transmisión de enfermedades y reservorio de plagas (Embrapa, 2015); aunque esto se ha reportado mayormente con el maíz zafriña característico de algunas regiones en Brasil y Paraguay, donde se puede sembrar en una misma zafra un maíz delante de una soja.

Galeano et al. (2017) plantearon el riesgo de que el cultivo transgénico (HT) podría transferir la tolerancia al mismo herbicida a especies emparentadas, algo que no es común en Uruguay. En segundo término, basándose en otros estudios, destacan los riesgos asociados al uso continuo de semillas transgénicas por un mal uso del

herbicida glifosato, al aparecer malezas resistentes, impactos sobre organismos no blanco como vertebrados, insectos y microorganismos en suelo y agua.

Además de los impactos mencionados por los mismos autores debido al uso generalizado del glifosato en cultivos transgénicos, se agrega la interferencia en los ecosistemas por la pérdida de diversidad de especies naturales y la degradación de los agroecosistemas provocados por las actuales prácticas agrícolas asociadas al paquete tecnológico predominante, como la menor rotación de cultivos/pasturas en suelos con mayores riesgos de erosión, lo que en Uruguay se pretende controlar a partir de la aprobación de los Planes de Uso y Manejo del Suelo (Decreto n.º 405/008).

También Galeano et al. (2017) identificaron los riesgos por la incorporación a los cultivos transgénicos de las características que le confieren acción insecticida contra larvas de algunos lepidópteros a través de la síntesis de toxinas bacterianas (Bt). Uno de ellos es el efecto de las toxinas Bt frente a organismos no blanco como los enemigos naturales de las plagas principales que afectan al cultivo y otro es el desarrollo de resistencia a la toxina por parte de los insectos plaga que se da por la exposición continua de la misma proteína tóxica. En Uruguay, para los eventos transgénicos aprobados con tecnología Bt, se comprobó un riesgo no significativo para organismos no blanco por el Sistema Nacional de Bioseguridad (Alejandra Ferenczi, comunicación personal, 08 de agosto de 2023).

Abbate (2022) no encontró diferencias significativas en la cantidad de insectos no blanco (predadores) entre chacras de soja con un único evento RR1-HT, sin toxina Bt y chacras con dos eventos transgénicos RR2-HT y toxina Bt-IR, además de observar menor cantidad de plagas lepidópteros en las sojas RR2. La autora resaltó al área refugio no Bt como una herramienta clave en evitar el quiebre de resistencia, actuar como control biológico y sostener la biodiversidad de los agroecosistemas.

En varios países de América Latina, Blanco et al. (2016) encontraron que el cultivo de maíz con el evento Bt no lleva aplicaciones de insecticidas, excepto para la plaga *Spodoptera frugiperda* que mostró tolerancia a algunas proteínas Bt. Y de ser necesario su control con insecticidas, lleva entre 0 a 2 aplicaciones en cultivos transgénicos Bt y 12 o más aplicaciones en cultivares sin proteína Bt. Para Lemaux (2009), el efecto de la toxina Bt sobre organismos no objetivo es parcialmente cierto y su eficacia contra la mayoría de las plagas objetivo se mantiene, además del desarrollo de proteína de insecticidas vegetales (VIP, por su sigla en inglés) como estrategia para mejorar la toxicidad en insectos resistentes a partir de otra fuente del gen Bt.

Marques et al. (2018) estudiaron los efectos piramidales de la proteína Bt del cultivo de maíz, que significa que un evento transgénico exprese más de una proteína Bt con su toxina para una mayor protección frente a plagas. Observaron que los maíces que expresan múltiples proteínas piramidales Bt tienen mayor protección frente al daño causado por el principal complejo de plagas respecto a aquellos maíces con una sola o doble proteína Bt.

Pirchio et al. (2019), en la región semiárida pampeana, encontró que para la plaga *Agrotis robusta* en maíz los cultivares con más de un evento transgénico (toxina Bt) lograron mayor disminución del consumo de área foliar y pérdidas de peso en larvas de *A. robusta*, en tanto los híbridos de maíz con un solo evento tuvieron similar daño, un mayor consumo de área foliar que los maíces sin proteína Bt. También Massoni et al. (2017 y 2015) llegaron a las mismas conclusiones a favor de los híbridos de maíz con más de un evento, pero para la plaga *Spodoptera frugiperda*.

En soja, sin embargo, si bien la proteína Cry1Ac (Bt) del evento RR2 sigue controlando bien a las principales plagas en Brasil, se viene observando la misma cantidad de larvas de la plaga *Spodoptera spp.* —que afecta mayormente a maíz y algodón— en chacras con soja RR2 y RR1 sin proteína Bt (Horikoshi et al., 2021). En

otra investigación, se detectó daño en chacras de soja con el evento RR2 (Bt) por resistencia de dos plagas que son secundarias en Brasil, pero principales en Argentina (Horikoshi et al., 2021).

De acuerdo con el estudio de Cáceres (2018), en Argentina, con la utilización del paquete tecnológico dominante que consiste de siembra directa, cultivos transgénicos y agroquímicos en tres períodos analizados (1990, 2000 y 2014) observaron un uso creciente de agroquímicos. En lo que respecta a la utilización de agroquímicos en el caso de la soja de primera (sin cultivo de invierno como antecesor), observó un aumento del número de productos comerciales además de un incremento de la dosis medida en kilogramos o litros de producto comercial. Para maíz, también detectó un aumento en el número de formulados comerciales de agroquímicos utilizados para los tres períodos considerados. Luego señala que se trata, al igual que en soja, de nuevos herbicidas e insecticidas, con mayores niveles de toxicidad y de costos en US\$/ha.

A su vez, Cáceres (2018) agrega que el índice de toxicidad evaluado no es el real dado que se analizó la toxicidad de los ingredientes activos, pero no así la de los productos comerciales formulados, que incluye a los otros componentes de las formulaciones comerciales, como coadyuvantes agregados en los herbicidas e insecticidas que potencian los controles a campo⁴. También indica en su trabajo que las empresas productoras de agroquímicos no están obligadas a revelar los nombres o formulaciones químicas de los «ingredientes inertes» como coadyuvantes o surfactantes, ya que se consideran secretos industriales.

Por otra parte, respecto a la concentración de la industria global semillera, Howard (2015) y Bryant et al. (2016) informaron que, debido a las mayores

⁴ En Uruguay, el Departamento de Toxicología del Hospital de Clínicas realiza el análisis de toxicidad de los otros constituyentes de los formulados comerciales que luego informa a la Dirección General de Servicios Agrícolas (MGAP) como requisito del registro de agroquímicos.

regulaciones en el negocio de la industria de los agroquímicos de los 80, muchas de estas compañías adquirieron empresas de semillas transgénicas con sus patentes de eventos. Al 2011, seis firmas de agroquímicos (Monsanto, Dupont, Syngenta, Bayer, Dow y Basf) controlaban más del 60 % del negocio mundial de semillas patentadas (Howard, 2015). Una de las tendencias que explica la mayor concentración en la industria de semillas de los últimos veinte años ha sido el crecimiento del mercado de los transgénicos dado que las semillas transgénicas son más caras que las convencionales por su tecnología (Bonny, 2017).

Gibby et al. (2017) sostienen, respecto a los asuntos legales de propiedad de las patentes y adquisiciones de firmas, que las alianzas hechas entre Bayer con Monsanto o Dupont con Dow Agrosiences permiten mayores innovaciones en los productos. Estos autores, quienes fueron críticos con el trabajo de Bryant et al. (2016), defienden que el monopolio al inicio es necesario para el ingreso al mercado y como estímulo a las empresas para invertir en investigación y desarrollo.

Por último, Bianco (2015), en su trabajo sobre la propiedad intelectual a través de las regulaciones de semillas propietarias, cuestiona la neutralidad del Estado al dejar un vacío en la norma de la semilla de uso propio en detrimento de los productores. Por la Ley n.º 16 811, artículo 72, del 21 de febrero de 1997, el Instituto Nacional de Semillas (INASE) reconoce el uso propio, que los productores puedan guardar su semilla una vez cosechada para sembrarla en el próximo ciclo de cultivo. Pero, en 2010, el gobierno, con el aval del INASE, permite una excepción en favor de los obtentores a la norma antedicha y lo deja abierto a un acuerdo entre las partes, agricultores y empresas proveedoras de semillas con eventos transgénicos, renunciando así al derecho de uso propio que la ley concede a los agricultores.

En contraposición con los estudios anteriores, se hizo una revisión de varios trabajos que evalúan los impactos favorables en los rendimientos, los costos, el

ambiente y el bienestar económico-social, explicado por la suma de los excedentes de productores y consumidores según el rasgo transgénico insertado. Estas investigaciones utilizan diferentes metodologías para su evaluación, como ensayos de cultivos, resultados empíricos, análisis econométricos, de impacto ambiental y metaanálisis, como los principales.

En el estudio de Qaim y Zilberman (2003), en India, observaron en cultivos de algodón con la característica Bt (gen que proviene de la bacteria *Bacillus thuringiensis* que provee de protección contra lepidópteros) una menor cantidad de aplicaciones de insecticidas de menor toxicidad y mayores rendimientos asociado a una menor pérdida de cultivos.

Qaim (2010) distinguía a los transgénicos con tecnología de 1.^a generación, que beneficiaban a los productores al ahorrar en aplicaciones de insecticida y al significar mejoras en los rendimientos y en las ganancias. Para productores de algodón en India entre 2002 y 2006, las reducciones de uso de insecticida fueron del 41 %, los rendimientos del cultivo aumentaron 37 % con un incremento de US\$ 135 por hectárea en los márgenes económicos del cultivo. En Argentina, en 2003 y 2005, los resultados para el mismo cultivo e indicadores fueron 47 %, 33 % y US\$ 23, respectivamente.

Posteriormente, Klumper y Qaim (2014), utilizando un metaanálisis y modelos de regresión con datos de encuestas y pruebas realizadas en parcelas experimentales en varios países, encontraron que, en promedio, por el uso de biotecnología con eventos apilados tolerantes a herbicida y resistencia a plagas también hubo una reducción en el uso de agroquímicos en un 37 %, lo que disminuyó los costos en un 39 %, con un incremento del 22 % en los rendimientos de cultivos y un 68 % en las ganancias de los productores. Tanto los aumentos de rendimientos como la reducción de insecticidas se dieron mayormente asociados en los eventos con resistencia a insectos plaga (IR) con toxina Bt, más que en los que presentaban

tolerancia a herbicidas (HT). Los resultados observados en los rendimientos y las ganancias fueron más altos en los países en desarrollo que en los desarrollados.

Concretamente, en cuanto a los eventos apilados, Belarmino et al. (2020) en Río Grande del Sur, para las zafras 2014-2015 y 2015-2016, verificaron mayores rendimientos e ingresos por hectárea superiores para el evento RR1 respecto a la soja RR2 asociado a la adaptabilidad de las variedades y la menor necesidad de insecticidas por efecto año. Por el contrario, Santos y Saluso (2020), en las provincias de Corrientes y Entre Ríos, determinaron mayores rendimientos de la soja RR2 respecto a la RR1, pero no pudieron establecer si ese incremento en el rendimiento se debió a la tecnología Intacta RR2 PRO o a que se trataba de cultivares más modernos. Coelho Carvalho (2015), en la zona sudeste de Mato Grosso, que evaluó a seis productores, también encontró diferencias a favor del evento RR2 con un 4,52 % superior a los rendimientos promedios de la soja RR1.

Brooks y Barfoot (2018), en un estudio realizado en 16 países para un período que va de 1996 a 2016, encontraron que por la adopción de OGM con tolerancia a herbicidas y resistencia a insectos hubo una reducción en las aplicaciones de agroquímicos acumulada de 671,4 millones de kilos de ingrediente activo (8,2 %) respecto a una situación de siembra con cultivos convencionales, lo que impactó favorablemente en el indicador ambiental *environmental impact quotient* (EIQ), que evalúa el riesgo de toxicidad de cada agroquímico integrando tres niveles de impacto: trabajadores rurales, suelo-fauna y consumidores, llevándolo a un único valor en chacra.

Brooks (2018), como consecuencia de la introducción de la soja Intacta RR2 PRO en el 2013-2014, verificó una mejora en el impacto al ambiente de -30,6 a través del indicador EIQ como resultado de una menor utilización de insecticidas fundamentalmente y de uso de herbicidas marginal en relación con lo que precisaría una soja convencional sin tolerancia a glifosato.

Los resultados para la soja con tolerancia a glifosato (HT) mostraron un aumento de 13 millones de kilos de ingrediente activo de herbicidas, pero con una mejora en el indicador (EIQ) de -13,4 % explicado por el uso de herbicidas de menor impacto ambiental. En Uruguay también se observó un aumento en el uso de mayor cantidad de ingredientes activos para la categoría herbicidas, con una mejora de -7,4 % en el EIQ, en tanto, para maíz con tolerancia a glifosato, la reducción fue de 239 millones de kilos de activo en herbicidas, también acompañado de una mejora en el impacto ambiental de -12,5 %. Similares tendencias se observaron en cultivos como algodón y canola (Brooks y Barfoot, 2018).

En cuanto a los insecticidas, la mejora fue más evidente en el cultivo de algodón, que lleva mayores tratamientos de insecticidas, con una reducción acumulada de 288 millones de kg y 92 millones de kg en el cultivo de maíz. En ambos cultivos hubo una mejora del EIQ de -32 % y -58,6 para algodón y maíz, respectivamente. Por último, Brooks y Barfoot (2018) estimaron para América del Sur y América del Norte en 2016 un aumento del carbono secuestrado en suelos de 6586 millones de kilogramos, que equivale a 24,17 millones de kilos de dióxido de carbono que no se liberan a la atmósfera por una menor utilización de combustibles fósiles, que equivale a retirar de circulación en un año 14,9 millones de autos.

Ciliberto et al. (2016) realizaron un estudio para los cultivos de maíz y soja con eventos transgénicos y agroquímicos utilizados por agricultores en Estados Unidos utilizando una base de datos de AgroTrak desde 1998 al 2011. Para los productores que plantaron variedades de soja genéticamente modificadas con tolerancia a glifosato, evidenciaron en promedio un uso de 28 % más de herbicida (0,30 kg/ha) respecto a los que no adoptaron OGM. Los que plantaron maíz con eventos transgénicos utilizaron 1,2 % (0,03 kg/ha) y 11,2 % (0,013 kg/ha) menos herbicidas e insecticidas que los que no adoptaron tecnología OGM.

Perez et al. (2015), en el noroeste de Argentina, donde compararon los dos grupos de soja RR1 y RR2 de la zafra 2013-2014, encontraron ventajas por menores costos de aplicación de insecticidas y sus labores en US\$ 19/ha para el evento RR2 y US\$ 74/ha para el evento RR1. Por otro lado, Carvalho Coelho (2015), en Mato Grosso, para la misma zafra, estimó costos en insecticidas y sus aplicaciones de US\$ 48/ha para la soja RR2 y US\$ 99/ha para la soja RR1. En este último trabajo se registraron 3,75 aplicaciones para el control de plagas (chinches) en la soja RR2 y de 6,5 aplicaciones para el control de plagas (lepidópteros y chinches).

Por otro lado, Ciliberto et al. (2016) ponderaron los agroquímicos utilizados a través del indicador de impacto ambiental (EIQ): en 1998, los que adoptaron cultivos OGM en soja aplicaron 0,71 kg/ha menos de herbicidas que no tenían el ingrediente activo glifosato, pero en el 2011 esa diferencia se redujo a 0,48 kg/ha. En el caso de los maíces transgénicos, en 1998 el uso de herbicidas era de 1,31 kg/ha menos respecto a los cultivos sin OGM y para 2011 la diferencia fue de 0,32 kg/ha menos. Los autores señalan que la tendencia mostrada en el aumento de aplicación de otros herbicidas es consistente con la resistencia de malezas al glifosato.

Zilberman et al. (2015) evaluaron impactos económicos a través de aumentos en la oferta de grano de maíz de entre 7,5 a 15 % por la mayor adopción de la biotecnología, lo que resultó en una disminución de los precios entre 10 a 18 %. En el escenario con bajo incremento de la oferta (7,5 %), el beneficio en el bienestar social para los consumidores promedio resultó en US\$ 10,2 a 10,5 billones dependiendo de la elasticidad de demanda considerada (0,35 a 0,8 para el caso de maíz).

Los resultados de estos tres autores sugieren que por la introducción de eventos transgénicos en maíz, trigo y arroz habría una mejora en el bienestar social de entre US\$ 50 a 97 billones. Y, asumiendo un período de 30 años de duración luego de la adopción de los OGM con tasas de descuento del 4 %, la mejora en el bienestar

llegaba a variar de US\$ 663 billones a 1,22 trillones. Por último, estimaron que por un año de atraso en la aprobación de la tecnología OGM los costos iban de US\$ 27 a 82 billones.

En acuerdo con la investigación anterior respecto a una mejora en el bienestar económico hacia los consumidores, Zilberman et al. (2015) proyectaron distintos escenarios si se atrasaba la aprobación de la característica para el evento transgénico *golden rice* en el cultivo de arroz en India, que evita deficiencia en la vitamina A. Simulando escenarios de baja a alta difusión de la tecnología a partir de los 10 años de su adopción, los beneficios por ahorro en el sistema de salud al no tener que atender problemas de visión fueron de US\$ 2,7 a 10,4 billones con valores netos y tasas de descuento del 10 %.

7. ESTRATEGIA METODOLÓGICA

Para responder a las afirmaciones planteadas en las hipótesis y alcanzar los objetivos propuestos, se realizó, como análisis principal, la comparación de costos para el país por la introducción de semillas de soja y maíz con eventos transgénicos apilados respecto a los transgénicos con un solo evento. No se tuvieron en cuenta otros cultivos por ser las únicas dos especies con eventos transgénicos aprobados al 2020 con uso comercial. Por otra parte, para la estimación de diferencias en productividad por hectárea, se consideró solamente al cultivo de soja según las regiones litoral sur y norte de Uruguay; en tanto, para maíz, como la base de productores de CREA obtenida no contaba con materiales con un evento transgénico para hacer su comparación respecto a los materiales de más de un evento apilado se desestimó su cálculo.

Por un lado, se realizó un abordaje cuantitativo mediante la metodología de presupuestación parcial que verifica el ahorro en costos por la no necesidad de realizar fumigaciones con insecticidas y, por otro, uno cualitativo con entrevistas semiestructuradas.

7.1. ABORDAJE CUANTITATIVO

7.1.1. Variación de costos y beneficios netos en soja y maíz

Para la estimación de los costos de chacras y los beneficios netos de sembrar semilla de soja y maíz con eventos apilados (con más de una característica), se utilizó el método de presupuestación parcial propuesto por el Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT, 1988). Todos los datos relevados y cálculos fueron hechos en planillas que se detallan en los anexos n.º III y IV. Como resumen, se muestran seis cuadros en la sección Resultados y Discusión. Para alcanzar dicho cometido, se utilizaron variables y costos de insumos que se detallan a continuación en el cuadro 3.

Cuadro 3. Variables y costos utilizados para la presupuestación parcial

Variable	Unidad	Cálculos y fuentes utilizadas
Rendimiento experimental (Yw)	tt/ha	INASE
Rendimiento ajustado (Ya)	tt/ha	Soja con base en Rizzo et al. (2021)
Precio grano soja (PS)	US\$/tt	OPYPA
Precio grano maíz (PM)	US\$/tt	OPYPA
Costos cosecha (CC)	US\$/ha	Cargill y Granosur con base en (% secado y merma)
Costos de transporte grano (CTG) ajustado según (Ya)	US\$/tt	Barraca ERRO, Cargill y Granosur
Beneficio bruto a campo soja (BBS) según región sur y norte	US\$/ha	$((Ya*PS) - (CC + CTG))$
Beneficio bruto a campo maíz (BBM) según región sur y norte	US\$/ha	$((Ya*PM) - (CC + CTG))$
Costos de semilla (CS)	US\$/ha	Barraca Jorge W. Erro y Agroterra
Costo de insecticidas (CI)	US\$/ha	Mesa Tecnológica de Oleaginosos (MTO)
Costo de aplicaciones (CA)	US\$/ha	Cámara Uruguaya de Servicios Agrícolas (CUSA)
Costos totales que varían (CTV)	US\$/ha	$CTV = CS + CI + CA$
Beneficios netos a campo soja (BNS) según región sur y norte	US\$/ha	$BBS - CTV$
Beneficios netos a campo maíz (BNM) según región sur y norte	US\$/ha	$BBM - CTV$

Fuente: elaboración propia con base en CIMMYT (1988).

El cálculo de los beneficios brutos a campo y netos se separó por regiones: litoral sur y norte de Uruguay para diferenciar el costo que varía del transporte de grano cosechado (soja y maíz) desde chacra al puerto de Nueva Palmira. El litoral sur comprende a los departamentos de Colonia, San José y Soriano, en tanto el litoral norte, a los departamentos de Paysandú y Río Negro.

La primera zafra comercial de la que se tiene información con importaciones de soja RR2 fue en el 2013-2014 y para maíz con eventos apilados en el 2011-2012. A partir de la Evaluación Nacional de Cultivares (ENC) del Instituto Nacional de Semillas (INASE) se relevaron los rendimientos experimentales evaluados para ocho zafras en soja 2013-2014 al 2020-2021 y siete en maíz 2013-2014 al 2020-2021. En el caso del cultivo de maíz, la zafra 2017-2018 no contó con datos experimentales debido a la sequía (INASE). Para el caso del cultivo de soja, se separaron los rendimientos en dos grupos: uno con todos los cultivares que tenían el evento transgénico RR1 con

tolerancia a glifosato (HT) y otro con los cultivares que tenían el evento transgénico apilado RR2 con tecnología «Intacta» propiedad de la empresa Bayer (ex-Monsanto) con tolerancia a glifosato (HT) y resistencia a lepidópteros (IR) que cuenta con la toxina Bt.

En el caso del cultivo de maíz, se consideró para las dos primeras zafras 2013-2014 al 2014-2015 hacer una comparación entre el grupo de cultivares de semillas con el evento Bt11 desarrollado por la empresa Syngenta con dos genes que le confieren las características de resistencia a lepidópteros por la toxina Bt y tolerancia al herbicida glufosinato de amonio, comparado con el grupo de materiales que tenían dos eventos Bt11 x GA21, también desarrollado por la empresa Syngenta que le agrega como característica la tolerancia al herbicida glifosato. Se consideró, en primer lugar, el evento Bt11 en lugar de MON 810 de la empresa Monsanto por haber mayor cantidad de evaluaciones, además de que los cultivares registrados que incluían al evento MON 810 tenían distintos genes que inducían resistencia a lepidópteros, en tanto la tecnología con los eventos apilados Bt11xGA21 mantenía el mismo gen que produce resistencia a las mismas plagas que el evento Bt11 y sumó como característica la tolerancia al herbicida glifosato (GA21). Luego, el evento Bt11 dejó de estar presente en el mercado por quebrar la resistencia a determinadas plagas.

A partir de la zafra 2015-2016, se relevó la semilla de maíz con el evento apilado Viptera 3 desarrollado por Syngenta con resistencia a las tres especies de lepidópteros más importantes además de la tolerancia a los herbicidas glufosinato de amonio y glifosato. La elección se hizo por haber mayor cantidad de registros de materiales inscriptos en el ENC de INASE que tenían dicho evento y se lo comparó en este caso contra la semilla de maíz con el evento GA21 con tolerancia glifosato. Este evento es utilizado como refugio en las chacras que siembran materiales con eventos que toleran el glifosato y el glufosinato de amonio y con resistencia a plagas.

A partir de los rendimientos de los cultivares de soja y maíz obtenidos de la Evaluación Nacional de Cultivares se estimó la media para cada grupo de evento. Cabe señalar que los datos experimentales de las evaluaciones que hace INASE a cada material tienen tres repeticiones en las localidades evaluadas, a saber: en el Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria de La Estanzuela (INIA LE), Dolores, Mercedes y Young. A cada media de rendimiento experimental para las ocho zafras en soja y siete en maíz se las ajustó para llevarlas al rendimiento actual de productor (Ya). En soja se utilizó el ajuste estimado por Rizzo et al. (2021) de rendimiento potencial limitado solamente por agua (Yw) respecto al rendimiento actual del productor (Ya), siendo la brecha entre ambos (Yg) 31 % para las situaciones de soja como único grano. Para maíz, se ajustó de acuerdo a la estimación realizada por Aramburu et al. (2015) con una brecha (Yg) del 41 % entre el rendimiento potencial limitado por agua (Yw) y el rendimiento ajustado (Ya).

El método de presupuestación parcial propuesto por el CIMMYT implica procedimientos de análisis económico para investigadores agrícolas sobre recomendaciones que evalúan nuevas tecnologías en establecimientos agropecuarios. Parte de la elaboración de un presupuesto parcial que identifica los costos y beneficios de los distintos tratamientos.

Como costos de cosecha se consideraron, en primer lugar, al costo de secado del grano de soja y maíz y de la merma por secado, ambos asociados al rendimiento obtenido en chacra. Los costos de secado y mermas se tomaron de las tarifas de empresas exportadoras de granos, Cargill y Granosur, que fueron las únicas que aportaron datos. En segundo lugar, como costos de cosecha, se estimaron los costos de transporte del grano de soja y maíz según una distancia promedio estimada entre una chacra situada en el litoral sur y norte del país respecto al puerto de Nueva Palmira según los departamentos ya detallados para cada región. Los precios se obtuvieron a partir de las tarifas de transporte de Barraca Jorge W.

Erro, Granosur y Cargill. A partir de los costos de cosecha se obtiene el beneficio bruto (BBC) a campo según región sur y norte.

El siguiente paso fue el cálculo de los costos, que varían para cada tratamiento. Se llega de esta manera al total de costos que varían que es la suma de los costos de semilla transgénica, costos por aplicación de herbicidas e insecticidas y las labores por aplicaciones de estos agroquímicos.

Para el manejo tecnológico propuesto que evalúa los costos de las aplicaciones de herbicidas, insecticidas y cantidad de aplicaciones según semilla de soja y maíz transgénicos, se consideraron los presupuestos del departamento técnico de la Unión Rural de Flores, la Sociedad de Fomento Rural de Colonia Valdense, los informes de oleaginosos para la Mesa Tecnológica de Oleaginosos, el Ing. Agr. Alfredo Silbermann de la empresa Procampo y la validación por parte del Dr. Sebastián Mazzilli de la Facultad de Agronomía (Udelar).

El último paso de la presupuestación parcial fue el cálculo de los beneficios netos que surgen de restar a los beneficios brutos a campo el total de costos que varían. Los beneficios netos no representan las utilidades que un agricultor obtiene en una situación de chacra, ya que la presupuestación parcial no considera todos los costos de producción que no tienen que ver con la decisión de las evaluaciones de los tratamientos, sino que, como se indicó antes, estima solamente los costos y los beneficios netos que varían para poder realizar recomendaciones sobre nuevas tecnologías. Para verificar si había diferencias en los beneficios netos en soja y maíz por región entre un evento transgénico respecto a más de un evento apilado, se consideró evaluar también con el 25 % y 75 % (primer —Q1— y tercer cuartil —Q3—) de los rendimientos ajustados (ya).

A su vez, este análisis de datos cuantitativo se presenta en forma de narración a continuación del análisis de costos y beneficios netos por la utilización de semillas

transgénicas. Las interpretaciones de estos resultados se apoyan y validan con fragmentos textuales de las entrevistas a los actores entrevistados.

7.1.2. Estimación de los rendimientos de soja con evento apilado respecto a un solo evento

En otro orden, para la comparación de productividad del cultivo de soja transgénica se estimaron estadísticos: media ponderada por la superficie de chacra, desvío y coeficiente de variación para las seis zafas del 2015-2016 al 2020-2021 comparando los rendimientos entre los grupos de semilla con evento simple RR1 y apilado RR2 con la proteína Bt según siembra como cultivos de primera y segunda. Un cultivo de primera es aquel que no tiene un cultivo predecesor, en tanto uno de segunda es aquel que está precedido por otro cultivo como los de invierno (ejemplo, soja 2.^a precedida por cebada o trigo). Como fue indicado, a los dos grupos de semilla a su vez se los separó en dos regiones, litoral sur y norte del país. Los resultados se muestran en la sección de resultados en los cuadros 15 y 16.

En este caso se consideraron como unidad de análisis las chacras de la base de productores de FUCREA como fuente de información primaria, tratándose de una muestra no probabilística por conveniencia de los sistemas de producción agrícola-ganaderos de las seis zafas por las cuales se obtuvo registros de rendimientos entre el 2015-2016 y el 2020-2021. La Federación Uruguaya de Grupos CREA tiene el cometido de ayudar a productores agropecuarios agrupados para mejorar sus resultados económicos y financieros. La superficie de los cultivos de soja y maíz de la cual se obtuvo los registros por parte de FUCREA representó un 9 % del área nacional de soja y maíz del 2020-2021.

Cuadro 4. Evolución de la superficie sembrada (ha) de soja y maíz de FUCREA

Cultivo/Zafra	2015/16	2016/17	2017/18	2018/19	2019/20	2020/21
Maíz 1	3749	3079	1926	4200	4617	4020
Maíz 2	2278	2477	1584	2342	3297	4494
Total, maíz	6027	5556	3510	6542	7914	8514
Soja 1	49 529	47 169	38 487	36 703	52 799	38 972
Soja 2	26 858	28 752	22 163	27 599	42 389	46 149
Total, soja	76 387	75 921	60 650	64 302	95 188	85 121

Nota: 1 y 2 = refiere a cultivo de primera y segunda.

Fuente: FUCREA (2022).

Para maíz no se realizó este análisis, ya que se sabe de la falta de registros como ya se indicó de la base de FUCREA con rendimientos de materiales con un solo evento transgénico Bt11/MON 810. Si bien se cuenta con datos de los eventos apilados Viptera3/VT3PRO/Power Core, se entiende que las diferencias en rendimiento están explicadas por mejora genética. Por otra parte, a diferencia de la soja, en el caso del maíz, las empresas dueñas de las patentes no argumentaban mayores rendimientos por los eventos apilados, sino una mejora como protección frente a las plagas.

Además de los estadísticos estimados para el cultivo de soja, para determinar si había diferencia significativa entre las medias de los dos grupos de soja transgénica RR1 y RR2, se utilizó el software libre R utilizando el método de remuestreo (*bootstrap*). La razón de utilizar el *bootstrap* es que permite crear un gran número de muestras con reposición de los datos observados en cada grupo de soja RR1 y RR2.

El método de remuestreo consistió en una matriz de n registros por cada zafra del 2015-2016 al 2020-2021 de las chacras de soja de 1.^a y 2.^a, según región agrícola litoral sur y norte de los productores que sembraron soja con el evento simple RR1 respecto al evento apilado RR2, con B cantidad de repeticiones definida previamente. Luego se realizó la prueba de significancia estadística con dos test

estadísticos: uno con la diferencia absoluta de medias y otro con la diferencia absoluta de la mediana.

Al final de la prueba de hipótesis del test *bootstrap* se obtiene el p-valor, que es la probabilidad de obtener uno o más tests estadísticos superiores o iguales al test estadístico observado, asumiendo una hipótesis nula verdadera de no diferencia de medias y similar distribución, con: H_0 = rendimientos entre los grupos de semilla RR1 y RR2 son iguales y H_a = rendimientos entre ambos grupos diferentes.

El P-valor se define como:

$$P\text{-value} = H\text{-Boot test-stat} \geq \text{Obs. test-stat} / B$$

Donde:

H-Boot test-stat = los valores estadísticos calculados mediante un remuestreo definido previamente.

Obs.test-stat = el valor del estadístico de prueba para la diferencia de media o mediana.

B = es la cantidad de repeticiones del remuestreo (*bootstrap*). En el caso de este trabajo, se propusieron 10.000 repeticiones para los n registros según grupo de semilla con el evento transgénico RR1 o RR2.

La sintaxis de ambas técnicas *bootstrap* y prueba de hipótesis aplicadas se presenta en el anexo V.

7.1.3. Construcción de los índices de toxicidad para los principales agroquímicos aplicados en cultivos transgénicos de soja y maíz

Para estimar los umbrales de toxicidad y de degradación química en suelo, se tomó como unidad de análisis a 42 herbicidas e insecticidas según manejo «modelo» utilizado en chacras de soja y maíz. La selección de estos agroquímicos respondió a

un manejo representativo del paquete tecnológico (PT) utilizado antes del 2010 previo a la aprobación de los últimos eventos transgénicos apilados en estudio y del PT hacia el 2020. Para la validación de la selección de los herbicidas e insecticidas utilizados, se consideraron las sugerencias de los investigadores del Departamento de Protección Vegetal de la Facultad de Agronomía (Universidad de la República, Uruguay), Dra. Grisel Fernández, Ing. Agr. (MSc) Horacio Silva y Dr. Carlos Pérez.

La información relevada de las importaciones de los herbicidas e insecticidas como fuente secundaria pertenece a la Dirección General de Servicios Agrícolas (DGSA) del Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca (MGAP). Con los datos de las importaciones de los ingredientes activos del 2010 al 2020 se construyó un índice de toxicidad para mamíferos a los 42 agroquímicos considerados con base en el año 2010 según categoría toxicológica. No se consideró para el estudio la categoría fungicidas dado que no existen eventos transgénicos con resistencia a enfermedades.

En primer lugar, se considera la categoría toxicológica en mamíferos según umbrales de peligrosidad de acuerdo con el criterio de la Organización Mundial de la Salud (OMS) basado en la dosis letal 50 (LD50). Es la dosis que causa la muerte del 50 % de la población de mamíferos estudiados experimentalmente, medida en miligramos de producto por kilo de peso vivo (mg/kg PV).

Cuadro 5. Escala de clasificación de agroquímicos según riesgo de peligrosidad

Clasificación por clase según riesgo	Grado de peligrosidad del producto	DL mamíferos (mg/PV) – Formulación líquida (Dermal)
Clase Ib –	Muy peligroso	40 a 400
Clase II	Moderadamente peligroso	400 a 4.000
Clase III	Ligeramente peligroso	4.000 a 5.000
Clase IV	Poco peligroso en el uso normal	> 5.000

Fuente: Organización Mundial de la Salud (2009).

Se elaboró también un índice de toxicidad para abejas⁵ y persistencia química⁶ en suelo para los mismos agroquímicos seleccionados de mayor uso en chacras agrícolas, para lo cual se consideró la base de pesticidas británica Pesticides Properties Data Base (PPDB IUPAC, por su sigla en inglés), la cual contiene para cada pesticida información de identificación química, propiedades físico-químicas, riesgos ecotoxicológicos y para la salud humana.

Cuadro 6. Escala de clasificación de agroquímicos según riesgo de peligrosidad para abejas

Clasificación por clase según riesgo (LD 50 ug bee-1)	Umbrales
> 100	Bajo
1 a 100	Moderado
< 1	Alto

Fuente: PPDB.

Cabe precisar que la clasificación de categoría toxicológica para mamíferos considera a los fitosanitarios formulados, en tanto el riesgo de ecotoxicidad para abejas y la persistencia DT 50 típico en suelos surge de los ingredientes activos — grado técnico— que se utiliza como materia prima para formular herbicidas, insecticidas o fungicidas.

Cuadro 7. Escala de clasificación de agroquímicos según persistencia química en el suelo

Degradabilidad DT50 típico	
Días	PERSISTENCIA EN EL SUELO
> = 30	No persistente
30 a 100	Moderadamente persistente
100 a 365	Persistente
> = 365	Muy persistente

Fuente: PPDB.

⁵ A partir de la LD50 dosis letal media de abejas para matar al 50 % de la población.

⁶ Indica la degradación (DT50 típico) de los agroquímicos en suelo en días del 50 % del residuo inicial.

7.1.4. Estimación de ingresos por aplicaciones de insecticidas en cultivos transgénicos de soja y maíz

Por último, para determinar si hubo menor cantidad de aplicaciones de insecticidas, se consideró la misma base de FUCREA de cinco zafros del 2015-2016 al 2019-2020, cuya unidad de análisis son las chacras agrícolas. Las variables utilizadas son: semillas de soja y maíz con uno y más de un evento transgénico y la cantidad de ingresos a chacra por aplicaciones de insecticidas. Para soja se consideraron los eventos RR1 y RR2, y, en el caso de maíz, los materiales con tres eventos Viptera3 y de dos eventos VT3 PRO. Con esta base se estimó la cantidad promedio, mediana, mínimo y máximo de ingresos a chacras. A su vez, para validar los resultados, se le realizó el test de Poisson utilizando el software R con el siguiente comando:

```
Poisson.test(c(sum(x), sum(y)), c(length(x), length(y)))
```

Siendo *sum* = la suma de los registros para la variable discreta *x* e *y* con 0 a 7 aplicaciones de insecticidas en el cultivo de soja o maíz, según cantidad de eventos. De 1 evento o 2 eventos en soja y 2 eventos a 3 eventos en maíz para cada zafra.

Length = la cantidad de observaciones con aplicaciones de insecticidas en el cultivo de soja, maíz, según evento transgénico y zafra.

Como hipótesis:

Hipótesis nula: H_0 = la relación de aplicaciones con un evento de soja (RR1) respecto a dos eventos de soja (RR2) es igual a 1.

Hipótesis alterna: H_a = la relación de aplicaciones con un evento (RR1) respecto a dos eventos (RR2) es diferente de 1.

La sintaxis principal aplicada para la estimación en ambos cultivos se presenta en el anexo VI.

7.2. ABORDAJE CUALITATIVO

Como un segundo abordaje para obtener otra fuente de información que respondan las hipótesis y objetivos planteados se utilizó la técnica de la entrevista. Se realizaron 26 entrevistas semiestructuradas como instrumento de investigación. Esta técnica permite usar una pauta flexible para conocer la percepción de los informantes entrevistados. El investigador dispone de una serie de temas para trabajar a lo largo de la entrevista, pero puede decidir libremente sobre el orden de presentación de los diversos temas y el modo de formular la pregunta (Corbetta, 2007).

Para relevar la percepción sobre el uso de estas tecnologías, se consideró como primera unidad de análisis a los siguientes actores entrevistados:

- Empresarios/as agrícolas de nacionalidad uruguaya.
- Gerentes de producción ingenieros/as agrónomos/as contratados para la gestión y administración de empresas agrícolas de capitales nacionales o extranjeros.
- Responsables técnicos ingenieros/as agrónomos/as que asesoran a empresas agrícolas y cooperativas incluyendo la compra de semillas de soja y maíz transgénicos.

Dado que el tamaño de muestra a partir del universo en estudio es difícil de abarcar para la selección de los entrevistados, se utilizó una muestra no probabilística con técnica de «bola de nieve».

El muestreo por bola de nieve consiste en identificar a los sujetos que se incluirán en la muestra a partir de los propios entrevistados. Se parte de una pequeña cantidad de individuos que cumplen con los requisitos exigidos y que se utilizan como informantes para localizar a otros individuos (Corbetta, 2007). Estos

individuos entrevistados presentan características idénticas, fundamentalmente haber sembrado semillas de soja y maíz con eventos transgénicos y que a su vez hayan utilizado semillas con un solo evento transgénico de ambas especies para relevar si hubo diferencias en los aspectos productivos, económicos y ambientales entre los dos grupos de semilla transgénica.

Para el caso del evento transgénico apilado, se trata específicamente de la soja comercial Intacta RR2 PRO y, en maíz, de los materiales comerciales VT Triple Pro, Power Core y Viptera 3. Para la comparación con materiales de soja que tienen un solo evento transgénico, se consideraron materiales con el primer evento comercial RR1 aprobada en 1996 y maíces con el evento Mon 810 y Bt 11. Con estos últimos eventos de maíz resultó más difícil encontrar casos de productores que los hayan sembrado porque fueron los primeros transgénicos de maíz en aprobarse en el 2003 y 2004, respectivamente, que luego fueron sustituidos por otros materiales (INASE, 2021).

El límite que se planteó con la técnica de entrevista utilizada fue alcanzar un grado de saturación teórica, donde nuevas entrevistas no agregaron información nueva (Corbetta, 2007). Los 26 actores entrevistados abarcan el veinticuatro por ciento del área sembrada de soja y maíz del ejercicio 2020-2021 (DIEA, 2020). Este conjunto de actores alcanza a veinte productores que siembran y trescientos cuarenta y cinco que son asesorados por los técnicos de las cooperativas en todo el ciclo de los cultivos de soja y maíz. Debido a las restricciones de movilidad por la situación sanitaria en el país a finales del 2020, todas las entrevistas se realizaron por plataforma Zoom, excepto cinco que respondieron por correo electrónico.

Como limitante, la técnica bola de nieve no permite contar con una muestra más diversa de individuos a entrevistar, sino que está sesgada hacia las recomendaciones de los primeros sujetos entrevistados. Ese sesgo en este trabajo está condicionado a que se trata de alcanzar una muestra de individuos que

cumplan con el requisito de haber sembrado semillas transgénicas con uno y más de un evento apilado como se señaló antes. Esto queda demostrado con datos del Instituto Nacional de Semillas, que muestran que el uso de semilla de soja con eventos transgénicos apilados en el mercado uruguayo representó un 5 % al inicio de su comercialización al 2013-2014 para pasar al 24 % del total de la semilla importada en el 2019-2020. Para maíz, la adopción de materiales con más de un evento transgénico apilado fue muy superior: pasó del 66 % al 90 % para el total de semilla importada entre el 2013-2014 y el 2019-2020 (INASE).

Se advierte, por tal motivo, que no se pudieron encontrar respuestas contrastantes en los sujetos entrevistados dado que la condición era que los actores a entrevistar cumplieran con ambas características comunes: que hayan tenido la experiencia en la siembra o asesoramiento con semillas de soja y maíz con uno y más de un evento apilado en las principales zonas agrícolas de Uruguay que este trabajo indagó.

Luego de completar las dos primeras etapas de la investigación cualitativa, la preparatoria y el trabajo de campo utilizando la técnica de la entrevista, se continuó con la etapa analítica. Esta tercera etapa consta de dos tareas a partir de las entrevistas realizadas:

1) Transcripción de las entrevistas y reducción de datos. Se realizó una codificación y categorización de los textos que surgen de los entrevistados. La codificación consiste en asignar códigos descriptivos de similares segmentos de texto y luego se define cada código según el tema que identifique. Por su parte, la categorización es una construcción que se realiza de manera inductiva donde familias de códigos están conceptualmente vinculadas entre sí por categorías (Rodríguez et al., 2005).

2) Disposición y transformación de los datos. Se realizó una síntesis descriptiva de los temas vinculados a los objetivos e hipótesis y se seleccionaron algunos fragmentos de las entrevistas que apoyan a los temas principales planteados en las tres hipótesis a continuación de los resultados cuantitativos. Para este trabajo, las

tareas de codificación y categorización se presentan como anexo y la síntesis descriptiva se muestra al final del capítulo de resultados.

8. RESULTADOS

8.1. RESULTADOS OBTENIDOS A PARTIR DEL ABORDAJE CUANTITATIVO

8.1.1. Variación de costos y beneficios netos de chacra en soja según evento transgénico

De acuerdo con la metodología de presupuestación parcial según CIMMYT, se estimaron solamente los costos que varían al utilizar semillas transgénicas de soja y maíz. Para el cultivo de soja en las ocho zafras relevadas, el primer evento apilado RR1 resultó en menores costos por hectárea respecto al evento apilado RR2. Todos los cálculos por aplicaciones de agroquímicos y sus labores se muestran en el anexo III. El promedio total de costos que varían entre el 2013-2014 al 2020-2021 fue de US\$ 120 para el grupo de RR1 y de US\$ 153 para el de RR2 (cuadro 8). La diferencia en el costo de la semilla entre uno y otro evento es la razón principal que explica este resultado.

Dicha brecha se atribuye al costo diferencial por el pago de las regalías a la venta de semilla certificada que cobran las compañías dueñas de las patentes de los eventos transgénicos. La diferencia en el costo de la semilla de soja se situó en US\$ 44/ha más para el evento RR2. Según informantes calificados⁷ que comercializan semillas de soja y maíz con eventos transgénicos, la regalía por el uso propio tenía un costo de US\$ 550/tonelada para el evento apilado Intacta RR2 en el 2018-2019, en tanto para la soja, con el evento RR1, era de US\$ 64/tonelada más IVA para todas las variedades de semillas de soja.

⁷ Distribuidores exclusivos de semillas transgenicas para el mercado en Uruguay.

Cuadro 8. Costos que varían (US\$/ha) según semilla de soja sembrada con evento RR1 y RR2

	2013-14		2014-15		2015-16		2016-17		2017-18		2018-19		2019-20		2020-21	
Evento transgénico	RR1	RR2	RR1	RR2	RR1	RR2	RR1	RR2	RR1	RR2	RR1	RR2	RR1	RR2	RR1	RR2
Costo de la semilla	88	132	103	147	92	136	106	150	78	122	98	142	74	118	60	104
Insecticidas																
Subtotal insecticidas	9,54	3,48	9,83	4,20	7,70	2,58	6,41	2,54	8,71	6,84	7,64	3,42	7,19	2,93	6,91	2,38
Aplicaciones																
Subtotal aplicaciones	28,59	26	26,06	17,7	21,06	14,04	22,02	14,68	29,84	29,84	23,43	15,62	22,62	15,08	21,905	14,605
Total costos US\$/ha	126	162	139	169	121	153	134	167	117	159	129	161	104	136	89	121

Fuente: elaboración propia con base en INASE y operadores privados del mercado de insumos.

Si bien el costo para control de lagartas y su fumigación es cero al utilizar semilla de soja con el evento RR2 —que es resistente a los principales lepidópteros—, no compensa el aumento en el precio de la semilla. De acuerdo con los datos de las ocho zafras, el precio máximo de la semilla de soja RR2 fue de US\$ 1875 por tonelada y el mínimo, US\$ 1300 por tonelada. Mientras que para la semilla con el evento RR1, el máximo observado fue US\$ 1325 y el mínimo, US\$ 750 por tonelada. Los precios máximos correspondieron a la zafra 2014-2015 y los mínimos, a la zafra 2019/20. Al respecto, uno de los entrevistados mencionó:

El valor tecnológico de las regalías de Intacta es tan alto que supera el sobre costo de las aplicaciones. Nos preocupa bastante la carga de agroquímicos que le ponemos al sistema por más que tratamos de usar insecticidas fisiológicos: sigue siendo químico que arrojamos al ambiente y sí estamos pensando en tratar de reducirlo, pero por supuesto que tiene que ser sustentable también desde el punto de vista económico. Sí nos gustaría usarlo más, pero debería equipararse más el sobre costo del valor tecnológico de la RR2 contra el costo de producción de una RR1 (fragmento entrevista, gerente de producción, Montevideo).

Mientras que otro actor dijo lo siguiente:

En Intacta en soja avanzamos cuando salió, y lo que nos empezó a pasar es que la regalía es muy cara. Empezamos a reevaluar un poquito. Hoy en día no tenemos una hectárea de Intacta, es todo RR1; en su momento teníamos chacras en Guichón con logística complicada que la Intacta entraba primero porque estaba

más al norte, con mayor ataque de lagarta e insectos lepidópteros y después que logísticamente eran chacras más complejas, el mosquito no lo tenías tan disponible. Hace unos años se fueron esos campos, hoy lo que nos sale la regalía no nos justifica, estamos sembrando todo RR1 (fragmento entrevista, responsable agrícola, Flores).

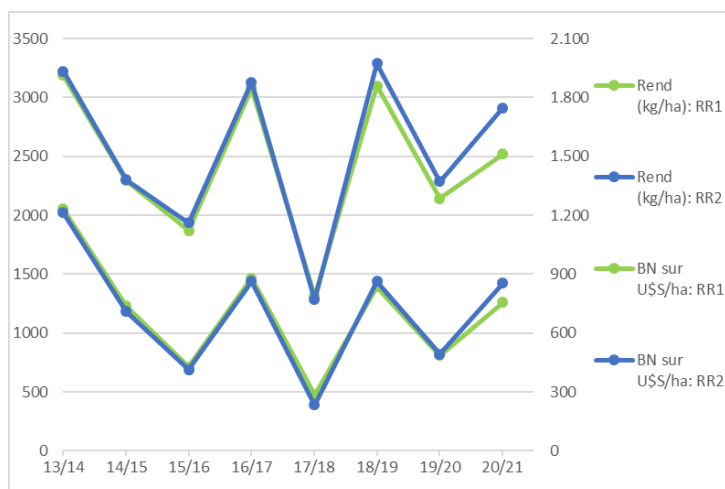
Cuadro 9. Beneficios netos (US\$/ha) según semilla de soja sembrada con evento RR1 y RR2

	2013-14		2014-15		2015-16		2016-17		2017-18		2018-19		2019-20		2020-21	
	RR1	RR2	RR1	RR2	RR1	RR2	RR1	RR2	RR1	RR2	RR1	RR2	RR1	RR2	RR1	RR2
Evento transgénico																
Rendimiento ajustado (tt/ha)	3,19	3,22	2,29	2,30	1,87	1,94	3,08	3,13	1,32	1,28	3,10	3,29	2,14	2,28	2,52	2,91
Beneficios bruto a CS U\$/ha	1.359	1.373	875	878	547	566	1.014	1.030	402	393	965	1.024	589	628	844	975
Beneficios bruto a CN U\$/ha	1.304	1.318	838	841	526	545	971	986	384	375	931	987	577	615	824	952
Costo de la semilla	88	132	103	147	92	136	106	150	78	122	98	142	74	118	60	104
Total costos que varían U\$/ha	126	162	139	169	121	153	134	167	117	159	129	161	104	136	89	121
Beneficios netos sur U\$/ha	1.232	1.212	736	709	426	414	879	863	285	234	836	863	486	492	755	854
Beneficios netos norte U\$/ha	1.178	1.157	699	672	406	393	836	819	267	216	802	826	473	479	735	831

Fuente: elaboración propia con base en INASE y operadores privados del mercado de insumos.

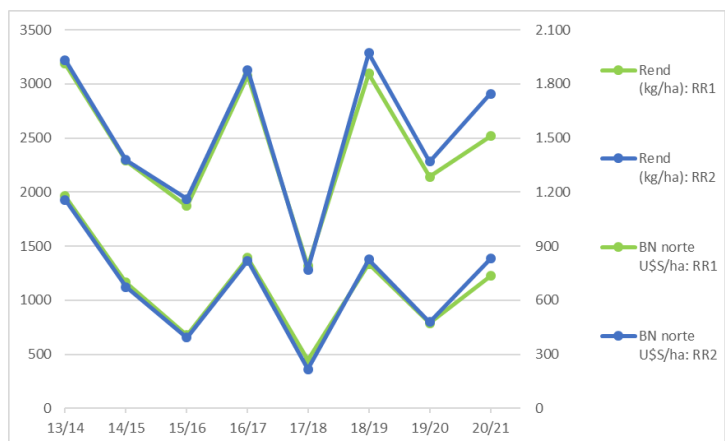
En cinco de las ocho zafras evaluadas tanto para la región norte y sur, la alternativa de soja con el evento RR1 tuvo beneficios superiores a la semilla de soja RR2 (cuadro 9). Las tres zafras donde los beneficios netos (BN) fueron superiores para la soja con evento RR2 se verificaron rendimientos mayores a 140 kg/ha respecto a los materiales con evento RR1 (cuadro 9 y gráficos 4 y 5). Y en dos zafras 2018-2019 y 2019-2020 donde los beneficios son mayores con RR2, si se compara el grupo de las RR1 zona sur respecto a las RR2 zona norte, la ventaja es favorable para las RR1 en US\$ 10 y 7 por hectárea debido a la distancia al puerto. Para el resto de las zafras, la diferencia por el costo de transporte de grano cosechado en la zona sur tiene una mayor incidencia en el beneficio a favor de las RR1 por la disminución de los costos totales.

Gráfico 4. Beneficios netos (BN) zona sur según soja RR1 y RR2



Fuente: elaboración propia con base en INASE e información de operadores privados.

Gráfico 5. Beneficios netos (BN) zona norte según soja RR1 y RR2



Fuente: Elaboración propia con base en INASE e información de operadores privados.

Justamente en las primeras zafas el ahorro en costos por la falta de necesidad de una aplicación de insecticida para control de lagarta y el costo del insecticida no tienen incidencia favorable en los costos que varían por utilizar el evento RR2 porque no compensa, como se comentó, por el mayor costo de la semilla RR2 respecto al evento RR1, lo que es coincidente en la mayoría de los actores entrevistados. Sobre los costos de aplicaciones de insecticidas en soja un entrevistado argumentó:

Los costos con los eventos apilados disminuyen, pero no siempre, porque la dinámica de plagas es año dependiente. Entonces, podemos tener chacras en las cuales un año requiera varias aplicaciones de insecticidas y otro año esté tranquilo porque son años secos y no precise de aplicación de insecticida para el control de lepidóptero, por ejemplo. Por lo tanto, en este caso, el costo es el mismo en ambos eventos, en una soja RR2 que una RR1. Puede ser que necesites para una soja RR1 hacer una aplicación temprana de lepidópteros, que se realiza junto con el herbicida para todas las chacras, entonces no tenés un costo extra de labor, simplemente tenés un costo extra de una dosis de insecticida de entre US\$ 3 a 5 por ha (fragmento de entrevista, asesor técnico, Dolores).

A diferencia del entrevistado anterior, otro argumentó lo siguiente:

Sí, por supuesto que sí, en una soja Intacta RR2 y una común RR1 tenés por lo menos entre dos y tres aplicaciones menos por ha en un evento Intacta que la común. Dejamos de usar todos los que son insecticidas para lepidópteros, los IGR, clorpirifos, y solamente nos pasamos para situaciones de control más de chinches, arañuelas o plagas que no son lepidópteros (fragmento entrevista, responsable agrícola, Flores).

En otro análisis realizado donde se considera el valor de rendimiento para el 25 % de los datos —primer cuartil para ambos eventos—, los beneficios netos a favor del evento apilado RR2 también se observaron en la sexta, séptima y octava zafra (cuadro 10). La diferencia fueron los mayores rendimientos de las variedades RR2 de más de 170 kg/ha de grano de soja a pesar que tuvieron mayores costos.

Cuadro 10. Beneficios netos (US\$/ha) según 1.º cuartil de rendimiento ajustado para semilla de soja sembrada con evento RR1 y RR2

Evento transgénico	2013-14		2014-15		2015-16		2016-17		2017-18		2018-19		2019-20		2020-21	
	RR1 - Q1	RR2-Q1	RR1 - Q1	RR2-Q1	RR1 - Q1	RR2-Q1	RR1 - Q1	RR2-Q1	RR1 - Q1	RR2-Q1	RR1 - Q1	RR2-Q1	RR1 - Q1	RR2-Q1	RR1 - Q1	RR2-Q1
Rendimiento ajustado (kg/ha)	2,57	2,51	1,96	1,99	1,52	1,50	2,87	2,87	0,73	0,72	2,87	3,15	1,96	2,14	1,95	2,31
Beneficios bruto a CS US\$/ha	1094	1072	748	760	444	438	944	945	223	220	894	981	540	588	653	773
Beneficios bruto a CN US\$/ha	1051	1029	717	728	427	422	903	905	213	210	863	946	528	575	637	755
Costo de la semilla	88	132	103	147	92	136	106	150	78	122	98	142	74	118	60	104
Total costos que varían US\$/ha	126	162	139	169	121	153	134	167	117	159	129	161	104	136	89	121
Beneficios netos sur US\$/ha	968	910	609	591	323	286	809	778	107	62	765	820	436	452	564	652
Beneficios netos norte US\$/ha	924	867	578	559	306	269	769	738	96	51	734	785	424	439	548	634

Fuente: elaboración propia con base en FUCREA.

Al considerar el valor de rendimiento del 75 % —tercer cuartil de las observaciones de rendimiento de soja (cuadro 11)— para ambos eventos, los beneficios netos en la zona sur para el evento RR2 fueron superiores en cuatro de las ocho zafras. En esas cuatro situaciones se observó una productividad por hectárea mayor a 110 kg de la semilla con el evento RR2 respecto a la RR1 y la menor distancia a puerto no mejora los beneficios la RR1. Las diferencias entre ambos grupos RR1 y RR2 por cada región sur y norte fueron mínimas.

Cuadro 11. Beneficios netos (US\$/ha) según 3.º cuartil de rendimiento ajustado para semilla de soja sembrada con evento RR1 y RR2

Evento transgénico	2013-14		2014-15		2015-16		2016-17		2017-18		2018-19		2019-20		2020-21	
	RR1 - Q3	RR2-Q3	RR1 - Q3	RR2-Q3	RR1 - Q3	RR2-Q3	RR1 - Q3	RR2-Q3	RR1 - Q3	RR2-Q3	RR1 - Q3	RR2-Q3	RR1 - Q3	RR2-Q3	RR1 - Q3	RR2-Q3
Rendimiento ajustado (tt/ha)	3,95	3,72	2,60	2,64	2,22	2,29	3,29	3,40	1,41	1,31	3,38	3,66	2,34	2,49	3,09	3,49
Beneficios bruto a CS US\$/ha	1.682	1.587	993	1.009	648	669	1.083	1.119	431	401	1.053	1.140	645	685	1.034	1.170
Beneficios bruto a CN US\$/ha	1.615	1.524	952	966	623	644	1.037	1.072	411	383	1.016	1.100	631	670	1.009	1.142
Costo de la semilla	88	132	103	147	92	136	106	150	78	122	98	142	74	118	60	104
Total costos que varían US\$/ha	126	162	139	169	121	153	134	167	117	159	129	161	104	136	89	121
Beneficios netos sur US\$/ha	1.556	1.426	854	840	527	517	949	952	314	243	924	979	541	549	945	1.049
Beneficios netos norte US\$/ha	1.489	1.362	813	798	503	491	903	905	295	224	887	938	527	534	921	1.021

Fuente: elaboración propia con base en FUCREA.

8.1.2. Variación de costos y beneficios netos de chacra en maíz según evento transgénico

Siguiendo la misma metodología de presupuestación parcial para las semillas de maíz, el resultado fue de menores costos por hectárea en seis de las siete zafras analizadas con más de un evento apilado respecto a las semillas con un solo evento. Para la dos primeras zafras no hay una ventaja económica clara a favor del evento apilado (cuadros 12 y 13). Los costos son similares porque ambos eventos, el que tiene doble evento (Bt11xGA21) y el que tiene un evento (Bt 11), llevan aplicaciones parecidas de insecticidas (anexo IV). Si bien el costo de la semilla con un evento apilado (Bt11) era inferior a la semilla con dos eventos (Bt11xGA21), la aplicación de menor costo, con el herbicida de control total glifosato sal potásica, compensó el mayor costo del evento apilado.

Cuadro 12. Costos que varían (US\$/ha) según semilla de maíz sembrada con un evento (Bt11 y GA21) respecto a dos o más eventos (Bt11xGA21 y Viptera 3)

	2013-14		2014-15		2015-16		2016-17		2018-19		2019-20		2020-21	
	Bt11	Bt11xGA21	Bt11	Bt11xGA21	GA21	VIP3	GA21	VIP3	GA21	VIP3	GA21	VIP3	GA21	VIP3
Costo de la semilla	162	176	153	170	147	191	147	187	147	185	147	198	147	198
Herbicidas														
Subtotal herbicidas	34	19,25	34	17,32	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Insecticidas														
Subtotal insecticidas	7,60	7,60	7,72	7,72	28,64	0,00	25,14	0,00	32,22	0,00	28,52	0	30,98	0
Aplicaciones														
Subtotal aplicaciones	28,59	28,59	25,08	25,08	28,08	0	29,36	0	31,24	0	30,16	0	29,21	0
Total costos U\$/ha	232	231	220	220	203	191	201	187	210	185	205	198	207	198

Fuente: elaboración propia con base en datos de FUCREA.

En esas dos zafras 2013-2014 al 2014-2015 solamente había una empresa que tenía en el mercado el herbicida también de control total inserto en el evento Bt11, con el ingrediente activo glufosinato de amonio, por lo que su precio era el doble de un glifosato. A partir de la zafra 2015-2016, cuando se consideró a la semilla Viptera 3 con triple evento apilado, la ventaja en menores costos por hectárea fue más evidente que para las dos primeras zafras. Esto se explica porque hasta el momento, en general, esta semilla con tres eventos contaba con resistencia a las tres especies de lepidópteros más importantes que atacan al cultivo de maíz, mientras que, para las dos primeras zafras, el evento Bt11 presente en el grupo con uno y dos eventos expresa la misma proteína con resistencia a los mismos lepidópteros.

Para el maíz, la brecha por el costo de semillas entre el grupo de un evento transgénico (Bt11) al grupo de dos eventos (Bt11xGA21) fue de US\$ 14 a 17/ha más y para el grupo de un evento transgénico (GA21) al de tres (VIP3) de US\$ 38 a 51 por ha. En esa brecha de costos está implícito el pago de la regalía por la semilla transgénica según tenga uno o más eventos transgénicos con tolerancia a herbicida y resistencia a plagas.

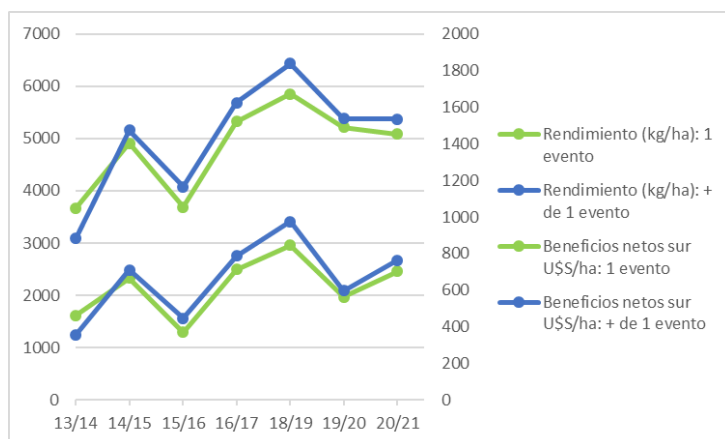
Cuadro 13. Beneficios netos (US\$/ha) según semilla de maíz sembrada con un evento (Bt11 y GA21) respecto a dos o más eventos (Bt11xGA21 y Viptera 3)

Evento transgénico	2013-14		2014-15		2015-16		2016-17		2018-19		2019-20		2020-21	
	Bt11	Bt11xGA21	Bt11	Bt11xGA21	GA21	VIP3	GA21	VIP3	GA21	VIP3	GA21	VIP3	GA21	VIP3
Rendimiento ajustado (tt/ha)	3,67	3,10	4,91	5,16	3,69	4,08	5,33	5,68	5,85	6,43	5,21	5,38	5,09	5,37
Beneficios bruto a CS US\$/ha	695	587	886	932	575	636	915	975	1.055	1.160	769	794	911	961
Beneficios bruto a CN US\$/ha	633	534	808	849	534	591	840	896	991	1.090	738	762	870	918
Costo de la semilla	162	176	153	170	147	191	147	187	147	185	147	198	147	198
Total costos que varían US\$/ha	232	231	220	220	203	191	201	187	210	185	205	198	207	198
Beneficios netos sur US\$/ha	463	356	666	711	371	446	713	788	845	976	564	596	704	763
Beneficios netos norte US\$/ha	401	303	588	629	331	401	639	708	781	905	532	564	663	720

Fuente: elaboración propia con base en datos de FUCREA.

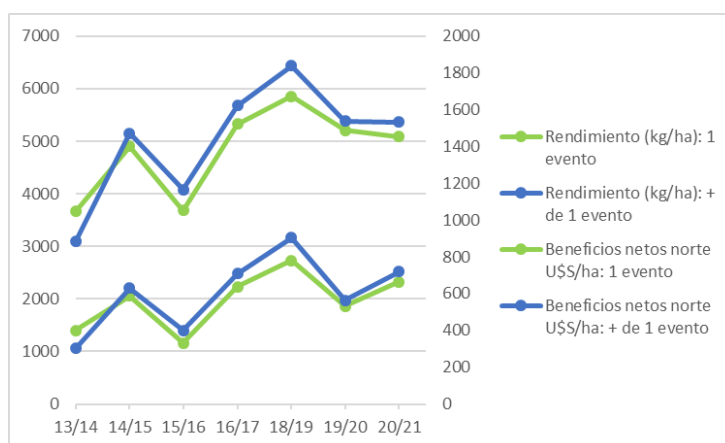
Los beneficios netos en el caso de los eventos apilados de maíz son mayores para todas las zafas con la excepción del 2013-2014 (cuadro 13 y gráficos 6 y 7). En este cultivo, utilizar semilla con protección para las tres plagas principales permite un ahorro en aplicaciones sumado al costo del insecticida que superan la diferencia en el mayor costo de la semilla Viptera 3 con tres eventos respecto a la semilla GA21 (su refugio) con un evento. Al considerar el costo del transporte del grano cosechado, en tres zafas 2013-2014, 2014-2015 y 2016-2017, el beneficio neto de los materiales con un evento (Bt11/GA21) de la región sur supera al de los materiales con más de un evento transgénico (Bt11xGA21 y VIP3) de la zona norte en valores de US\$ 160, 37 y 5 por hectárea. Y para la zafra 2019-2020, los beneficios netos se igualan.

Gráfico 6. Beneficios netos zona sur según maíz con un evento (Bt11/GA21) y más de un evento (Bt11xGA21/VIP3)



Fuente: elaboración propia con base en INASE e información de operadores privados.

Gráfico 7. Beneficios netos zona norte según maíz con un evento (Bt11/GA21) y más de un evento (Bt11xGA21/VIP3)



Fuente: elaboración propia con base en INASE e información de operadores privados.

Los materiales con evento Viptera 3, al contar con protección frente a plagas principales, como se mencionó antes, no tienen la necesidad de aplicación de insecticidas. Dicha protección contra algunas plagas (lagartas), que le otorga dos genes transgénicos con característica Bt (*Bacillus thuringiensis*), evita disminuciones en los rendimientos del cultivo de maíz (gráfico 6 y 7).

En tanto que el material con un solo evento GA21 tiene tolerancia al herbicida glifosato y no resistencia a insectos plaga, necesita realizar entre 3 a 5 aplicaciones con insecticidas para el cultivo sembrado con la semilla con este evento GA21 que

superan en costo la ventaja a favor de menor precio de la semilla respecto a la que tiene tres eventos apilados. Esto es consistente con lo que destacó uno los técnicos entrevistados:

Por el punto de vista de los maíces, ahí sí hay un ahorro, sobre todo en el Viptera 3. Sobre todo, pensando en segunda y tardío, que es lo que más se siembra hoy en día. Quizás acá hay un ahorro de dos aplicaciones según contra qué lo comparemos: si es contra el refugio, son de dos a cuatro aplicaciones. Con lo cual acá ni se cuestiona. Hay una diferencia con un material Bt11 que lleva por lo menos tres aplicaciones y terminás cosechando menos kilos porque nunca llegaste a controlar bien el nivel de plagas. Es cierto que es mucho más cara la semilla de un Viptera 3 que de un Bt11, pero capaz que lo que estás pagando por la bolsa, te cubre esas aplicaciones extra. Creo que el número termina siendo que la productividad en el Viptera 3 va a terminar siendo mayor porque el control de la plaga fue muy superior (fragmento de entrevista, gerente de producción, Montevideo).

Mientras que otro entrevistado puntualizó:

Sí hubo un cambio en los insecticidas, tanto en soja como maíz, por la introducción de los eventos apilados. Con el evento Bt 11 o Mon 810 solamente ataja algo, pero tenían resistencia parcial, tenés daños importantes igualmente. La plaga necesita toxinas para morirse y la toxina que produce el Bt común no es suficiente para matar esas lagartas. En cambio, en los eventos apilados, con alimentarse poco ya es suficiente para morir las plagas. En Viptera 3 apenas ves un daño y ya no ves lagarta. Con los viejos Bt 11 las lagartas, que a veces ni siquiera se mueren, comen y comen y es como que tomaran jugolín. Ahí sí tenés que planificar un insecticida si quiero un material barato como el Bt11, dependiendo de cómo venga el año, capaz preciso un segundo insecticida o un tercero, o capaz que no preciso más (fragmento de entrevista, asesor técnico, Dolores).

Cuadro 14. Beneficios netos (US\$/ha) para el 3.^{er} cuartil de rendimiento ajustado para semilla de maíz sembrada con un evento (Bt11 y GA21) respecto a dos o más eventos (Bt11xGA21 y Viptera 3)

Evento transgénico	2013-14		2014-15		2015-16		2016-17		2018-19		2019-20		2020-21	
	Bt11-Q3	Bt11xGA21-Q3	Bt11-Q3	Bt11xGA21-Q3	GA21-Q3	VIP3-Q3	GA21-Q3	VIP3-Q3	GA21-Q3	VIP3-Q3	GA21-Q3	VIP3-Q3	GA21-Q3	VIP3-Q3
Rendimiento ajustado (tt/ha)	6,42	5,85	6,27	7,06	5,35	4,90	5,84	5,99	7,12	8,87	5,57	6,26	5,46	6,14
Beneficios bruto a CS US\$/ha	1.218	1.109	1.133	1.275	834	765	1.002	1.028	1.284	1.600	822	924	979	1.100
Beneficios bruto a CN US\$/ha	1.109	1.009	1.033	1.162	775	711	920	944	1.206	1.503	788	886	935	1.051
Costo de la semilla	162	176	153	170	147	191	147	187	147	185	147	198	147	198
Total costos que varían US\$/ha	232	231	220	220	203	191	201	187	210	185	205	198	207	198
Beneficios netos sur US\$/ha	986	878	913	1.055	630	574	801	841	1.074	1.416	616	726	772	902
Beneficios netos norte US\$/ha	877	779	813	942	571	520	719	757	996	1.318	583	688	728	853

Fuente: elaboración propia con base en datos de FUCREA.

Al utilizar el valor de rendimiento de maíz para el 75 % mayor (tercer cuartil) de las observaciones, se vuelve a confirmar la tendencia de mayores beneficios netos para los eventos apilados. Las dos únicas zafras 2013-2014 y 2015-2016, donde la alternativa de utilizar semilla de maíz con un evento (Bt11 y GA21) fue favorable, ocurrió cuando los rendimientos de este grupo superaron a los del grupo con más de un evento (Viptera 3) en más de 440 kg/ha. El costo diferencial de transporte según región favoreció a la mejora del beneficio neto para los materiales con uno y dos eventos respecto a los de tres eventos para tres zafras donde los rendimientos fueron superiores o casi se igualan en la zafra 2016-2017.

8.1.3. Rendimientos de soja con eventos apilados respecto a un solo evento

Para las dos primeras zafras 2015 al 2017, el tamaño de muestra para ambas regiones con el evento RR2 estuvieron entre un 4 % al 41 % del total de chacras (cuadros 15 y 16). Por otra parte, todas las observaciones de la zafra 2017-2018 también en ambas regiones presentaron una variabilidad en rendimiento reflejada en el coeficiente de variación (CV) superior al 40 % debido a la escasez de precipitaciones en todo el ciclo del cultivo.

Otro aspecto fue que la primera zafra comercial del evento RR2 en el 2013-2014 tuvo en un 5 % de uso, con un incremento del 24 % sobre el total de semilla de soja comercializada en la zafra 2019-2020 (INASE, 2021).

Cuadro 15. Rendimientos de soja con evento apilado RR2 y evento RR1 litoral sur

	2015-16				2016-17				2017-18				2018-19				2019-20				2020-21			
LITORAL SUR	RR1	RR2	RR1	RR2	RR1	RR2	RR1	RR2	RR1	RR2	RR1	RR2	RR1	RR2	RR1	RR2	RR1	RR2	RR1	RR2	RR1	RR2	RR1	RR2
	S1	S1	S2	S2	S1	S1	S2	S2	S1	S1	S2	S2	S1	S1	S2	S2	S1	S1	S2	S2	S1	S1	S2	S2
MEDIA	2225	1723	2051	2322	3274	3250	2973	2716	1189	1073	1168	1370	3710	3701	2876	3113	2472	2662	2153	2131	2045	1922	1787	1864
CV	26%	39%	29%	22%	16%	19%	22%	17%	48%	41%	50%	44%	14%	19%	27%	25%	23%	31%	19%	24%	32%	29%	35%	37%
n	318	49	190	28	231	71	166	96	241	58	101	68	167	54	161	33	195	82	167	138	260	92	319	184
P-value media	81%		51%		52%		50%		50%		58%		54%		51%		52%		67%		50%		50%	
P-value median	66%		41%		60%		48%		54%		75%		40%		64%		57%		87%		58%		58%	

Fuente: elaboración propia con base en datos de FUCREA.

En el litoral sur, cerca del 60 % de las observaciones, independientemente de si se tratara de un cultivo de soja de primera (S1) o segunda (S2), resultaron en mejores rendimientos promedio para el evento RR1 respecto al apilado RR2. Solamente dos registros del evento RR2 de doce superaron el 10 % del rendimiento que la empresa Monsanto afirmaba alcanzar respecto a la soja RR1.

Mediante la técnica de remuestreo (*bootstrap*) y de acuerdo a los valores estadísticos observados, no se encontraron diferencias significativas según los p-valor estimados para los test de diferencias de media y mediana (cuadros 15 y 16). Asumiendo una hipótesis nula verdadera, de igualdad de medias, en todas las situaciones las probabilidades de obtener valores iguales o por encima del test estadístico observado para ambas regiones fueron superiores a un 50 %. Esto significa que de las 10 000 repeticiones definidas mediante el software R, más de la mitad de los valores estadísticos del test *bootstrap* superan el valor estadístico observado, lo que confirma la hipótesis nula como verdadera: que las medias entre ambos grupos de semillas no tienen diferencias significativas.

Cuadro 16. Rendimientos de soja con evento apilado RR2 y evento RR1 litoral norte

	2015-16				2016-17				2017-18				2018-19				2019-20				2020-21			
LITORAL NORTE	RR1	RR2	RR1	RR2	RR1	RR2	RR1	RR2	RR1	RR2	RR1	RR2	RR1	RR2	RR1	RR2	RR1	RR2	RR1	RR2	RR1	RR2	RR1	RR2
	S1	S1	S2	S2	S1	S1	S2	S2	S1	S1	S2	S2	S1	S1	S2	S2	S1	S1	S2	S2	S1	S1	S2	S2
MEDIA	1794	1734	1690	1817	2881	3269	2534	2811	1015	1211	954	972	3022	3275	2759	2703	2406	2340	2083	2196	2240	2315	1658	2095
CV	25%	23%	28%	17%	15%	11%	19%	14%	40%	41%	41%	41%	18%	15%	23%	22%	23%	30%	24%	25%	27%	21%	42%	33%
n	92	39	53	2	97	69	34	9	85	64	40	27	166	80	104	35	215	135	136	78	134	107	130	102
P-value media	99%		51%		50%		50%		50%		60%		50%		78%		55%		51%		57%		50%	
P-value median	44%		40%		50%		49%		39%		63%		51%		71%		39%		60%		49%		38%	

Fuente: elaboración propia con base en datos de FUCREA.

Para el litoral norte, el rendimiento (kg/ha) promedio del evento apilado RR2 fue superior en un 75 % de las zafras bajo estudio tanto para soja 1ª (S1) y soja 2ª (S2).

En esta región, cuatro registros superaron el 10 % de rendimiento respecto a la soja RR1.

Sobre este punto un entrevistado mencionó:

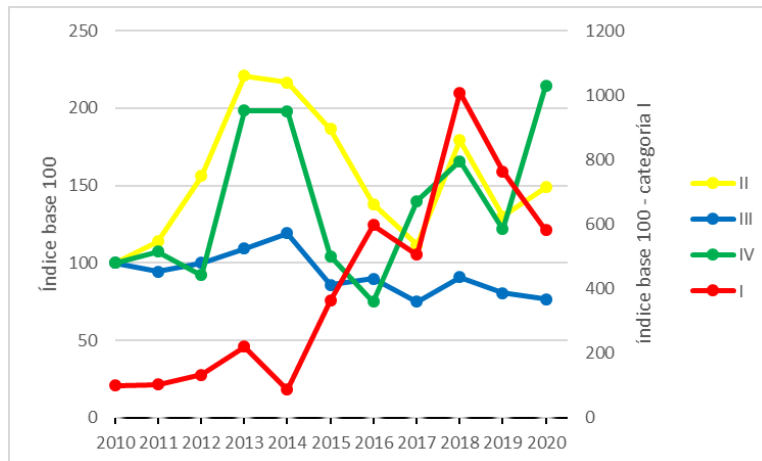
Nosotros lo que sembramos hoy con el evento Intacta RR2 Pro es porque la variedad es espectacular y, lamentablemente, nos duele que sea Intacta por lo que tengo que pagar de regalía. No rinde más por ser un gen RR2, sino por la variedad. La Intacta estuvo sobre otra base genética que la RR1. ¿Cómo la comparan? Rinde un 8 % más, porque la variedad 6.2 RR1 rinde tanto, en cambio la 60i62 rinde tanto más, pero es otra variedad, es porque la pusiste en una variedad que rinde más, esa fue la trampa de la Intacta. Que, en Brasil, si no es RR2 tenés que entrar cinco veces a chacra, acá no, tenés que hacer la cuenta: pago no sé cuánto de regalía (fragmento de entrevista, gerente de producción, Colonia y Paysandú).

8.1.4. Evolución de la toxicidad de los fitosanitarios más utilizados

8.1.4.1. Índice según toxicidad aguda para mamíferos

A partir de los ingredientes activos importados de los principales herbicidas e insecticidas de uso en chacras de soja y maíz entre 2010 y 2020, según categoría toxicológica, se observó un aumento mayor de las categorías I y IV (gráfico 8). La categoría I fue la de mayor peligrosidad por presentar una baja dosis letal aguda para mamíferos (LD50) —menor a 400 mg de un ingrediente activo formulado líquido/kg PV de mamífero— y la categoría IV, de poca peligrosidad al precisar una dosis letal aguda mayor a 5000 mg de ingrediente activo formulado por kilo de peso vivo para mamíferos. En términos de índice de ingrediente activo con base 100, para el año 2010, el incremento para la categoría I fue de 664 y de 482 puntos para el 2019 y 2020, respectivamente, en tanto que para la categoría de menor peligrosidad el aumento fue de 22 y 115 puntos para los mismos años.

Gráfico 8. Índice de los principales agroquímicos importados de uso en soja y maíz según categoría toxicológica para mamíferos (LD50) 2010-2020



Nota: se consideraron kilos de ingrediente activo de herbicidas y insecticidas.

Fuente: elaboración propia con base en la Dirección General de Servicios Agrícolas (DGSA-MGAP).

En valores absolutos, el incremento fue de 127 724 kilos y 141 769 kilos de ingrediente activo para la categoría I y IV, respectivamente, entre 2010 y 2020. Dentro de la categoría I, el único ingrediente activo importado es el Paraquat, mientras que para la categoría IV incluye a nueve herbicidas entre los cuales figuran, entre otros, el diclosulam y la simazina y cuatro insecticidas como el triflumuron y el clorantraniliprole. La única categoría que tuvo una disminución hacia el 2020 fue la III, dentro de la cual están todas las sales de glifosatos (cuatro), junto con otros catorce herbicidas y dos insecticidas.

Por último, la categoría toxicológica II fue la que tuvo un aumento mayor en valores absolutos entre el 2010 y el 2020 de 416.455 kilos de ingrediente activo. Esta categoría incluye diez ingredientes activos, siete insecticidas de mayor toxicidad (cipermetrina, clorpirifos, deltametrina, lambdacialotrina, emamectin benzoato, flubendiamide y bifentrin) y tres herbicidas (2,4 d amina, metribuzin y glufosinato de amonio) con mayor toxicidad respecto a la categoría III donde se ubican los glifosatos.

Haciendo una valoración de la toxicidad por el no uso de insecticidas en maíz, uno de los entrevistados mencionó lo siguiente:

En una escala de I a IV, nosotros hacemos una valoración de IV porque el impacto de los insecticidas es fuerte. La plaga *spodoptera* se mete en el cogollo del maíz, por eso le dicen la cogollera, y solo sale para comer de noche. Entonces o aplicás en la noche o aplicás dos productos translaminares que por el gas pueden atravesar la hoja y matan el insecto. Son productos fuertes, sí, son fuertes para el insecto, son fuertes para el mosquitero, el aguatero, para todos los que estamos relacionados de alguna manera en esa aplicación. La verdad que con el evento Viptera 3 (maíz) no las tenemos, entonces es muy fuerte el impacto ahí (fragmento de entrevista, gerente de área agronómica, Dolores).

Otro actor entrevistado comentó al respecto:

Nos hemos emprolijado bien con el uso de insecticidas y yo lo atribuyo a que no se usa insecticidas menos selectivos como el clorpirifos y la cipermetrina, que hace cinco u ocho años era común (fragmento de entrevista, jefe de departamento técnico cooperativa, Young).

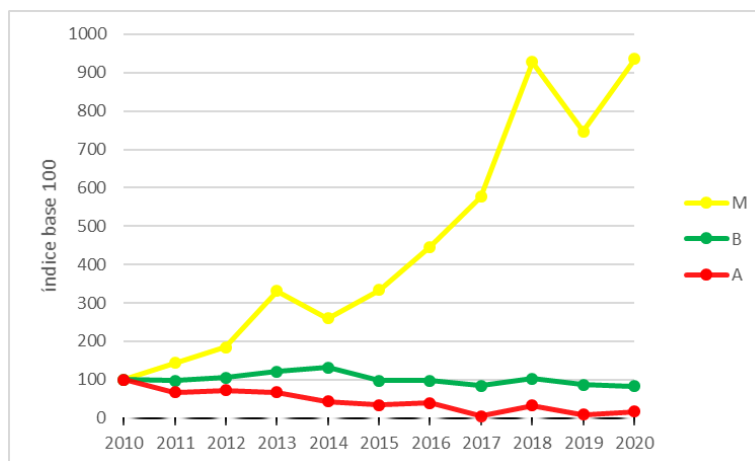
En valores absolutos, la mayor cantidad de los herbicidas e insecticidas importados para uso en chacras de soja y maíz van de ligeramente peligroso (III) a moderadamente peligroso (II), con un rango 8.068.768 (mínimo) a 12.816.104 (máximo) para la categoría III y 851.116 (mínimo) a 1.879.006 (máximo) kilos de ingrediente activo para la categoría II. Aunque como se mencionó en términos relativos, hubo un crecimiento importante de las categorías I y IV. Una de las explicaciones del crecimiento de la categoría I «muy peligroso», donde se ubica al herbicida Paraquat, fue el aumento de la resistencia de algunas poblaciones de malezas al herbicida glifosato. Sobre este asunto un entrevistado comentó:

Con el glifosato posibilitó bajar mucho la carga de herbicidas, herbicidas residuales, más complicados como Paraquat y atrazina. Aunque la competitividad económica se está perdiendo con el glifosato porque aparecieron todo tipo de resistencias (fragmento de entrevista, gerente de producción, Young).

8.1.4.2. Índice de toxicidad según umbral de daño para abejas

Al considerar la dimensión ecotoxicológica para las abejas se observó un consistente aumento en el umbral de toxicidad moderado (M). En este umbral están presentes nueve agroquímicos de los cuales uno corresponde al insecticida mezcla de los ingredientes activos spinetoram y metoxifenocide para control de plagas principales (lepidópteros y trips) en soja; los restantes ocho, a herbicidas como sulfentrazone, fomesafen, Paraquat, simazina, cletodim y clopyralid. Algunos de estos herbicidas de acuerdo con varios de los actores entrevistados vienen teniendo un creciente uso en chacras de agrícolas tanto para uso en barbechos químicos como en cultivos debido a la compleja problemática actual de enmalezamientos como, por ejemplo, control de “yuyo colorado” (*Amaranthus palmeri*) y “raigrás” (*Lolium multiflorum* y *L. perenne*).

Gráfico 9. Índice de los principales herbicidas e insecticidas importados de uso en soja y maíz según umbral de daño para abejas 2010-2020



Nota umbrales: M = moderado; B = bajo; A = alto.

Fuente: elaboración propia con base en la Dirección General de Servicios Agrícolas (DGSA-MGAP).

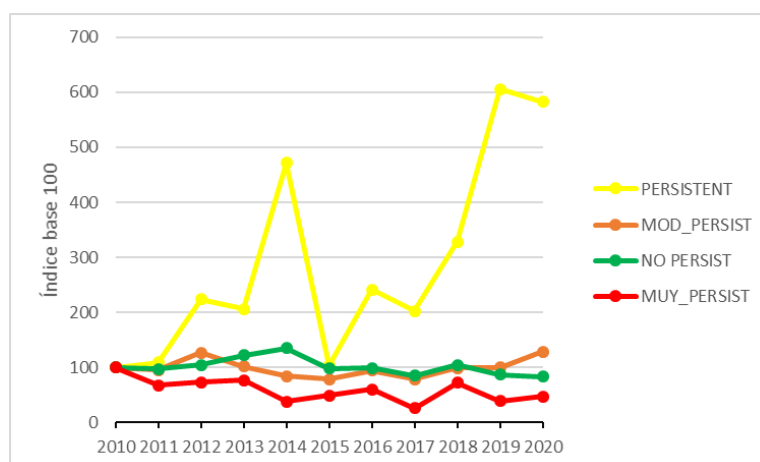
En el grupo de bajo umbral (B) se encuentran los herbicidas glifosatos, 2.4 d amina, metribuzin, dicamba y biciclopirona (gráfico 9); los dos primeros, de amplio uso en barbechos, cultivo de soja y maíz. El herbicida hormonal 2.4 d amina tendrá un mayor uso a partir de la zafra 2021-2022 debido a la introducción comercial en el

mercado del evento de soja con tecnología Enlist, propiedad de la multinacional Corteva, que es tolerante al 2.4 d. Por último, en el umbral más sensible (A) a las abejas se encuentran los insecticidas de mayor toxicidad como clorpirifos, cipermetrina, lambdacialotrina, bifentrin y deltametrina. Estos cinco insecticidas de mayor daño en abejas disminuyen sus importaciones entre el 2010 y el 2020 con la excepción del ingrediente activo bifentrin, de uso en insectos plaga como chinches y ácaros (gráfico 9).

8.1.4.3. Índice de persistencia química de agroquímicos en suelo

Para la dimensión ambiental, relacionado con la persistencia química en el suelo se destaca el incremento de los herbicidas biciclopirona, diuron y clorsulfuron dentro del umbral «persistente». Esta categoría presenta una vida media en el suelo de 100 a 365 días expresada en su indicador DT50. Los tres ingredientes activos coinciden en el control de yuyo colorado, una de las malezas más problemáticas en los sistemas agrícolas actuales, que también es controlado por el herbicida S-metolachlor que se ubica dentro de los «moderadamente persistente(s)» en suelos. Este herbicida es selectivo para uso en algunos cultivos agrícolas, como en soja y en maíz con antídoto para su tolerancia.

Gráfico 10. Índice de los principales herbicidas e insecticidas importados de uso en soja y maíz según persistencia en suelo 2010-2020



Fuente: elaboración propia con base en la Dirección General de Servicios Agrícolas (DGSA-MGAP).

Por otro lado, los agroquímicos de mayor tiempo de degradación en suelo «Muy Persistente(s)» son los herbicidas Paraquat y sulfentrazone y los insecticidas clorpirifos, metoxifenocide y clorantraniliprole (gráfico 10). La tendencia en el período bajo estudio muestra una disminución fundamentalmente por la reducción en las importaciones de clorpirifos, un insecticida además moderadamente peligroso en mamíferos y de alta toxicidad para abejas. En su lugar surgió el ingrediente activo clorantraniliprole que, si bien es de baja toxicidad en mamíferos y abejas, su tasa de degradación química en suelos es de las más altas (consulta en línea PPDB, 2021 y gráfico 10). También se observa en este umbral el aumento del herbicida sulfentrazone de uso para control de malezas difíciles como “rábano” (*Raphanus spp.*), yuyo colorado y “yerba carnífera” (*Conyza bonaerensis*), que, al igual que clorantraniliprole, no tiene alta toxicidad en mamíferos y abejas.

8.1.5. Ingresos por aplicaciones a chacras

Para cuatro de las cinco zafras de las que se consiguieron datos de chacras pertenecientes a los productores agrícolas de FUCREA se constató una aplicación menos de insecticida para el evento apilado de soja RR2 respecto al RR1 (cuadro 17).

Cuadro 17. Cantidad de aplicaciones con insecticidas en chacras según evento transgénico de soja

Evento OGM/zafra	RR1_15-16	RR2_15-16	RR1_16-17	RR2_16-17	RR1_17-18	RR2_17-18	RR1_18-19	RR2_18-19	RR1_19-20	RR2_19-20
Min.	1	2	1	1	1	1	0	0	1	0
Median (50%)	4	2,5	2	3	3	2	3	2	3	2
Media	3,77	2,83	2,46	2,39	2,65	2,12	2,77	1,95	2,73	2
Max.	6	4	5	5	7	4	6	4	5	5
Tamaño muestra (n)	287	6	13	33	386	200	619	197	806	398

Fuente: elaboración propia con base en FUCREA.

Estos resultados de ingresos a chacras se validaron con la técnica de Poisson y, en el caso de la soja RR2, en tres de las cinco zafras analizadas los resultados fueron significativos con un p-valor por debajo de $82503e^{-05}$ (anexo VI). En esas tres situaciones, los rangos de aplicaciones de insecticidas con intervalos de confianza

del 95 % de los casos estuvieron por encima de uno. Por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula de que la relación del evento RR1/evento RR2 fuera igual a 1.

Si bien las aplicaciones con insecticidas incluyen los controles para todas las plagas principales de soja lepidópteros, ácaros y chinches, la soja con el evento RR1 tolerante solo a glifosato precisa de la totalidad de las aplicaciones, en tanto la soja con el evento apilado RR2 (Bt) únicamente para el control de arañuelas y chinches. Tal como señalaron en todas las entrevistas, los actores involucrados validan que el evento de soja RR2 únicamente tiene la ventaja del ahorro en una aplicación, más el costo del insecticida, ya que las aplicaciones para control de malezas al cierre del surco e insecticidas para chinches en soja se hacen tanto en RR1 como RR2.

En insecticidas, han bajado las aplicaciones y en la soja Intacta RR2 sin duda que han bajado porque anda bien el control de la soja Bt. Con la soja RR2 es un ingreso menos por aplicación de insecticida. Lo que bajás de costos es eso y el costo de un insecticida como el clorantraniliprole, que funciona muy bien y ha bajado mucho el costo, no justifica la compra de soja RR2. Mas allá del tema de los transgénicos, cada vez hay más malezas resistentes, hay más ingreso de mosquito a la chacra y hasta más laboreo porque es la única manera de poder controlar las malezas y, a su vez, problema de compactación, pero esto escapa al tema de los transgénicos (fragmento de entrevista, jefe de departamento técnico cooperativa, Young).

En el caso del cultivo de maíz, utilizando la misma base de datos que en soja, solo contaba información para los grupos de cultivares con dos y tres eventos (cuadro 18). Como se observa en el cuadro, pese a no tener suficientes registros, se ve una tendencia a menor cantidad de ingresos con los maíces que presentan 3 eventos apilados (Viptera 3).

También coincide con lo indicado tanto por los actores entrevistados y los técnicos expertos consultados: en general, no hacen falta aplicaciones con insecticidas para controlar las principales especies plaga en maíz. Esto se utilizó como supuesto para

la estimación de costos que varían en la presupuestación parcial en maíz para los materiales que tienen los tres eventos con resistencia a lepidópteros.

Cuadro 18. Cantidad de aplicaciones con insecticidas en chacras según 2 y 3 eventos transgénicos de maíz

Evento OGM/Zafra	2_event_15-16	2_event_16-15	2_event_17-18	3_event_17-18	2_event_18-19	3_event_18-19	2_Event_19-20	3_Event_19-20
Min	1	1	0	0	0	0	0	0
Media	1,82	1	1,31	0,83	1,03	0,98	0,55	0,75
Mediana(50%)	1	1	1	0,5	1	0	0	1
Max	4	1	3	2	2	3	2	1
Tamaño de muestra (n)	17	6	29	6	30	47	53	4

Nota: para las zafras 15-16 y 16-15 solo se pudo relevar registros de ingreso a chacras para maíces con 2 eventos transgénicos.

Fuente: elaboración propia con base en FUCREA.

Al aplicar la técnica de Poisson, los resultados para las tres zafras de las que se contaba con el dato de cantidad de ingresos a chacras por aplicaciones de insecticidas, entre materiales con tres y dos eventos no fueron significativos con un p-valor por encima de 0,42 (anexo VI) por la poca cantidad de registros a partir de las planillas obtenidas de los productores de FUCREA. Al respecto, un entrevistado argumentó:

En maíz de segunda, el contar con triple evento Viptera 3 es una brutal herramienta. Hace dos años sembré un maíz con tres eventos apilados en un año lluvioso y no tuve problema de insectos (fragmento de entrevista, empresario agrícola, Trinidad).

A diferencia, otro entrevistado comentó:

En maíz hay mucha diferencia: los apilados más modernos hay que tener un cuidado bárbaro porque ya empezaron a crear resistencia todos; hay diferencia si usáramos maíces con los primeros eventos. El maíz con evento Power Core se lo comen todo; el Power Core sin insecticida no funciona (fragmento de entrevista, gerente de producción, Rocha).

En contraposición a los maíces sin eventos transgénicos, un entrevistado dijo lo siguiente:

El maíz dulce de la playa lo siembran con distancia entre surco grande como para entrar con tractor porque se fumiga cada 10 días; el maíz dulce ambientalmente es un desastre, no es un evento BT, es un maíz criollo, lo único que es dulce y rico, pero tenés que seguir las lagartas hasta el final (fragmento de entrevista, responsable agrícola, Flores).

8.2. RESULTADOS OBTENIDOS A PARTIR DEL ABORDAJE CUALITATIVO

En este apartado se presenta la síntesis descriptiva de los temas que emergen de la entrevista codificada.

8.2.1. Paquete tecnológico anterior y posterior a 2010

El haber abordado los cambios en el paquete tecnológico utilizado antes y después de la introducción de los últimos eventos transgénicos permitió conocer según el segundo objetivo específico planteado en este trabajo, si fue a consecuencia de los cultivos transgénicos con características apilados o si estos ajustes se debieron a los actuales potenciales de rendimientos en soja y maíz.

Según los actores entrevistados, en el mercado uruguayo de herbicidas e insecticidas ha surgido mayor oferta de estos productos independientemente de la introducción de los últimos eventos transgénicos aprobados en 2011.

Un entrevistado mencionó lo siguiente respecto a los maíces con más de un evento apilado:

Te remarco que, de esos materiales, sobre todo el rendimiento no te lo puedo atribuir a los nuevos eventos transgénicos, sino que hay un progreso genético importante en los materiales de maíz y se ve reflejado (fragmento de entrevista, coordinador técnico, Soriano).

Sobre el mismo punto otro entrevistado mencionó:

Yo creo que ahí también, lo mismo que en esto, capaz está la genética y no solamente los eventos. El evento se puede medir por el lado de qué facilidad de

manejo te puede traer. Yo creo que el aumento de rinde lo trae por la disminución de daños, eso sin duda, al menos desde mi punto de vista, el caso de los maíces yo creo que viene más por la variable del manejo que de otra cosa (fragmento de entrevista, coordinador técnico, Colonia).

Y, respecto al paquete tecnológico, agregó:

El paquete tecnológico, en ese sentido, viene cada vez agrandándose de la mano de la fertilización y de la aplicación de químicos. Creo que, como te decía, las sojas no transgénicas tienen los mismos o mejores potenciales que las transgénicas; pero sí, el paquete tecnológico ha venido aumentando. Cada vez tenemos más productos para utilizar, se ha intensificado lo que es análisis de suelo, se ha intensificado el uso de fertilizantes en el plan de obtener mejores rindes. El cambio vino por el mejoramiento genético, y lo que pasa es que para sacar más rendimiento, si después tenés el potencial, tenés que darle de comer al cultivo (fragmento de entrevista, coordinador técnico, Colonia).

El paquete tecnológico actual de herbicidas presenta un mayor uso de mezclas de herbicidas de preemergencia, que se habían dejado de utilizar desde la aparición de la soja transgénica en 1997 para un control más complejo de malezas. En ese sentido, dos actores respondieron lo siguiente:

Si bien el glifosato tiene su participación, hoy por hoy ya no es tan efectivo como hace cinco años. Como ejemplo, yo salí de facultad y todo era glifosato, la generación de mi padre hacía unos caldos... con veinte mil cosas y ahora estamos volviendo al caldo de a poco. Estamos generando una presión en los ecosistemas que puede ser peligrosa (fragmento de entrevista, gerente de producción, Young).

Creo que el paquete tecnológico viene cambiando, pero más por la presión y cambio en el sistema que por la diferenciación entre RR1 y RR2 (fragmento de entrevista, gerente de producción, litoral sur y norte).

En soja destacaron la continuidad en las aplicaciones con el herbicida glifosato como única herramienta para control total de malezas desde la aprobación del

evento RR1 a la fecha. Reconocen que por esa razón se generaron los problemas de malezas resistentes.

Sí está asociado: cuando apareció la RR1 se simplificó el paquete a un extremo que provocó la aparición de otro mundo de malezas, provocó esa simplificación; si no hubiera aparecido esa simplificación, no hubiera existido la aparición de todas las malezas resistentes, entonces la aparición del amaranthus fue por una adaptación al glifosato y el glifosato se masificó por la RR1. Fue un cambio provocado, y el disparador fue la soja resistente al glifosato (fragmento de entrevista, gerente de producción, litoral sur y norte).

Pero sin duda el mal manejo de los eventos transgénicos, el mal manejo de herbicidas dentro de los eventos transgénicos, fue la causa de la generación de resistencia múltiples (fragmento de entrevista, asesor técnico, Dolores).

Respecto a la fertilización, coinciden en que aumentó el uso de potasio y azufre por la degradación de los suelos.

Por ejemplo, algunos actores entrevistados mencionaron que hubo un cambio en el paquete tecnológico, pero no por la introducción de eventos transgénicos:

Del 2010 a ahora la fertilización fue aumentando, más que por los eventos, por el problema del desgaste de suelos que hubo que ir compensando. Los agroquímicos principales eran menos antes que ahora, ahora hay más opciones, han venido nuevas soluciones. Hay muchos más ítems de insumos ahora que hace 15 años, de gasto porque hay más plagas y más maleza (fragmento de entrevista, socio - director, Paysandú).

El paquete tecnológico capaz que es un poco mejor, se usa más fertilizante como pasa en el trigo. Antes los maíces de segunda se hacían sin fertilizante y le echábamos 100 kilos de urea; hoy le hacemos fertilizante con fósforo y potasio porque, si no, el potasio se marca en pila y estamos arriba de 200 kilos de urea, la parte nutricional en maíz se apuesta más, incluso zinc. En soja, el 100 % del área tiene fósforo y potasio, pero no lo asocio tanto a la parte tecnológica, sino a los suelos. El manejo no lo correlaciono con la parte de los eventos, si hubiera RR1 o plantáramos una soja no transgénica tendríamos que hacer en la parte de

fertilización lo mismo, mucho más fertilizante que antes, potasio seguro y zinc en maíz (fragmento de entrevista, gerente de producción, Palmitas).

En lo que es fertilización, hoy tenés cultivos que rinden más, me imagino el maíz que es más grande el impacto, lleva a que fertilice más. Los potenciales de maíz están en 20 000 kilos, te lleva a un mayor uso de fertilización en maíz por el cambio tecnológico que tiene ese maíz en sí. Uso de agroquímicos también, obviamente, el tema del uso del glifosato en el cultivo; también tenés glufosinatos de amonio, maíces tolerantes a graminicidas (fragmento de entrevista, responsable técnico, Soriano/Río Negro).

En cuanto a los insecticidas, hubo una sustitución de los grupos químicos organofosforados (ingrediente activo-clorpirifos) y piretroides (por ejemplo, cipermetrina) por la aparición de nuevas familias de insecticidas, como los reguladores de crecimiento (IGR) y diamidas antranílicas de baja toxicidad.

Por un lado, el tema de la toxicidad: ha habido un cambio con la aparición de nuevos productos y nuevas moléculas de agroquímicos de menor toxicidad. Salimos de los clorados a otra familia más inocua, no son matatodo, sino que te dejan algunas especies vivas. En eso se ha mejorado, no te sé decir cuánto, ahí no te sé decir cuánto mejoramos; da la sensación que hay mejora por el tema de los agroquímicos más que nada, porque a los eventos transgénicos, los que conozco, han durado poco (fragmento de entrevista, coordinador técnico, Paysandú).

Varios entrevistados destacaron que actualmente se viene trabajando en el uso de cultivos de servicio (siembra de verdes de invierno u otros cultivos a continuación de cosechada la soja) en lugar de aplicar herbicidas para el control de malezas. Esta práctica asociada a un manejo integral de control de malezas disminuye la carga de herbicidas en el ambiente.

Como reflexión del paquete tecnológico asociado a la introducción de los transgénicos y/o a los rendimientos de los actuales cultivos, un entrevistado opinó:

Ni una cosa ni la otra. Hay una lógica de los mercados de *commodities* con la aparición de los biocombustibles y su implicancia en la tierra como inversión que

derivan abandonar los sistemas agrícolas (cultivos y pasturas) y tienden al monocultivo o a pocos cultivos (más rentables). Necesariamente esto lleva a una intensificación agrícola donde comienzan a surgir problemáticas de erosión y sus implicancias, otras deficiencias que, para continuar, es necesario mayor agregado de insumos y manejo *in situ* (fragmento de entrevista, gerente de filial, Soriano).

En tanto que otro argumentó:

El paquete tecnológico usado en la actualidad en chacras agrícolas es producto de mejora genética de los nuevos materiales, de la incorporación de nuevos eventos, de la información generada por la investigación sobre requerimientos de nutrientes de los cultivos, manejo de cultivos (fecha de siembra, densidad de siembra, fertilización apropiada para cada material, adaptación de cada material a las distintas zonas productivas, etc.), el desarrollo de nuevas moléculas de fungicidas, insecticidas, herbicidas (fragmento de entrevista, responsable técnico cooperativa, Dolores).

Por último, un entrevistado argumentó que el problema de la resistencia de las malezas venía con anterioridad a la expansión de la soja con tolerancia a glifosato:

El glifosato era una herramienta como decíamos hace 20 años y hoy es otra totalmente diferente. Hoy con un glifosato... yo recuerdo las primeras aplicaciones en el campo de mi viejo, capaz en el año 1994 o 1995: iban con una botellita de glifosato, lo metían adentro de un tanque y no quedaba nada, le echaban 1 litro a hectárea, una cosa impresionante, y no quedaba nada. Y, bueno, hoy las malezas se han ido adaptando a eso y con un glifosato solo hay muchas malezas resistentes, lógicamente van metiendo presión sobre lo mismo, raigrases resistentes, equinochloa, gramíneas... Ahora, si vos me decís: ¿viene de la mano de los transgénicos? No, viene de la mano de la tecnología. Gran parte de la presión fueron los barbechos, por lo menos acá en la zona de Colonia, ni siquiera la soja, la soja aumentó después, ya habían pasado diez años del glifosato cuando empezaron los problemas de resistencia, y la soja no era un cultivo de tanta importancia (fragmento de entrevista, coordinador técnico Colonia).

8.2.2. Impactos productivos en rendimientos por hectárea

La mayoría de los entrevistados coincidieron en que obtuvieron rendimientos superiores por hectárea para los cultivos de maíz con semilla transgénica con tres eventos apilados (Viptera 3) por sobre los de un evento (Bt 11 y MON 810) y dos eventos apilados (VT3 PRO). Esta diferencia la atribuyen fundamentalmente a un mejoramiento genético de los cultivares de maíz y no a las características apiladas de eventos transgénicos *per se*. En segundo lugar, además de una mejora en el germoplasma de maíz, otros señalaron como principal razón de la mejora en el rendimiento la protección contra plagas, sumado al control de malezas por contar con eventos apilados para dicho fin.

Para mí un maíz de segunda sin eventos apilados no es una opción, implica un daño enorme de lagartas, rindieron mucho menos a pesar de aplicar 3 a 4 veces a insecticidas. Yo el evento maíz lo veo un diferencial muy grande que no lo veo tanto en la soja, en rendimiento, en productividad. Si me preguntas en costos, se paga bien en maíz, en soja, tendríamos que ver que pasa si no existiese el RR2 en soja, como sería nuestra vida con insecticidas fisiológicos (fragmento de entrevista, gerente de producción, Río Negro y Soriano).

Creo que el maíz, en general, ha tenido un salto de producción y como que los eventos caso del Bt11 quedaron en el pasado en materiales viejos; es difícil comparar cosas atemporales. Yo creo que ahí también, lo mismo que en esto, capaz está la genética y no solamente los eventos; el evento se puede medir por el lado de qué facilidad de manejo o qué diferencial de manejo te puede traer, que por el rendimiento en sí (fragmento de entrevista, coordinador técnico, Colonia).

Entonces el Viptera 3 concretamente sí, si voy a hacer maíz de segunda voy a elegir un material dentro de los que son vipteras, si no, el cultivo está en riesgo y puede tener severas dificultades para controlar el insecto; elijo un material por lo que yo quiera elegirlo pero que son viptera. Con la soja RR2 Intacta no pasa lo mismo (fragmento de entrevista, gerente de producción, litoral sur y norte).

Para el cultivo de soja con tolerancia a glifosato y resistencia a lepidópteros (Bt) que tiene el evento (RR2 INTACTA PRO), comentaron que no obtuvieron aumentos de

rendimientos respecto al primer evento con tolerancia a glifosato (RR1-sin Bt) según lo consignado por la multinacional Monsanto que informó de incrementos del 10 % en el rendimiento por ha⁸. Por el contrario, en alguna experiencia relevada ocurrió que la semilla RR1 utilizada como refugio superó a la RR2. Aunque, también a partir de las entrevistas, hubo quien mencionó haber tenido mayores rendimientos con la soja Intacta RR2 IPRO, pero asociado a la variedad y no al evento transgénico en sí. Al respecto, uno de los entrevistados mencionó:

Sí, es la genética. Yo es la primera vez que digo: puede estar rindiendo más el evento RR2 que el resto, pero recién ahora después que pasaron 10, 12 o 15 años, no sé cuánto hace que está la RR2 en el mercado (fragmento de entrevista, coordinador técnico, Colonia).

Por el gen Intacta RR2 no rinde más, sino por la variedad, no hay una misma variedad con RR2 o sin RR2, son variedades diferentes. Cuando apareció la Intacta, apareció con una promesa de mayor rendimiento, promesa que era necesaria para que vos compres la tecnología porque con el ahorro de costo por menos aplicaciones no la pagabas (fragmento de entrevista, gerente de producción, litoral sur y norte).

Lo que sigue son fragmentos de varios actores sobre la soja RR2 coincidentes en que no se verificaron mejoras en la productividad:

Hablaron de una diferencia del 8 % a favor del evento RR2 y al otro año lo bajaron a 4 % y la verdad que no estaba a nivel global, en algún ensayo. Pero lo otro que está pasando es que los clientes que te plantan ese material son los que tienen mayor nivel de tecnología, buenos campos, y es difícil comparar una situación productiva con otra, salvo en los ensayos, después es complicado. Nosotros en soja de primera tuvimos un material el 5901 (evento RR1) que es de Genesis que dio 3048 kg/ha de promedio, pero el material 60i62 (evento RR2) dio 2800 kg/ha y de ahí para abajo, pero en segunda el 60i62 dio 2 800 kg/ha y la que le sigue dio

⁸ Catálogos técnicos de Monsanto y entrevistas a su director ejecutivo de Uruguay.

2400 y de ahí para abajo, le sacó 400 kilos a todas (fragmento de entrevista, coordinador técnico, Colonia).

Cuando salió la Intacta RR2 Pro, el Pro de qué era: la gente de Monsanto decía que había un plus de rendimiento por ese apilado, entre un 15 y 20 % de rendimiento arriba de una soja RR1. Yo te digo la verdad: en la cooperativa vendimos Intacta, sembramos y no te puedo garantizar que hayamos tenido de un 15 o 20 % de aumento de productividad por ser Intacta RR2 Pro como ellos lo promocionaban, no te lo puedo asegurar (fragmento de entrevista, coordinador técnico, Soriano).

Cuando los productores empezaron a incursionar en la Intacta RR2 pasaba que los cultivos tenían más valor, el costo de la semilla de la Intacta se diluía en la tonelada de cultivo, veníamos de años relativamente normales y el problema grande eran las lagartas y la gente quería probar. Estaba la propaganda que le habían puesto a estos eventos los mejores materiales, la gente apostó a que estaba poniendo variedades con más potencial, por ahí fue la motivación que la gente se embarcó en esto. Después, con los años, el grano de soja bajó, el costo de la semilla del evento empezó a ser relativamente alto. El rendimiento de la RR2 sobre la RR1 no fue comprobado por los productores y en maíz sí. Estos eventos nuevos tienen diferencia de rendimiento porque permiten un control de plaga mucho mejor que los anteriores, el Viptera 3 se destaca muchísimo del resto y eso da un plus; muy completo como lo defiende al cultivo (fragmento de entrevista, director-socio, Paysandú).

Como comenté, al estar manejando sistemas productivos a gran escala, lo que se busca es estabilidad del sistema, y los eventos lo que nos permiten es manejar con mayor tranquilidad tanto plagas como malezas. Desde el punto de vista productivo, no se destacan grandes diferencias productivas entre los diferentes eventos transgénicos. Es decir, no seleccionamos tal o cual evento buscando una mayor productividad, sino una mayor adaptabilidad al manejo de las diferentes situaciones productivas (fragmento de entrevista, responsable técnico empresa agrícola, Cardona).

A su vez, reafirmando los comentarios anteriores, un entrevistado opinó:

El supuesto mayor rendimiento de Intacta vs. RR1 fue un verso que nos comimos imposible de demostrar, fue un *speech* que hicieron las empresas, dejaron instalado eso que rendía 8 % más y en realidad era mejora genética que estaba puesto sobre mejores variedades, y no tanto, por lo menos acá en estos ambientes, el hecho de ser resistente a insectos. No aportó demasiado (fragmento de entrevista, gerente de producción, litoral sur y norte).

Razón por la cual argumentó:

Hemos ido queriendo bajar la proporción de Intacta RR2, que llegó a ser un 60 %, la hemos querido bajar a lo mínimo posible. La razón de hacer RR2 no es tanto que sea Intacta RR2, sino la variedad que tiene ese evento; lo primero que uno elige es la variedad por potencial de rendimiento, estabilidad, etc. Pasa a ser muy relevante desde el punto de vista del *royalty*, lo que pasa es que es carísimo, totalmente desproporcionado con el negocio, por lo que uno paga de regalías, porque pagar semejante cifra de regalía cuando no aporta nada a la tecnología no aporta, no, lo que aporta es mínimo.

Finalmente, un actor hizo el siguiente comentario general respecto a la soja Intacta RR2 IPRO:

Soja Ipro simplifica el manejo de plagas, reduce aplicaciones y cantidad de productos insecticidas con un costo sensiblemente mayor en semilla. Cuestionada por comportamiento a lepidópteros en la última zafra. Difícil comprobación a campo de su beneficio en última instancia, enemigos naturales etc. No logra incorporarse al menú de variedades sembradas como adoptaron otros transgénicos a pesar que las empresas semilleras impongan en su mejor genética el evento (fragmento de entrevista, gerente de filial, Soriano).

8.2.3. Toxicidad de los fitosanitarios

Como un resultado síntesis de esta temática se destaca que el glifosato hasta 2015, a pesar de su extendido uso, permitió por mucho tiempo no tener que aplicar herbicidas residuales y de mayor toxicidad como Paraquat y atrazina. Respecto a los insecticidas, como se señaló, aparecen los reguladores de crecimiento (IGR) y

diamidas antranílicas de baja toxicidad y selectivos con plagas no blanco (Kahl, 2013). Esto se apoya con los siguientes fragmentos a dos entrevistados:

Antes usábamos insecticidas mucho más venenosos (clorpirifos, endosulfán). Hoy tenemos mucho insecticida banda verde que son seguros para su uso, seguros para el ambiente y funcionan muy bien (fragmento de entrevista, productor agrícola, Trinidad).

Realizando una valoración sobre el uso de agroquímicos en la actualidad, un entrevistado comentó lo siguiente:

El aumento de productividad ha venido de la mano de un aumento muy importante de tóxicos, de agrotóxicos. Si lo contabilizás, empecé en el 86 al día de hoy, se ha multiplicado muchísimo la cantidad de productos que se utilizan, entonces el balance ahí me parece que es más negativo que positivo. Y, en relación con los eventos apilados, no te puedo dar una idea clara de cómo están influyendo, si los hubo por la soja, nada porque se está utilizando poco en esta zona; a juzgar por el maíz, aparentemente hay mayor control, si bien está siendo corto el control que se hace de los productos, pero se utilizan productos menos nocivos quizás (fragmento de entrevista, coordinador técnico, Paysandú).

En tanto otro entrevistado argumenta una menor toxicidad por mayor oferta y menor precio en los agroquímicos:

Lo que es la carga de insecticidas más tóxicos, eso ha bajado debido a una mayor oferta y bajada de precio. Al perder las patentes, los insecticidas triflumuronos que antes eran de empresas tipo Bayer, Basf y valían US\$ 60 dólares y ahora valen 20. Lo mismo pasó con el clorantraniliprole, que usamos bastante cuando era de Dupont: valía US\$ 150 dólares el litro y ahora vale US\$ 70 y van 30 cm³/ha y eso son US\$ 2 por hectárea, eso también ayudó (fragmento de entrevista, gerente de producción, Palmitas).

Sobre el mismo asunto apuntó:

Se usan menos productos tóxicos, como antes se usaban más fosforados, como clorpirifos. Tengo la percepción de que se cuida un poco más. Hay productos que

se prohibieron directamente, como el endosulfán o el metamidofos, el paratión, que era peor... esos directamente se prohibieron. Hoy por hoy, un herbicida que estamos usando muchísimo es el Paraquat, que, si querés, es una contradicción. Creo que hasta que no lo prohiban se va a usar porque en algunos casos es la única solución que tenés para el doble golpe, para controlar la carnicera y para raigrás; no se usa tanto como desecante como hace 20 y pico de años, se ha vuelto a usar, es un producto de categoría I, es de las pocas herramientas que tiene la gente comparado con el mayor costo del herbicida glufosinato (fragmento de entrevista, gerente de producción, Palmitas).

Otro actor comentó sobre la percepción de la toxicidad en los insecticidas actuales:

El hecho de suprimir piretroides y órganos fosforados en la realidad para mí ya tiene un impacto y eso es real. Uno mira, seguramente no tengo estadística, compramos muy poco clorpirifos y piretroide de primera generación no compramos nada. Tiene valoración positiva en el ambiente (fragmento de entrevista, gerente de producción, Río Negro/Durazno).

Hubo quien indicó que la mayor preocupación para el ambiente son los fertilizantes:

El impacto más grande en los ambientes es la aplicación de los fertilizantes y eso no viene de la mano de los eventos sino del potencial de los cultivos y se aplica en función de eso. Hay problemas, hay varios problemas: uno es que hay mucha cosa que se fertiliza sin conocer el dato del suelo y eso hace que se fertilice en exceso. Nosotros hicimos un muestreo masivo de chacras, con un porcentaje importante, contratamos un servicio y encontramos muchísimas chacras que se iban a fertilizar que estaban por 20 o 25 partes por millón de fósforo, y agregar fósforo en esas situaciones es exponer al ambiente a que ese fósforo termine en la cañada. Lo mismo pasó con el nitrógeno, pasó al revés: teníamos el 90 % de las chacras con distintas necesidades de nitrógeno generalmente altas y teníamos un 10 % que no necesitaban.

La realidad es que cualquier cosa que se ponga en el ambiente que no se necesite, que no se vaya a transformar en grano, va a terminar dentro de una cañada, o que no se pueda retener en suelo es aumentar el riesgo que tenés de contaminación. Me parece que esa contaminación es mucho más fuerte y es la principal; la de

agroquímicos en el agua también, no veo que haya disminuido, es más, veo que año a año aumentan las importaciones de agroquímicos en general y en el tema de fertilizantes también, se va multiplicando (fragmento de entrevista, coordinador técnico, Colonia).

Varios de los actores indicaron que la mejora en la toxicidad en general se explica por una mayor oferta de agroquímicos menos dañinos con el ambiente, pero es independiente de la introducción de los nuevos eventos apilados. Excepto los maíces con tres eventos apilados resistentes a las principales plagas, como se indicó antes.

Yendo al ambiente, en maíz no protegido sí tenés más diferencia en toxicidad, ya que te vas a otro tipo de insecticidas que llegan al cogollo para controlar a la lagarta cogollera donde precisás un clorpirifos o alguna cipermetrina. Pero en soja estás hablando de un insecticida más selectivo (menos nocivos para plagas no blanco) como el triflumuron aplicado al cierre del surco en una soja RR1 y el clorraniliprole, en un año con presión de lagartas no hay diferencias. Esta mejora viene asociada a una mayor oferta de nuevas moléculas y diversidad de formulaciones en los agroquímicos, pero no por la introducción del evento transgénico Intacta RR2, que tiene poca superficie sembrada en relación con la soja RR1 (fragmento de entrevista, responsable técnico, Trinidad).

Los actores hicieron una valoración positiva al observarse una disminución en los niveles de toxicidad a partir de la siembra de maíz con semilla transgénica con tres eventos apilados (Viptera 3) que no lleva aplicaciones de insecticidas en la mayoría de las situaciones. Se evita la aplicación del insecticida clorpirifos, siendo el ingrediente activo que reúne las tres peores condiciones evaluadas de este trabajo: toxicidad en mamíferos y en abejas y persistencia química en suelos. También los maíces con dos eventos apilados como el VT3 Pro, que no presentan resistencia a todas las plagas por lo que en situaciones de alta presión sí llevan entre uno y dos tratamientos con insecticidas.

No tuvo la misma consideración el evento RR2 de soja resistente a plagas, que se destaca fundamentalmente en situaciones de alta presión de plagas.

Aparte, el insecticida clorantraniliprole ha bajado mucho el costo y funciona muy bien... La barra le perdió mucho el miedo a esos ataques que teníamos hace cinco, ocho años atrás, esos ataques explosivos de lagartas que eran imparables. Hoy por hoy nos está pasando eso y que yo lo atribuyo mucho a eso, el no uso de clorpirifos, piretroides que antes igual se usaban, pero eso no tiene que ver el gen Intacta RR2. Nos hemos empolijado con el uso de insecticidas (fragmento de entrevista, jefe departamento técnico cooperativa agrícola, Young).

De lo contrario, en un año normal, tanto para soja con el primer evento RR1 tolerante a glifosato como para soja RR2 los productores necesariamente tienen que realizar aplicaciones para control de insectos plaga como chinches. Al respecto, un entrevistado indicó que por la alta toxicidad de los «chinchicidas» más utilizados en el mercado uruguayo con acción en chinches hace irrelevante la ventaja de la soja con Intacta RR2 con un control más efectivo para las principales plagas de lepidópteros. Y añadió, que, por otra parte, en años secos, ambos eventos RR1 y RR2 llevan control de ácaros (arañuela roja) y cuando en el mercado no hay insecticida específico para estas plagas se recurre al clorpirifos, con ventaja en esta situación para el evento RR1 por haber tenido aplicaciones de insecticidas que bajan la presión de ácaros.

Hubo un entrevistado que, a diferencia de los anteriores, ve una mejora en lo ambiental a partir de los eventos transgénicos apilados, integrado a aplicaciones de insecticidas de menor toxicidad:

La introducción de los eventos transgénicos que permiten uso de algunos herbicidas dentro del cultivo para control de malezas y además proporcionan control de algunos tipos de insectos, sumado a la utilización de insecticidas más selectivos y la realización de manejo más racional de plagas (basada en monitoreo frecuente de los cultivos para definir necesidad de aplicaciones), debería significar

un menor impacto ambiental de la actividad (fragmento de entrevista, responsable técnico cooperativa, Dolores).

8.2.4. Ingresos a chacra por aplicaciones de insecticidas y costos por hectárea

Para el caso del maíz sembrado con el evento Viptera 3 comentaron que sí tiene menores costos frente a los cultivares más viejos de maíz con el evento Bt 11. El evento apilado Viptera 3 lleva al menos dos aplicaciones de insecticidas menos frente a la semilla Bt11, y cinco aplicaciones de insecticidas más con un maíz sin resistencia para plagas o lo que sería un material refugio. Esto se verifica con la metodología de presupuestación parcial realizado en el abordaje cuantitativo, donde se utilizan cuatro aplicaciones de insecticidas para la situación de un maíz con un evento apilado como un manejo representativo en Uruguay.

Sobre este punto un entrevistado comentó:

Ahora en maíz con tres eventos respecto a un evento estamos hablando de una diferencia en insecticidas de por lo menos tres aplicaciones que no se realizan. A su vez, los materiales de maíz con eventos apilados utilizan menores cantidades de agua: si estás hablando de cuatro aplicaciones, estás hablando de 400 litros por hectárea menos (fragmento de entrevista, responsable técnico, Trinidad).

Mientras que otro entrevistado no asegura una protección total para lepidópteros en general en los maíces con más de un evento.

En teoría, sí; en la práctica no veo que se mueva ningún tipo de aguja; al contrario, no debe haber tenido ningún tipo de efecto, no creo que midas a nivel país que porque ahora usamos maíces con eventos apilados haya bajado el uso de insecticidas o de lo que sea.

Deberías tener un insecticida menos en el maíz de segunda con tres eventos con respecto al de dos eventos apilados. Ponele que tengas una disminución entre el producto, la entrada al mosquito y no sé qué US\$ 20 dólares la hectárea. Al de dos eventos seguro le tenés que entrar con insecticida, salvo lo del año pasado que fue

una excepción, pero ponele que al Viptera 3 le zafás al insecticida (fragmento de entrevista, coordinador técnico, Colonia).

Hubo quien mencionó que la mejora en la reducción en el número de aplicaciones y costos por ha se observó según el evento transgénico inserto en los materiales de maíz y soja:

En Viptera 3 capaz que te podés ahorrar una echada, sí; en un maíz que no sea Viptera 3 hacen dos aplicaciones preventivas, capaz te ahorrás una aplicación. En soja RR2 no sé, te diría que prácticamente que no, a no ser años puntuales de un gran ataque de lagarta, no solo te ahorrás, sino que estás más tranquilo que sabés que no le pasa nada. Por todo lo que hemos hablado, en grueso te diría que no o muy poco, no vería eso que decían vas a entrar mucho menos a hacer aplicaciones, no lo vemos porque tenés que entrar por otras cosas (fragmento de entrevista, gerente técnico, Soriano).

Sí, en el caso del maíz te diría que, en los dos eventos, sin duda ha hecho un aporte para el control de malezas, lo que no es tan claro es el tema de los insectos. Sí se ha reducido toda la parte de cogollera, pero ta, lo que hemos visto es que ha involucionado o evolucionaron los insectos y ha habido que hacer aplicaciones y tratamientos en condiciones complicadas, ha durado poco la tecnología, eso en maíz (fragmento de entrevista, coordinador técnico, Paysandú).

Ante la pregunta sobre si desaparece la aplicación de insecticida en el maíz Viptera 3, puntualizó:

Me parece que no, en algunas situaciones han tenido que aplicar (fragmento de entrevista, coordinador técnico, Paysandú).

Luego añadió:

Ya te digo, en el maíz, pero lo conozco poco, veo que se utiliza menos insecticida y también cambió el paquete de herbicida, y ahí viene lo que te decía: creo que conocemos muy poco todavía y, en realidad, con este tipo de eventos aceleramos los procesos de resistencia y capaz sean, no sé, en el caso de los insecticidas, por ejemplo, por ahora más o menos están funcionando, me parece que se van más

rápido que lo que ha pasado con el glifosato, los insectos tienen que vivir en condiciones, está permanente en lo que consume, se deben adaptar más rápido, supongo yo (fragmento de entrevista, coordinador técnico, Paysandú).

A partir de las entrevistas surge que en todas las chacras donde se sembró soja con el evento RR2 la reducción en las aplicaciones de insecticidas no compensó el costo de la semilla de soja. «La reducción de costos en insecticidas es ínfima», comentaba uno de los entrevistados. Aunque hubo excepciones según ambientes y años, por ejemplo, en la región noreste y años en que hubo una alta presión de plagas. Estas situaciones son comunes en el norte argentino, en Paraguay y en Brasil, donde esta tecnología se justifica mucho más según otros actores entrevistados.

De acuerdo con este punto, otro entrevistado apuntó lo siguiente:

Si hacés RR2 frente a RR1 en lo que es control de insectos, terminás ahorrándote 8 dólares y medio que, como contrapartida, normalmente en las RR2 tenemos más problemas de arañuelas (plaga) que en las otras. Porque la RR1 con la aplicación de esos insecticidas para lagartas fuimos bajando la población de arañuelas y terminamos en un empate técnico de costos. Porque lo que no echamos de uno tenemos que echarlo con abamectina, entonces ni en la parte económica ni en la parte ambiental nos aporta nada y tenemos una regalía multiplicada por diez. Mientras que dimos el cuento que aportaba rendimiento lo fuimos haciendo. Ahora que tenemos comprobado que el rendimiento no nos aporta mucho, la estamos discontinuando. No sé si soy claro, no le veo a la soja RR2 ningún aporte al sistema (fragmento de entrevista, productor agrícola, Trinidad).

Mientras que otro entrevistado comentaba:

Si tenés un año muy llovedor y con mucha presión de plagas, probablemente si se tuviera costo más bajo, adoptaría a la soja Intacta RR2 más masivamente porque significa menos riesgo. Pero como el costo es significativo, uno tiene que especular con las condiciones y, en años que los pronósticos son secos o esperable poca presión de plaga, quizás no puedo asumir el costo de la soja Intacta porque no voy a tener retorno (fragmento de entrevista, *country manager* empresa agrícola, Mercedes).

A diferencia de los dos anteriores entrevistados, hubo quien afirmó tener aún menor cantidad de ingresos a chacra con la semilla de soja RR2:

Sí, por supuesto que sí, en una soja tenés por lo menos entre dos y tres aplicaciones menos por ha en un evento intacta RR2 que la común (fragmento de entrevista, gerente de producción, Río Negro, Durazno).

Lo que difiere de un entrevistado que argumentaba una sola aplicación menos en la soja RR2.

En soja tenés una diferencia de 1 insecticida solo en un año complicado, ya que en la siembra con materiales Intacta RR2, por más limpia que sea la chacra, una aplicación al cierre del surco con herbicida lleva. Podés estar en un ahorro de una aplicación de un insecticida para lagarta en año normal, no más que eso, porque a chinche se iguala. Hoy, el costo de los insecticidas, capaz que estás hablando de US\$ 2 dólares por ha, frente al costo del cultivo de soja, que estás hablando de US\$ 400 o 500 (fragmento de entrevista, responsable técnico, Trinidad).

Que coincide con otro de los entrevistados en cuanto a que solo se ahorra el costo de un insecticida y no del laboreo por la aplicación:

Te ahorrás un producto, el ingreso a chacra no te lo ahorrás, porque entrás porque entraste por el herbicida o alguna otra cosa, lo que te ahorrás es el costo de un insecticida que, como caro, anda en los US\$ 7 la hectárea, esa es mi percepción. Yo no sé si entraría una vez menos por no tener el evento. Generalmente, como el manejo son bastante preventivos acá la epinotia, que como plaga es muy difundida, cuando entrás con el glifo le ponés algún insecticida que pueda tratar algo que hay alguna epinotia chiquitita y pueda tirarte unos días de residualidad para adelante y seguramente antes que cierre el surco que entres con otra cosa también y después ya te vas con los tratamientos de chinches (fragmento de entrevista, coordinador técnico, Colonia).

En cuanto a los costos, creo que ha cambiado mucho los costos de plantar soja: hoy son mucho más baratos que en el 2011-2012, creo que ahí para nosotros obviamente el sistema cambió mucho, creo que veníamos de costos muy inflados, valores de fertilizantes muy altos, de productos químicos que no había, no había

una presencia de productos chinos tan fuerte, en aquella época los valores de glifosato eran otros. Tenías muchos productos de primera línea, no tenías tanto producto importado. Ahí en la época del *round up*, la época del *touch down* eran todos primera línea, no había tanta competencia con productos chinos (fragmento de entrevista, gerente producción agrícola, Rocha).

En Intacta te diré que no mucho más que una vez te ahorrás el ingreso a chacra, en promedio, estos últimos años, 1,5, por decir algo. Además, el nivel de área de refugio de la soja RR2 es muy importante porque es un 20 %, si bien baja el área de aplicación, el tema traslado, de oportunidad de aplicación. Al tener 20 % de refugio, no podés decir planto chacra en Cuarai y me quedo tranquilo porque es Intacta, hay que hacer el viaje y monitorearlo. Aparte hay otras plagas que la RR2 intacta no te lo contempla que no son larvas de lepidópteros, arañuelas, trips, que hizo que las aplicaciones tuviesen que andar activas igual. También bajaron los productos agroquímicos como era la tendencia, pero me parece que es el último factor. Todo eso hizo que las opciones fueran en detrimento de la RR2 (fragmento de entrevista, socio-administrador, Paysandú).

Por más que fuera RR2 Intacta, no recuerdo el nombre, hubo una lagarta que parecía una Spodoptera que atacaba la soja y la comía. La soja RR2, incluso nos decían: lo que pasa que la RR2 está validada para un ambiente, un espectro de plagas que no necesariamente está validada para Uruguay, fue desarrollada en Brasil o no sé qué lugar que hay un conjunto de lagartas de lepidópteros que atacan a la soja y acá en Uruguay son contados, y hay algunas que escapan. He tenido cultivos de soja transgénica Intacta que le hice una aplicación del insecticida clorraniliprole, tenía población de lagartas que la estaban comiendo. Lo único con lo que controlás es con el clorraniliprole, eso te indica que la tecnología; como todo, no es perfecta, siempre tenés alguna pata que falla (fragmento de entrevista, coordinador técnico, Soriano).

La RR2 Intacta es una muy buena herramienta para situaciones que tenés chacras aisladas de tu zona núcleo de producción. Tengo un cliente que me dice “siembro cerca de Piriápolis, tengo una chacra lejos” y el año pasado me dijo “conseguime semilla RR2 que la voy a sembrar ahí porque me queda lejos y, si llego, es porque voy a ir a la playa”. Hay que buscarle el nicho. Yo considero que es una tecnología cara, no te digo que hagas todo RR2, pero tengo “x” área y tengo un 10 % que no

llego o se demora el mosquito o estoy complicado y no puedo hacer las aplicaciones en tiempo y forma, selecciono esa chacra para tecnología Intacta (fragmento de entrevista, coordinador técnico, Soriano).

En soja, además, destacaron la continuidad en las aplicaciones con el herbicida glifosato como única herramienta para control total de malezas desde la aprobación del evento RR1 en 1997 a la fecha. Reconocieron también que por esa razón se generaron los problemas de malezas resistentes. Como se mencionó, en un gran porcentaje de las chacras se tienen que utilizar herbicidas preemergentes que se habían dejado de utilizar desde la aparición de la soja transgénica RR1. Esta situación determinó un aumento de los costos por hectárea por mayores aplicaciones de otros herbicidas no glifosato según la opinión de los entrevistados.

Salvo algunos matices que se destacaron en esta síntesis y los fragmentos de algunos entrevistados, no se relevaron opiniones contrapuestas para las cuatro categorías seleccionadas antes y que responden a las hipótesis de trabajo. Por tal motivo, no se consideró necesario aumentar el número de entrevistados. Incluso se alcanzó un nivel de saturación con la mitad de las entrevistas realizadas donde casi todas las respuestas fueron similares para las hipótesis planteadas.

9. DISCUSIÓN

Se abstrae de la información presentada en los cuadros 8 y 12 que la variación del costo más importante es el costo de la semilla de soja y maíz según evento transgénico. Estos resultados se explican debido a la obligatoriedad del pago de regalías al comprar semilla por primera vez y también en la situación que el productor reserve semilla propia para una próxima siembra en el caso de la soja. El productor uruguayo paga US\$ 450 + IVA por tonelada más por una regalía de semilla de soja con el evento RR2 que equivale a 9,20 ha sembradas con semilla de soja de una variedad que tiene el evento RR1 al precio del mercado del 2020-2021.

En la región se supo que las diferencias en costos de semilla por hectárea que incluye el valor tecnológico a favor del evento RR2 respecto a la soja RR1 en su primera zafra comercial de Intacta RR2 PRO fueron de US\$ 54 en Brasil (Coelho Carvalho, 2015), US\$ 44 para Uruguay, según lo estimado en este trabajo, y de US\$ 40 en Argentina (Pérez et al., 2014).

Aunque hay otras razones que también explican el incremento de los precios de las semillas que este trabajo no investigó, algunas de las cuales tienen relación con el nivel de concentración de las grandes multinacionales y las normativas legales que impiden que el productor pueda guardar semilla propia sin pagar regalías (Bryant et al., 2016, Howard, 2015), además de que hay costos hundidos, derechos de propiedad intelectual y altos presupuestos en investigación y desarrollo que se transforman en nuevas barreras para la entrada a este mercado, lo que deriva en mayores costos de las semillas con eventos transgénicos (Bryant et al., 2016).

Bianco (2015) señala que imponer un pago mediante regalías a la semilla de uso propio opera bajo un mecanismo de protección legal al conocimiento y hace referencia al concepto de «expropiacionismo», que implica que las empresas propietarias de las patentes de eventos biotecnológicos se apropien de las semillas transgénicas en todo el ciclo del cultivo y en las generaciones siguientes. De esa

manera, los agricultores no pueden utilizar de forma libre un producto bajo el argumento del valor tecnológico generado en las semillas y sus altos costos de desarrollo. En Argentina, la empresa Monsanto, absorbida por Bayer recientemente, como manera de asegurar el cobro de las regalías acordó con distribuidores, operadores de semillas y las principales empresas exportadoras de granos un modelo de negocio por el cual se identificaban a los granos de soja con el evento Intacta RR2 PRO a través de un «testeo» hecho en los puertos⁹. Mediante ese mecanismo emitían una factura como retención para el cobro de la patente por el uso del evento apilado RR2 (Casella, 2016).

En otro orden, Schiek et al. (2016) estimaron el costo total del desarrollo de un evento transgénico en semilla de papa de entre US\$ 1,4 y 1,6 millones respecto a lo estimado por expertos del sector privado en US\$ 136 millones, que representa 90 veces más de lo presupuestado por los primeros. Estos autores señalaron que las corporaciones privadas tienen presupuestos mucho mayores a las instituciones sin fines de lucro y persiguen grandes estrategias acordes a esos costos. Sus intereses pueden abarcar diferentes industrias, implican varios proyectos en tándem, usos finales y varios mercados. En la búsqueda de un mercado potencial de billones de dólares no dudan en pagar altos salarios para el personal y tecnología de punta. En cambio, instituciones sin fines de lucro, como el Centro Internacional de la Papa (CIP) y la Universidad de Cornell (CU), involucradas en ese trabajo, persiguen objetivos muy específicos para poblaciones determinadas en países específicos (Schiek et al., 2016).

Las razones expuestas explican las diferencias obtenidas en los beneficios netos a favor de la soja transgénica RR1 con un evento con respecto a la soja RR2 de dos eventos, como surge de los resultados mostrados en el cuadro 9. Allí se visualiza el

⁹ Bayer anunció a partir de la zafra 2021/22 el retiro de las variedades de soja transgénica del mercado argentino que incluye al evento Intacta RR2 PRO (fuente: Portal Bichosdecampo)

mayor peso de las regalías, como se indicó, cuando se compra semilla por primera vez en el costo de la semilla RR2 respecto al total de los costos que varían. Cuando se consideró hasta el 75 % de los rendimientos de soja, los beneficios a favor de los eventos RR2 respecto a RR1 aumentaron de tres a cuatro zafras de ocho analizadas (cuadro 10), lo que indica respuesta al rendimiento. Ya en las últimas tres zafras se ve una tendencia a favor de la soja RR2, independientemente de la región explicada por una mejora en los rendimientos, debido a las nuevas variedades genéticas introducidas en los últimos años con el evento RR2 (gráficos 4 y 5).

Belarmino et al. (2020) evaluaron para dos zafras 2014-2015 y 2015-2016, en una estación de Embrapa de clima templado, el rendimiento de cultivares de soja RR1 y RR2 y los costos de producción mediante presupuestación parcial. Encontraron que las ganancias en reales por hectárea (\$R/ha) fueron mayores para la variedad RR1 respecto a los materiales RR2 debido en este caso a la baja incidencia de insectos. Sin embargo, Coelho Carvalho (2015), que también estimó algunos indicadores económicos para ambos eventos transgénicos en la región sudeste del estado de Mato Grosso para la zafra 2013-2014, obtuvo un menor costo operacional para la soja RR2 con relación a la RR1, pero con rentabilidades favorables para los dos grupos. La principal diferencia a favor de menores costos para la soja RR2 es que en ese estudio la cantidad promedio de aplicaciones para el control de lepidópteros y chinches en el caso de la soja RR1 fue de 6,50, mientras que con la soja RR2 la media fue de 3,75 solamente para control de chinches, que es lo que ese evento no controla, lo que explica que los costos en insecticidas en su investigación resultaron en US\$ 99/ha para la soja RR1 y de US\$ 48/ha para la soja RR2.

Por su parte, Pérez et al. (2014), en un estudio que comparó los costos para el control de plagas en Tucumán, estimaron mayores gastos en insecticidas de US\$ 46/ha para la soja RR1 y de US\$ 13/ha para la RR2. En Uruguay, de acuerdo a los resultados obtenidos, el costo/ha en insecticidas para la misma zafra 2013-2014 fue de US\$ 9,54 y de US\$ 3,48 para la soja RR1 y RR2, respectivamente, lo que

indica la mayor necesidad de aplicaciones de insecticidas en esas regiones más tropicales, como el estado de Mato Grosso al centro-oeste de Brasil y la provincia de Tucumán al noroeste de Argentina.

En su investigación, Coelho Carvalho (2015) entrevistó a seis productores del municipio VII de Mato Grosso para la obtención de los indicadores económicos. Es así que estimó el costo de producción por hectárea con base en los costos promedio de todas las chacras, lo que puede generar un sesgo en el resultado por la existencia de algún caso aislado. A su vez, la autora consideró, para el cálculo de costos totales, el costo de luz, los gastos de administración, el teléfono, la depreciación de maquinaria, la mano de obra y los impuestos directos e indirectos, que se ajustan más a los efectos de analizar los ingresos y costos de un sistema de producción y no para comparar tecnologías. Por tal razón, para esta investigación se entendió que la metodología de presupuestación parcial se ajustaba mejor para comparar los dos grupos de semilla transgénica, ya que considera solamente aquellos costos que varían, además de analizar un período de ocho zafas agrícolas en lugar de una como tomó el trabajo de Coelho Carvalho.

El análisis de beneficios netos puede variar a favor de la soja RR1 si se sigue confirmando en la región lo que sucede desde la zafra 2019-2020: que la soja con el evento RR2 quebró su resistencia frente a los lepidópteros principales que controlaba (Plataforma Croosmedia Agrofy News, 2022). En Brasil, Horikoshi et al. (2021) informaron que el gen introducido en la soja Intacta RR2 que expresa la proteína Cry1Ac Bt quebró resistencia a lepidópteros secundarios. En la zafra 2020/21, los autores observaron la primera evidencia de daños a Intacta RR2 PRO por parte de los lepidópteros *Rachiplusia nu* y *Crociosema aporema* en muestras de estas larvas tomadas a campo y replicadas en laboratorio (Horikoshi et al., 2021).

Sin embargo, en Uruguay, Abbate et al. (2022), que evaluó plagas de lepidópteros, chinches y predadores en 60 chacras del litoral oeste en dos zafas agrícolas del

2018 y 2019, confirmó menor presencia de larvas de lepidópteros en las sojas Intacta RR2 PRO (con toxina Bt) y no halló diferencias en el número de predadores y chinches entre las chacras con y sin resistencia a insectos plaga RR1 (no Bt). En otro estudio anterior realizado en Argentina por el INTA Rafaela, evaluaron la exposición de plagas y depredadores en soja RR1 vs. soja RR2, donde encontraron una mayor abundancia de lepidópteros defoliadores *Rachiplusia nu* en el cultivar de soja no Bt (Massoni et al., 2015). En Argentina, *Rachiplusia* es una de las principales plagas del cultivo de soja, mientras que, en Brasil, *Rachiplusia nu* y *C. aporema* son plagas secundarias.

Esos dos trabajos, conjuntamente con lo reportado por Pérez en Tucuman, Coehlo Carvalho en Mato Grosso, además de la opinión de los entrevistados, indicarían que para nuestro país la soja Bt (RR2) se justifica su siembra en zonas del litoral norte por una mayor presión de lepidópteros y que por tal razón su uso no sería aconsejable en la zona sur, pese a que los beneficios netos sean mayores a la soja RR1 de la región norte.

Los resultados fueron diferentes en el maíz transgénico con eventos apilados (Vip3) respecto al cultivar de un evento (GA21), donde, aun considerando menores costos de flete por el transporte de grano a puerto en el sur, solamente en tres safras de siete evaluadas la semilla con un solo evento superó en beneficio neto a los maíces con eventos apilados procedentes del norte. A partir de las últimas cinco safras analizadas, los mayores rendimientos y protección que ofrecen los materiales de maíz por presentar tres eventos transgénicos a plagas principales son la principal explicación que evita ingresar a las chacras a realizar aplicaciones con insecticidas y que diluye el mayor costo en este cultivo de la semilla transgénica.

En ese sentido Massoni et al. (2018), evaluando resistencia a la principal plaga de maíz, *Spodoptera frugiperda*, con diferentes híbridos de maíces con uno y más de un evento transgénico respecto a un material sin resistencia a plagas (no Bt),

encontraron que solamente para el híbrido de maíz con un evento y el testigo comercial sin resistencia a plagas (no Bt) se justificaba la aplicación de insecticidas para evitar pérdidas económicas, en tanto que las proteínas Bt expresadas en los materiales con más de un evento transgénico, entre los que se destaca el Viptera 3, resultaron efectivas para el control de plagas sin necesidad de aplicaciones con insecticidas. Esto significa más protección para el cultivo y menores costos por aplicaciones.

Antes, Massoni et al. (2015) propusieron evaluar el impacto en el rendimiento a partir del daño de *S. frugiperda* a distintos cultivares de maíz con uno y varios eventos transgénicos, con y sin resistencia a plagas (no Bt), de lo que resultó, al igual que el trabajo anterior, mayor protección y menor pérdida de rendimiento de los materiales con más de un evento con resistencia a plagas, a excepción del material con un solo evento Bt. Esto confirma los resultados de este estudio al verificarse mayores beneficios netos en los materiales de maíz con el evento elegido Viptera 3. Pirchio et al. (2019) obtuvieron similares resultados al evaluar cinco híbridos de maíz con distintos eventos biotecnológicos para el control de la plaga *Agrotis robusta* en la región semiárida de La Pampa.

También se han evaluado, en Brasil, híbridos de maíz no comerciales con eventos transgénicos que expresan más de una proteína para el control de plagas *pyramided proteins* resultando más efectivos al lograr una mayor protección a plagas respecto a aquellos que solo tienen una o dos proteínas Bt. Estos nuevos eventos de maíz que expresan más de una proteína por cada evento son herramientas que retrasan la resistencia a plagas y su éxito también depende de un manejo integrado de plagas que incluye áreas de refugio con materiales no Bt (Marques et al., 2018).

A su vez, los resultados encontrados en este trabajo, de mayores costos y menores beneficios para la semilla de maíz con un solo evento transgénico (Bt11), se explican en la mayor cantidad de aplicaciones de insecticidas a campo para el control de

plagas, particularmente para el control de *Spodoptera frugiperda*, como fue estudiado por Blanco et al. (2016). Estos autores afirmaron para algunos países de América Latina que no era necesaria la aplicación de insecticidas por la siembra de maíz con el evento Bt resistente a plagas, salvo en algunas situaciones de resistencia frente a la plaga *S. frugiperda*, donde sí es necesario realizar algunas aplicaciones con insecticidas o la utilización de cultivares de maíz que expresen múltiples proteínas resistentes a lepidópteros.

En cuanto al análisis de productividad para el cultivo de soja, la tendencia general observada a partir de los registros de las chacras de FUCREA fue que, para la zona sur, el evento RR1 en promedio ponderado por chacra superó al RR2 Intacta PRO, mientras que se visualizaron incrementos en los rendimientos promedio por hectárea de los cultivos de soja con evento RR2 para la zona norte. El 71 % de los registros promedio con soja RR2 para ambas regiones no superó el 10 % de rendimiento respecto a la soja RR1 que la empresa Monsanto, hoy Bayer, aseguraba lograr como piso (El Observador, 2013), lo que se valida en la totalidad de los actores entrevistados.

Belarmino et al. (2020) del Embrapa en Río Grande del Sur, que también evaluaron los costos de ambos grupos transgénicos, no encontraron diferencias significativas en los rendimientos de soja entre las variedades con uno (RR1) y dos eventos (RR2 PRO) para las dos zafras estudiadas. Además, los rendimientos obtenidos fueron similares con los rendimientos promedio de la región bajo estudio. Estos autores concluyen que la variedad de soja con un evento RR1 se adaptaba bien en ese ambiente del sur de acuerdo al rendimiento y ganancia obtenidos en las condiciones de no necesidad de control químico. Tampoco Massoni et al. (2015), del INTA, encontraron diferencias significativas en los rendimientos para ambas tecnologías con soja RR1 y RR2 para dos zafras analizadas (2013-2014 y 2014-2015). En ambos trabajos, los autores destacaron que la variación climática y la presencia o ausencia de plagas incidió en los rendimientos. A su vez, que las diferencias en la

productividad potencial de cada material de soja sembrado dependen de su adaptabilidad a la región independientemente del evento transgénico (De Abreu et al., 2020).

Sin embargo, Carvalho Coelho (2015) sí encontró diferencias a favor del evento RR2 de un 4,52 % superior a los rendimientos promedios de la soja RR1 para los seis productores analizados en la zona sudeste de Mato Grosso. También Santos y Saluso (2020), que evaluaron rendimientos de variedades de soja con el evento RR1 y RR2 a partir de la red RECSO para cinco zafras, observaron una tendencia a favor en los rendimientos para las variedades de soja con el evento transgénico RR2 PRO. La diferencia fue significativa a favor del evento RR2 para el 26 % de los 167 ensayos pertenecientes a algunas localidades de Corrientes y Entre Ríos. Sin embargo, los autores no pudieron afirmar que las diferencias en rendimientos se explicaron por la tecnología Intacta RR2 PRO, ya que en los últimos años hubo una mejora genética y de características agronómicas en las variedades evaluadas. Por ello, los resultados obtenidos no fueron condición suficiente para realizar la elección de un cultivar, ya que ambos grupos de soja con uno y dos eventos transgénicos presentaron alto potencial de rendimiento (Santos y Saluso, 2020).

Incluso considerando los datos experimentales de INASE para las tres localidades del litoral oeste de Uruguay utilizados para la estimación de costos de chacra con presupuestación parcial, solamente una zafra de las ocho analizadas el rendimiento promedio de las variedades con el evento RR2 superó el 10 % con relación a la soja con el evento RR1. De todas maneras, según el resultado del *bootstrap* y la prueba de hipótesis realizada para las ocho zafras analizadas y en ambas regiones, no hubo diferencia estadística de medias en ambos grupos. No se estudió la productividad de maíz transgénico, como se indicó, por no contar con los registros necesarios para estimar la diferencia en los rendimientos de materiales que tuvieran uno y más de un evento apilado.

Los resultados de rendimientos aquí presentados explican un cambio técnico visto desde la productividad parcial en kilos por hectárea considerando solamente a la tierra como único factor. No se consideraron los demás factores, capital y mano de obra, que hacen a la productividad total de factores (PTF). Si se estimara el PTF en este trabajo, se tendrían que considerar también factores que hacen a la eficiencia técnica como la gestión y el manejo agronómico de las chacras, dado que, si existieran ineficiencias técnicas, el resultado de productividad podría estar sesgado a explicar el progreso técnico solamente por los incrementos en el producto o en algunos de los factores de producción.

Bervejillo y Bertamini (2014) estimaron la productividad total de factores¹⁰ para el sector agropecuario de 1983 a 2013, donde para los últimos diez años 2003 a 2013, el índice de producto total tuvo un incremento importante y la relación de PTF se asoció en un 75 % a los factores de producción (insumos intermedios) empleados con tecnología del 2003, mientras que el 25 % restante se explicó por un aumento de la productividad. En dicho estudio, para el mismo período, la agricultura extensiva demostró ser el sector que más creció en volumen físico con una tasa del 7,5 % respecto a los demás rubros. Por su parte, los factores de producción a través de los insumos intermedios como semillas, fertilizantes y agroquímicos crecieron un 6,9 %, los relativos a trabajo, un 1,4 %, y la tierra, un 1,9 %, mientras que capital descendió un 0,5 %. Tomando los datos de este estudio, sería un error concluir que el aumento de la productividad fuese explicado solamente por el cambio técnico debido al incremento del paquete tecnológico (ej.: semillas, fertilizantes y agroquímicos) y no por otros factores como los cambios en la eficiencia de asignación y el uso de recursos.

¹⁰ Productividad total de factores (PTF): en el estudio de referencia se la consideró como la relación de un índice de productos sobre un índice de insumos.

No se encontraron trabajos nacionales que estimaran diferencias en los rendimientos de cultivos transgénicos según características de los eventos, salvo los registros experimentales de INASE. Los estudios internacionales que evaluaron rendimientos, algunos de las cuales se destacaron en esta discusión, presentan un período de análisis no mayor a dos años, lo que no permite evitar el efecto año debido a variaciones climáticas. Estos trabajos, en conjunto con los de la revisión bibliográfica, hacen referencia a las mejoras en rendimientos con cultivos transgénicos con genes que expresan tolerancia a herbicidas y resistencia a insectos, donde la diferencia a favor se explica por la característica o rasgo del evento con resistencia a insectos plaga, además del mejoramiento genético, lo que determina mayores rendimientos, menores costos y ganancias para los productores (Klumper y Qaim, 2014).

Como referencias de trabajos científicos respecto a los temas de toxicidad en mamíferos y ecotoxicológicos que sustentan a los tres índices presentados en la sección resultados según toxicidad para mamíferos, abejas y persistencia química en suelo, en primer lugar, se relevó el trabajo de Taran et al. (2013). Los autores realizaron un estudio descriptivo de intoxicaciones por plaguicidas registrados a personas entre 2002 y 2011 por el Centro de Información y Asesoramiento Toxicológico (CIAT) y la Unidad de Toxicología Laboral y Ambiental (UTLA) del departamento de Toxicología de la Facultad de Medicina (Udelar).

Taran et al. (2013) registraron 2602 casos de intoxicaciones por plaguicidas, de 3775 consultas en todo el período, de las que 2497 intoxicaciones fueron de tipo aguda con exposición reciente al plaguicida. La mayoría por situaciones involuntarias, accidentales en un 36 % y laborales en un 26 %. Los casos por intoxicaciones de tipo crónico fueron pocos y están asociados todos a causas laborales por exposición repetida y prolongada a los plaguicidas. La contaminación ambiental originada por la deriva de aplicaciones de plaguicidas agrícolas cercanas a escuelas y poblados rurales, si bien fueron leves, representan una fuente de exposición crónica.

Las intoxicaciones por exposición a plaguicidas de uso agrícola tuvieron una participación de cerca del 65 % de los casos, respecto al 35 % de productos veterinarios. Dentro del total de intoxicaciones, la categoría insecticida fue la que mayor frecuencia alcanzó con 926 casos, seguida de ectoparásitos veterinarios, 773, y en tercer lugar los herbicidas, 445. Estos últimos al 2005 venían incrementando su frecuencia dado el gran crecimiento del área agrícola a partir del 2003.

A su vez, dentro los grupos químicos involucrados en las intoxicaciones por insecticidas, los órganos fosforados fueron los de mayor importancia, que incluyen el ingrediente activo clorpirifos; luego, el grupo de los piretroides, donde se ubican a los ingredientes activos cipermetrina y lambdacialotrina (gráfico 8). Los agroquímicos que fueron responsables de más de cinco casos por intoxicaciones en los diez años del relevamiento fueron: cipermetrina, glifosato, diazinon, clorpirifos etil y malatión. De estos, diazinon y malatión son insecticidas de uso hortícola, mientras que los insecticidas cipermetrina y clorpirifos y el glifosato son de uso agrícola.

El herbicida glifosato se sigue aplicando tanto en barbechos agrícolas como cultivos tolerantes a glifosato (soja y maíz), pero con formulados más concentrados que llevan una menor dosis por hectárea según recomendación de etiqueta de esos activos. Por su parte, el insecticida clorpirifos —como se indicó—, con uso para control de plagas principales en cultivos de secano a partir del 2011, fue cayendo su uso por la aplicación de insecticidas fisiológicos y el ingrediente activo clorantraniliprole. Además, el clorpirifos tiene desestimulado su uso por la obligatoriedad de presentar receta profesional (Decreto n.º 482/009, MGAP), lo que también ocurrió con el herbicida atrazina como paso previo a prohibir su importación al Uruguay (Resolución n.º 104/2016).

La importación de clorpirifos y su uso volvió a incrementarse —según datos de la DGSA y actores entrevistados— para el control de arañuelas en soja debido a la

continuidad de veranos secos de los últimos años, 2017 en adelante. A falta de un insecticida como la abamectina, que tiene uso específico para dicha plaga, y por no haber disponibilidad de otro sustituto con menor toxicidad y selectividad para plagas no blanco, es que se recurre al clorpirifos.

Tras ese estudio, el CIAT generó un nuevo informe de actualización epidemiológica entre el 2017 y el 2020. En ese período se reportaron 1707 casos de intoxicaciones a productos agrícolas y veterinarios. De 1164 casos registrados, 569 (49 %) se corresponden a exposiciones al insecticida de grupo químico piretroides (ingredientes activos cipermetrina y deltametrina) de uso agrícola y veterinario, seguido de 444 casos (38 %) por exposiciones a insecticidas de la familia de los órganos fosforados y carbamatos (ingredientes activos: clorpirifos, diazinon y carbaril) y 32 casos (2,75 %) por exposiciones a insecticidas neonicotinoides (ingredientes activos: imidacloprid y tiametoxan). Se vuelven a repetir los casos de intoxicaciones por uso del insecticida clorpirifos y cipermetrina de alta toxicidad no solo en mamíferos, sino en abejas, como se observó en los gráficos 8 y 9.

Para la categoría herbicidas, se relevaron 140 exposiciones a fosfoglifosato, grupo donde se encuentran los glifosatos (57 %), seguido de 23 casos (9,42 %) del grupo químico clorfenoxiacético que corresponden a los ingredientes activos 2,4 d y MCPA, 12 situaciones (5 %) al grupo químico de los bipiridilos donde se ubican a los herbicidas Paraquat y Diquat ambos del grupo de los herbicidas con toxicidad en mamíferos más elevada.

Por último, los departamentos con mayor frecuencia por intoxicaciones fueron Canelones, Maldonado, Rocha y San José. Los dos primeros departamentos acumulan un 0,7 % y 1,5 % de la superficie total de soja y maíz, respectivamente, mientras que San José y Rocha alcanzan el 9,3 % y 13,5 % de la superficie total de soja y maíz al 2020.

El segundo trabajo que realizó Laborde et al. no tuvo el mismo nivel de análisis que el primero, que fue realizado en el marco de un proyecto de investigación, además de comprender un período menor de evaluación. A la luz de los resultados de los dos estudios, la cantidad de casos de intoxicación fueron en su mayoría para los insecticidas de los grupos químicos piretroides, organofosforados, todas las sales de glifosatos y con aumentos en los últimos años en herbicidas no glifosato como el 2,4 d y Paraquat.

Lo anterior coincide con los resultados mostrados para el período bajo estudio de esta investigación mediante el índice de ingredientes activos importados de 2,4 d amina —que tuvo un incremento en su importación entre 2010 y 2020 por encima del 300 %— que, junto con el glifosato, son los herbicidas de mayor uso. La excepción es que el 2,4 d amina es más tóxico (categoría II) y más volátil que el glifosato (categoría III). Se espera que el uso de este ingrediente activo, el 2,4 d, siga incrementándose dada la comercialización de soja Enlist tolerante al ingrediente activo 2,4 d a partir de la primera zafra comercial 2020-2021.

El incremento de los casos de intoxicación por Paraquat reportado por Laborde et al. (2017) en el período del 2017 al 2020 también coincide a lo observado a través del índice de toxicidad para mamíferos (gráfico 8) con el aumento de la categoría I de mayor toxicidad siendo el único agroquímico importado en esa clasificación toxicológica.

Sorprende el incremento en valores absolutos para el período analizado en las importaciones de fitosanitarios en la categoría II, dentro las cuales se encuentran los ingredientes activos, cipermetrina, clorpirifos, deltametrina, lambdacialotrina, emamectin benzoato, flubendiamide, bifentrin y los herbicidas 2,4 d amina, metribuzin y glufosinato de amonio. Pese a lo anterior, los insecticidas clorpirifos y cipermetrina, ambos presentes en la categoría II de moderada toxicidad en mamíferos, no representarían un riesgo alto a futuro dada la obligación de uso de

receta profesional en el primer caso y el poco uso en el segundo caso por la mayor oferta de sustitutos en el mercado de menor toxicidad (DGSA, 2020).

En segundo lugar, sobre la dimensión ecotoxicológica para abejas, estudios de Motta et al. (2020) y Castelli et al. (2021) verificaron perjuicios en la composición negativa de los microorganismos del intestino de abejas debido a la exposición crónica con dosis subletales de glifosato. Este herbicida está ubicado en el nivel de bajo umbral de toxicidad para abejas (gráfico 9) y, además, en términos relativos, disminuyeron sus importaciones y uso frente al aumento de otros herbicidas, como se indicó al principio de este estudio en la sección de importaciones y consumo de agroquímicos para chacras de soja y maíz.

Ahora, otro estudio indica que distintas especies de abejas presentan diferencias en la sensibilidad a un mismo insecticida y, por otro lado, las dosis letales (LD50) varían entre sí si se trata de ingredientes activos puros respecto a los formulados comerciales (Carrasco-Letelier et al., 2012). De hecho, esta investigación utilizó la base inglesa PPDB para la construcción del índice de toxicidad en abejas que toma la dosis letal de ingrediente activo puro. Carrasco-Letelier et al. (2012), en una investigación donde ajustaron a las dosis de formulados aplicados a campo, encontraron que solamente el clorpirifos representó un potencial problema para las abejas melíferas, ya que a la dosis máxima recomendada por etiqueta del formulado comercial para el cultivo de soja resultó ser 23 veces más tóxica que a la dosis letal media (LD50) del ingrediente activo puro para las abejas de la región suroeste. En tanto, otro estudio, en el que evaluaron la toxicidad de insecticidas formulados a base de cipermetrina, clorpirifos y endosulfán, resultó en una mayor toxicidad para los dos últimos y menor para cipermetrina cuando en la base británica es un insecticida de alta toxicidad para abejas. Por tal razón, los autores cuestionaron el uso de la dosis letal media de los ingredientes activos puros de la base de datos británica PPDB IUPAC como referencia de toxicidad y que, por otra

parte, son evaluadas para especies de abejas genéticamente diferentes a las encontradas en Uruguay.

Continuando con el aspecto ambiental vinculado a toxicidad en insectos y persistencia de agroquímicos en suelo y cursos de aguas, se observó una mejora en el aumento de insecticidas más selectivos que no controlan insectos no plaga y de menor toxicidad en mamíferos, como el clorantraniliprole, que ha venido sustituyendo al clorpirifos, como han comentado varios de los entrevistados; aunque hay evidencia de estudios científicos que muestran resultados inciertos con el uso de este ingrediente activo clorantraniliprole y su riesgo en artrópodos de suelo y cangrejos de río (Lavitzar et al., 2016, Barbee et al., 2010). Esto coincide con los resultados mostrados en la evolución del índice persistencia química en suelo, donde se ubica a este insecticida en el umbral «muy persistente» de más lenta degradación y con un coeficiente de partición octanol-agua moderado (Kow)¹¹.

En la cuenca del Río Negro y del Río Uruguay en el 2015, una investigación monitorio residuos de plaguicidas en tejidos de peces del Parque Nacional de Esteros de Farrapos e Islas del Río Uruguay (Ernst et al., 2018). A partir de las muestras tomadas, se destaca la alta frecuencia de ocurrencia (56 %) del ingrediente activo metolachlor, del mismo compuesto químico que el herbicida s-metolaclor de mayor uso en la actualidad como fue comentado en los resultados. El s-metolaclor tiene una mayor retención en materia orgánica y biota debido al alto coeficiente de partición octanol-agua (Kow).

Los glifosatos, por ejemplo, que no se identificaron en las muestras, tienen un Kow negativo, por lo que no se bioacumulan en peces o artrópodos de suelo y, a su vez,

¹¹ Kow: cuanto mayor valor de este coeficiente, el agroquímico se bioacumula en materia orgánica, sedimento y organismos no blanco y grasa corporal de animales.

tienen el mayor valor de K_{oc} ¹², lo que los hace no móviles. Otro de los herbicidas relevados en los tejidos vivos de peces con una alta tasa de ocurrencia (16,1 %) fue la atrazina, siendo moderadamente persistente en suelo y con un valor de K_{ow} moderado (2.7). Este herbicida tiene prohibida su importación al Uruguay desde diciembre del 2016 y su uso desde el 2018 (Resolución n.º 72/017, DGSA-MGAP).

El metolacloro también se ubica en el mismo umbral de persistencia en suelo que atrazina (gráfico 10) y con un coeficiente de partición octanol-agua de 3,4. Si bien el clorpirifos resultó con una frecuencia menor que los anteriores de 5,6 %, se trata de un insecticida con elevado K_{ow} (4,7) y muy persistente en suelo. Y, como ya se indicó, su importación y uso viene disminuyendo salvo situaciones que así lo requieran cuando no hay disponibilidad en el mercado de otros insecticidas.

Finalmente, Ernst et al. (2018) tomaron muestras de herbicidas en cursos de agua de las cuencas del río Uruguay y del río Negro y detectaron 6 herbicidas de 11 monitoreados. Dentro de ellos, el herbicida metolacloro fue el que tuvo mayor frecuencia de detección, seguido por 2,4 d y clomazone. Como ya se comentó en esta investigación, se evidenció un aumento en las importaciones de los dos primeros herbicidas que fueron seleccionados como representativos de su uso en cultivos de maíz y soja para la construcción de los tres índices de toxicidad. A diferencia del metolacloro, el 2,4 d tiene baja persistencia en suelo y no se bioacumula en organismos vivos por su bajo K_{ow} , en tanto el clomazone es un herbicida específico en el cultivo de arroz. Luego le siguieron los herbicidas atrazina, acetoclor y simazina. El ingrediente activo simazina utilizado en maíz sustituyó a la atrazina de mayor persistencia en suelo.

¹² Coeficiente de adsorción en suelo (K_{oc}): es una medida de un compuesto orgánico a ser retenido por los suelos o sedimentos. A mayor coeficiente, el herbicida más es adsorbido en suelo/materia orgánica y, a menor coeficiente, el agroquímico se distribuye en agua o aire.

A su vez, el herbicida metolacoloro, encontrado en el trabajo de Ernst et al. (2018), que además fue observado en este estudio a través de los índices de persistencia química en suelos, junto con los herbicidas sulfentranzone, biciclopirona, diuron y Paraquat, son de lenta degradación en suelos y de amplio uso a partir del 2015 en adelante para el control de malezas difíciles que presentaron resistencia a glifosato.

Si bien esta investigación no pudo aplicar una metodología que verifique una mejora en los niveles de toxicidad debido al uso de semilla transgénica, se supo por estudios internacionales donde se verificaron mejoras ambientales a través del indicador *environmental impact quotient* (EIQ) por los cambios en el uso de agroquímicos y en una reducción en las aplicaciones con insecticidas (Brooks y Barfoot, 2018, Ciliberto et al., 2016). Por la introducción de la tecnología Intacta RR2 PRO en América del Sur en cinco zafra agrícolas, Brookes (2018) destacó una mejora para el ambiente debido a una caída del 30,6 % en el EIQ por la reducción del uso de herbicidas e insecticidas.

Sin embargo, el indicador EIQ es cuestionado porque promedia tres niveles de impacto diferentes: en los trabajadores y en los consumidores y ecológicos. Por otro lado, no mide bien la persistencia de química de algunos agroquímicos en suelo como es el caso del herbicida atrazina (Diego Ferraro, comunicación personal, 16 de julio de 2020).

Brooks y Barfoot (2018) reconocen que el EIQ tiene debilidades y que, por lo tanto, es un indicador de peligrosidad que no evalúa el riesgo o la probabilidad de exposición a pesticidas. Además, se trata de un indicador muy sensible a las dosis de campo de un producto formulado. Por ejemplo, el caso del herbicida glifosato — que, como se vio en este trabajo, presenta bajos riesgos en los tres índices analizados—: utilizando este indicador a su dosis máxima de campo, puede resultar en un alto EIQ similar a otro agroquímico que si presenta mayores niveles de riesgo como el Paraquat (FAO, 2008).

Para las tres dimensiones ambientales evaluadas—toxicidad en mamíferos y abejas y persistencia en suelo—, el insecticida clorpirifos presenta, junto con el herbicida Paraquat, los mayores riesgos. De todas maneras, como fue comentado, las aplicaciones con clorpirifos han disminuido en el control de las plagas para las cuales está recomendado por etiqueta como uso principal (DGSA, 2020). Pero su menor utilización responde, de acuerdo con los actores entrevistados, mayormente al surgimiento de otros insecticidas menos dañinos para el ambiente y plagas no blanco y, en menor medida, por la introducción de nuevos eventos transgénicos con resistencia a plagas.

Respecto a la cantidad de ingresos a chacras por aplicaciones para controlar plagas, los resultados fueron positivos para ambos cultivos con más de un evento transgénico al relevarse una disminución general de las aplicaciones de insecticidas. Las estimaciones a partir de la base de chacras agrícolas de FUCREA para el evento apilado de soja RR2 fueron significativos utilizando la técnica de Poisson con una aplicación menos respecto a la soja RR1, que no presenta resistencia a plagas principales (lepidópteros). Por su parte, el estimador de la moda de aplicaciones con insecticidas según la base de FUCREA en soja RR1 fue de 3,0 con un mínimo de 0 a 7 aplicaciones máximo. Sin embargo, para la soja con el evento RR2, la moda resultó en 2 aplicaciones de insecticidas, con un mínimo de 0 a 5 como máximo de aplicaciones con insecticidas. Vale recordar que en esas aplicaciones se incluyen controles para lagartas y chinches en soja RR1 y chinches en soja RR2. De acuerdo con los presupuestos de costos en cultivo de soja publicados por los departamentos técnicos de las cooperativas, la Sociedad de Fomento Rural de Valdense, la Unión Rural de Flores y los informes de la Mesa Tecnológica de Oleaginosas, se supo que la cantidad de pulverizaciones con insecticidas varían entre 4, 6 y 3, respectivamente, en cultivos de soja RR1.

Horikoshi et al. (2021) informaron que, a partir de la primera zafra comercial de la soja Intacta RR2 PRO en el 2012/13 que contiene al gen Cry1ac con resistencia a

plagas principales, hubo una disminución promedio en la cantidad de aplicaciones de insecticidas de 3,50 a 2,45 para ambos grupos de soja entre el 2013 y el 2019 en distintos estados de Brasil. Por su parte, Coelho Carvalho (2015) informó para el estado del sudeste de Mato Grosso, una media de 3,75 aplicaciones de insecticidas para el control de chinches en el caso de la soja RR2 y de 6,5 aplicaciones para la soja RR1 para el control de lagartas y chinches.

Para el cultivo de maíz se consideraron las chacras sembradas con dos o tres eventos transgénicos, ya que la base de productores agrícolas de FUCREA no contaba con registros de materiales con un evento que tuviera resistencia a plagas. A partir de 2018 y hasta la fecha, no hubo importaciones de maíces transgénicos con el evento Bt11 con resistencia a plagas (INASE). Aplicando la técnica de Poisson, no se pudo determinar la misma significancia para el cultivo de maíz debido a que el tamaño de muestra de las chacras que sembraron maíz con dos a tres eventos fue muy bajo, entre 4 a 53 chacras. Pero los cálculos realizados con las cinco zafras muestran una moda de 1 para las aplicaciones de insecticidas en maíz con más de un evento apilado, con un mínimo de 0 y un máximo de 4 aplicaciones, lo que valida la protección que otorga el rasgo transgénico Bt a lepidópteros.

A pesar de la limitante en la cantidad de registros de maíz, todos los actores entrevistados remarcaron la diferencia a favor de un maíz con tres eventos en donde rara vez lleva alguna aplicación para controlar plagas respecto a los materiales con uno y dos eventos como el Bt11 y Bt11xGA21 (con resistencia parcial a plagas y tolerancia a dos herbicidas), respectivamente, que fueron analizados en este estudio. Incluso los cultivares de maíz con dos eventos apilados que expresan más de una proteína Bt llevan menos aplicaciones de insecticidas respecto a los maíces con un evento Bt11 o el GA21 con tolerancia a glifosato que se usa como refugio de los materiales con dos o tres eventos apilados.

Los actores entrevistados destacaron que los materiales de maíz en Uruguay que contienen tres eventos transgénicos aún no quebraron resistencia a las principales plagas de lepidópteros, mientras que los materiales con dos eventos sí. Esto se verificó con los últimos presupuestos del 2018 a la fecha realizados por parte del departamento técnico de SOFOVAL para el cultivo de maíz de primera y segunda que, considerando materiales con el evento Viptera 3 de la empresa Syngenta, no incluyeron pulverizaciones con insecticidas para plagas por contar con resistencia total a las principales plagas.

Los menores ingresos a chacras por aplicaciones de insecticidas presentan beneficios en el balance de carbono según lo consignado por Barfoot y Brooks (2016). Se utiliza menor cantidad de combustibles fósiles al no tener que realizar aplicaciones con equipos pulverizadores, lo que evita pérdida de dióxido de carbono (CO₂) y aumenta el carbono secuestrado en suelo.

Finalmente, las participaciones del consumo de agroquímicos en los cultivos de soja y maíz aumentan para las categorías herbicidas y fungicidas. Esta tendencia se asocia, en el primer caso, por la disminución de las importaciones de glifosato y el aumento de otros herbicidas y, en la situación de los fungicidas, por el aumento del área sembrada. Por otra parte, se observó, según los datos presentados de uso de agroquímicos (cuadro 2), una importante disminución en términos absolutos de los insecticidas importados por Uruguay. En el mismo período coincide con el aumento de la superficie sembrada de maíz y soja transgénico con más de un evento apilado con resistencias a plagas.

Una hipótesis que este trabajo no pretendió explicar es que el mantenimiento en el uso relativo de insecticidas en chacras de soja y maíz pudo deberse a que en los últimos cinco años hubo dos zafra con déficit hídrico sin presión importante de plagas pertenecientes a las especies de lepidópteros. Pero tampoco se podría afirmar que la baja total en el uso de insecticidas se refleje por la introducción de

los eventos transgénicos apilados con resistencia a plagas, dado que la participación (%) en el consumo de insecticidas para el control de todas las plagas de los cultivos de maíz y soja se mantuvo estable en ambos años en el período 2010-2020. Aunque, a partir del 2015, según estimaciones propias (cuadro 2), presupuestaciones de chacras relevadas y los actores entrevistados aumentan el uso de ingredientes activos de insecticidas para controlar plagas de las especies ácaros y trips, mientras que disminuyen los insecticidas que controlan lepidópteros en los cultivos de maíz y soja protegidos con más de un evento apilado que cuentan con el gen Bt que brinda resistencia a lepidópteros principales.

Como reflexiones finales de esta sección con base en el análisis realizado y considerando el trabajo de Bonny (2017), el estudio de la rentabilidad de los cultivos transgénicos para los productores no debiera medirse solamente por sus efectos en el corto plazo, sino que deben seguirse relevando permanentemente los cambios en los precios y también de efectos secundarios como el desarrollo de resistencia a malezas e insectos. En ese sentido, cabe la interrogante de los últimos eventos transgénicos apilados en soja y maíz, como la Intacta RR2 y el reciente Enlist, que si bien presentan oportunidades tecnológicas para los productores agrícolas, también serían una amenaza para el ambiente sin los manejos recomendados por el quiebre de resistencia tanto en insectos plaga como en malezas, además de mayores costos por una mayor utilización de agroquímicos.

De hecho, se supo que, en esta última zafra en Uruguay y la región, el evento Intacta RR2 en soja quebró resistencia a dos especies de lepidópteros. Esto determina un mayor uso de otros agroquímicos, como ocurrió luego de aprobado el primer evento transgénico en soja RR1 tolerante a glifosato, donde a partir del 2015 aumentaron las aplicaciones de herbicidas para el control de malezas resistentes, como yerba carnífera, raigrás y, por último, yuyo colorado. Lo mismo puede pensarse que ocurra con los herbicidas tolerantes a la soja Enlist que, además de glifosato, se agregan el 2,4 d y glufosinato de amonio. Al 2010, el herbicida 2,4 d

tenía identificado 16 especies de malezas a nivel global que lo resistían (Mortensen, 2012).

Para las situaciones de recientes apariciones de daños por lepidópteros a cultivos resistentes a plagas, se trata de procesos evolutivos que dependen de la presión de plagas y su susceptibilidad a las toxinas generadas por las proteínas Bt, el manejo de refugios, además de la genética de los materiales y las condiciones ambientales en que se desarrollan (Massoni et al., 2015).

10. CONSIDERACIONES FINALES

Para el período bajo estudio se evidenció un ahorro de los costos que varían fundamentalmente para los cultivares de maíz con eventos apilados. En cambio, en el cultivo de soja con el evento apilado Bt, a pesar de que hay un ahorro en el costo de una fumigación y su insecticida aplicado, no compensa el alto costo por el pago de la regalía y tampoco este evento protege contra insectos de importancia económica, como las chinches y arañuelas. Incluso varios de los entrevistados informaron que el ahorro del evento apilado viene dado solamente por la falta de necesidad de la aplicación de un insecticida en soja, ya que al cierre del surco del cultivo generalmente hay que ingresar para fumigar con herbicida.

Respecto a los beneficios netos, si bien no se trata de ganancias para el productor, para la soja hay una tendencia a favor del primer evento transgénico aprobado respecto al que tiene la proteína Bt, por el mayor costo de la semilla. La excepción fue para las últimas tres zafas analizadas, donde las variedades con dos eventos transgénicos, al verse incrementados los rendimientos, mejoraron también los ingresos. Y en dos de esos tres casos, si se incluyeran menores costos por flete de grano desde el sur respecto al norte, la soja tolerante a glifosato también superaría en beneficios al otro grupo con doble evento, pero por una mínima diferencia. En maíz este resultado fue más claro a favor de los materiales con eventos apilados.

Experimentalmente, la soja con eventos apilados no tuvo rendimientos superiores, excepto para las últimas zafas. Sin embargo, en la zona norte, los resultados obtenidos con los registros relevados a partir de la base de productores CREA sí fueron favorables para la soja Bt, mientras que, en la zona sur, con mayor cantidad de registros, la productividad fue mayor con un único evento tolerante a herbicida, lo que fue coincidente con las respuestas de la mayoría de los actores entrevistados, quienes fundamentaron que el evento transgénico apilado de soja en sí no genera un incremento en los rendimientos. Con la técnica de remuestreo

bootstrap utilizada tampoco se verificaron diferencias significativas de medias y mediana para rendimiento en ambos grupos transgénicos. Y, considerando a las medias de rendimiento ponderadas por superficie de chacra, solamente un cuarto de los registros con semilla de soja Bt superaron en un 10 % a los rendimientos de la semilla con un solo evento, no Bt.

A través de los datos experimentales en rendimiento, se evidencia —para la mayor parte de las zafas bajo el período de estudio— que los cultivares de maíz con tres eventos apilados superaron a los de un evento. Se constató, mediante las entrevistas a los distintos actores que tienen la experiencia de trabajar con cultivos genéticamente modificados, que el rendimiento de los cultivares de maíz con más de un evento en los últimos años se incrementó, fundamentalmente debido al mejoramiento genético, acompañado de un manejo tecnológico que requirió mayores niveles de fertilización nitrogenada. También los entrevistados destacaron que los eventos apilados de maíz con resistencia a las principales plagas evitan pérdidas de rendimiento.

Para ambos cultivos, soja y maíz, la mejora en los rendimientos es resultado del mejoramiento genético con nuevas variedades y de un paquete tecnológico que apalancó el incremento en productividad. De acuerdo a los actores entrevistados, el paquete tecnológico actual se ajusta a los mayores potenciales de productividad de los cultivos transgénicos de maíz y soja y además está vinculado a una necesidad de respuesta por la pérdida de nutrientes en suelos producto de la intensificación agrícola de los últimos diez años. La mejora en el rendimiento no fue por lo tanto consecuencia de la introducción de los últimos eventos transgénicos apilados.

En este trabajo no se pudo llevar a cabo una metodología de impacto ambiental que estime la evolución de los agroquímicos utilizados en un grupo representativo de productores agrícolas. Sin embargo, se concluye que el uso y la importación de agroquímicos disminuyó en términos absolutos, pero su participación para la

categoría herbicidas aumentó en los cultivos de soja y maíz con productos de alta a moderada peligrosidad. Esto coincide con lo argumentado por los entrevistados en cuanto a que la aplicación continua por muchos años de glifosato —sin otras medidas de manejo integrado, como, por ejemplo, rotación con otros activos— propicia la resistencia de poblaciones de malezas y termina determinando un aumento en el uso de otros herbicidas con mayor toxicidad.

A pesar de la introducción de los eventos transgénicos apilados, la categoría insecticida mantuvo su uso en ambos cultivos a lo largo del período analizado, dado que la toxina Bt no controla otras plagas de importancia económica en el cultivo de soja. Esto indica que, si bien los cultivos transgénicos han logrado una mayor protección frente a plagas de lepidópteros —principalmente en el cultivo de maíz—, aún no solucionan los riesgos de toxicidad en mamíferos, polinizadores y contaminación en suelos, fundamentalmente por continuar las aplicaciones de ingredientes activos de mayor toxicidad y lenta degradación en suelo.

Por el lado de las aplicaciones de agroquímicos, en el cultivo de soja con el evento apilado se pudo confirmar mediante la técnica de Poisson una disminución con resultado significativo en el ingreso a chacra por lo innecesario de la aplicación de insecticida respecto al primer evento de soja que no tenía la resistencia a plagas; beneficio que es más visible, según se pudo constatar también a través de las entrevistas, en regiones como Paraguay y Mato Grosso en Brasil, donde la presión de plagas es mayor y, por lo tanto, justifica el mayor costo de la semilla de soja Bt frente a los cultivares con un evento.

A pesar de la limitante en la obtención de registros de maíz con ingresos a chacras por aplicaciones de agroquímicos que se vio reflejado al aplicar la prueba de Poisson con resultado no significativo, todos los actores entrevistados remarcaron la diferencia a favor de un maíz con tres eventos, en donde en situaciones excepcionales lleva alguna aplicación para controlar plagas respecto a los materiales

con uno y dos eventos transgénicos con resistencia parcial a plagas. Incluso los cultivares de maíz con dos eventos apilados que expresan más de una proteína Bt llevan menos aplicaciones de insecticidas respecto a los maíces con un evento con tolerancia a glifosato, que se usa como refugio de los materiales Bt. A su vez, los actores entrevistados destacaron que los materiales de maíz en Uruguay que contienen tres eventos transgénicos aún no quebraron resistencia a las principales plagas de lepidópteros, mientras que sí lo hicieron los materiales con dos eventos.

Finalmente, se concluye que los beneficios productivos de los cultivos transgénicos con eventos apilados surgen a partir de la mejora en los germoplasmas para la generación de nuevas variedades. Se confirman ventajas económicas y ambientales por una menor cantidad de ingresos a chacras por aplicación de insecticidas, lo que es parcialmente cierto según el cultivo y evento transgénico del que se trate, además de haberse identificado en los últimos años resistencia a la proteína Bt. Pero también hay otras cuestiones a resolver, como la elección de la semilla transgénica a sembrar por parte de los productores, que en situaciones de quiebre de resistencia a insectos y malezas no se exonera del pago de las regalías de semilla para uso propio. De no pagar el valor tecnológico, los agricultores quedan expuestos al pago de una multa y acciones legales por parte de los obtentores.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABBATE S. 2022. Factores locales y de paisaje determinantes de la abundancia y riqueza de insectos plaga y artrópodos predadores en soja Bt y no Bt. Facultad de Agronomía, Universidad de la República.
- ARAMBURU F, MONZÓN JP, MERCAU J, TABOADA M, ANDRADE F, HALL A, JOBBAGY E, CASSMAN K, GRASSINI P. 2015. Potential for crop production increase in Argentina through closure of existing yield gaps. *Field Crops Research*, Volume 184, 2015. Pp. 145-154, ISSN 0378-4290. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2015.10.001>
- BARBEE G, MC CLAIN W, K LANKA S, STOUT M. 2010. Acute toxicity of chlorantraniliprole to non-target crayfish (*Procambarus clarkii*) associated with rice–crayfish cropping systems. Society of Chemical Industry. Pest Management Science. Vol. 66, Issue 9, September 2010. Pp 996-1001. DOI: <https://doi.org/10.1002/ps.1972>
- BELARMINO LC, CHRIST LM, DA ROSA AP, DA SILVA MARTINS JF, DE ABREU JA, FERNANDES FO. 2020. Performance of soybean cultivars in integrated pest management in lowland agroecosystem. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, 15 (1): 1-6. DOI:10.5039/agraria.v15i1a5726.
- BERVEJILLO J, BERTAMINI F, MILA F. 2011. El crecimiento de la productividad agropecuaria (1980-2010). *Anuario OPYPA*. MGAP Uruguay.
- BERVEJILLO J, BERTAMINI F. 2014. Cambio técnico y crecimiento de la productividad total del sector agropecuario. *Anuario OPYPA*. MGAP Uruguay.
- BIANCO M. 2015. El valor de la semilla: propiedad intelectual y acumulación capitalista. *Revista de Ciencias Sociales*, Vol. 28, No. 36, 2015. Pp. 37-54.
- BLANCO CA, CHIARAVALLE W, DALLA-RIZZA M, FARIAS JR, GARCÍA-DEGANO MF, GASTAMINZA G, MOTA-SÁNCHEZ D, MURÚA MG, OMOTO C, PIERALISI BK, RODRÍGUEZ J, RODRÍGUEZ-MACIEL JC, TERÁN-SANTOFIMIO H, TERÁN-VARGAS AP, VALENCIA SJ, WILLINK E. 2016. Current situation of pests targeted by Bt crops in Latin America. *Current Opinion in Insect Science*, Vol. 15, 2016. Pp. 131-138.
- BONNY S. 2014. Taking stock of the genetically modified seed sector worldwide: market, stakeholders, and prices. *Food Sec.* 6, 525–540. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12571-014-0357-1>
- BONNY S. 2017. Corporate Concentration and Technological Change in the Global Seed Industry, *Sustainability*, n.º9: 1632. <https://doi.org/10.3390/su9091632>

- BRAVO E. 2014. Los Cultivos Transgénicos en América Latina. En: MANZUR, M., CÁRCAMO, M (Eds). (2014). *América Latina: La Transgénesis de un Continente. Visión Crítica de una Expansión Descontrolada*. Rio De Janeiro: Fundación Heinrich Boll. 190.
- BROOKES G. 2018. The farm level economic and environmental contribution of Intacta soybeans in South America: the first five years, *GM Crops & Food*, 9:3,140-151, DOI: 10.1080/21645698.2018.1479560
- BROOKES G, BARFOOT P. 2018. Environmental impacts of genetically modified (GM) crop use 1996-2016: Impacts on pesticide use and carbon emissions. *GM Crops & Food*, 9:3, 109-139, DOI: 10.1080/21645698.2018.1476792.
- BORSANI O, CASTIGLIONI E, CHIAPPE M, FERENCZI A, GARCIA F, PRITSCH C, SPERANZA P. 2010. Biotecnología moderna, cultivos transgénicos y proceso de adopción en Uruguay. En: GARCÍA PRECHÁC F, OSWALDO E, ARBELETCHÉ P, PEREZ BIDEGAIN M, PRITSCH C, FERENCZI A, RIVAS M. (Eds.) *Intensificación Agrícola: oportunidades y amenazas para un país productivo y natural*. Montevideo: Tradinco S.A. 29-66.
- BRYANT HA, MAISASHVILI J, OUTLAW J, RICHARDSON J. 2016. Effects of Proposed Mergers and Acquisitions among Biotechnology Firms on Seed Prices. Texas A&M University, Agricultural and Food Policy Center; p. 35. Available online: https://www.afpc.tamu.edu/research/publications/files/675/WP_16-2.pdf
- CÁCERES D. 2018. Biotecnología y poder. ¿Usan los cultivos transgénicos menos agroquímicos? *Revista Interdisciplinaria de estudios agrarios*. Universidad de Buenos Aires. 48. 29-56.
- CARRASCO-LETELIER L, MENDOZA Y, BRANCHICELLA M. 2012. Toxicidad aguda de abejas uruguayas: discrepancias con valores de referencias internacionales. *Revista INIA* 30. pp. 59-61.
- CASELLA AP. 2016. La propuesta alternativa del proyecto de Ley de Semillas y Obtenciones Vegetales de Federación Agraria Argentina. *Revista Interdisciplinaria de Estudios Agrarios* n.º 45, 2.º semestre de 2016. 53-67.
- CASTELLI L, BALBUENA S, BRANCHICELLA B, ZUNINO P, LIBERTI J, ENGEL P, ANTÚNEZ K. 2021. Impact of Chronic Exposure to Sublethal Doses of Glyphosate on Honey Bee Immunity, Gut Microbiota and Infection by Pathogens. *Microorganisms* 9, n.º 4: 845. DOI: <https://doi.org/10.3390/microorganisms9040845>

- CILIBERTO F, HENNESY D, MOSCHINI G, PERRY E. 2016. *Genetically engineered crops and pesticide use in U.S. maize and soybeans*. American Association for the Advancement of Science. 2(8). 1-9. DOI: [10.1126/sciadv.1600850](https://doi.org/10.1126/sciadv.1600850)
- CIMMYT (Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo). 1988. *La formulación de recomendaciones a partir de datos agronómicos: Un manual metodológico de evaluación económica*. Edición completamente revisada. México D. F.: México: CIMMYT. ISBN968-6127-24-0.
- COELHO C. 2015. Análisis Económica da Produção de soja RR2 PRO e soja RR1: estudo de caso no Estado de Mato Grosso. Tesis Mestre em Agronomia. Botucatu - SP, Brasil. Faculdade de Ciências Agronomicas da UNESP. 67 p.
- CORBETTA P. 2007. Investigación Cualitativa y Cuantitativa. CEJUDO J. (Eds.) *Metodología y Técnicas de Investigación Social*. Madrid: Mc Graw Hill. Pp 32-63 y 271-289.
- DHALIWAL G.S, JINDAL V, MOHINDRU B. 2015. Crop losses due to insect pests: global and Indian scenario. *Indian J Entomol*, 77(2), 165-168.
- DGSA (Dirección General de Servicios Agrícolas). Importaciones [En línea]. En: Importaciones de Productos Fitosanitarios 2010 al 2020. Montevideo: MGAP (Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca). Consultado 09 de febrero 2022. Disponible en: <https://www.gub.uy/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/datos-y-estadisticas/datos/importaciones-productos-fitosanitarios>
- DIEA (Dirección de Estadísticas Agropecuarias). 2022. Producción vegetal: cultivos cerealeros e industriales de secano. [En línea]. En: Anuarios estadísticos agropecuarios. Montevideo: MGAP (Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca). Recuperado de: https://www.gub.uy/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/comunicacion/publicaciones?field_tipo_de_publicacion_target_id=42&year=all&month=all&field_tematica_target_id=1056&field_publico_target_id=All
- DIEA (Dirección de Estadísticas Agropecuarias). 2019. Producción vegetal: cultivos cerealeros e industriales de secano. [En línea]. En: Anuarios estadísticos agropecuarios. Montevideo: MGAP (Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca). Recuperado de: https://www.gub.uy/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/comunicacion/publicaciones?field_tipo_de_publicacion_target_id=42&year=all&month=all&field_tematica_target_id=1056&field_publico_target_id=All

- DIEA (Dirección de Estadísticas Agropecuarias). 2016. Producción vegetal: cultivos cerealeros e industriales de secano. [En línea]. En: Anuarios estadísticos agropecuarios. Montevideo: MGAP (Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca). Recuperado de: https://www.gub.uy/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/comunicacion/publicaciones?field_tipo_de_publicacion_target_id=42&year=all&month=all&field_tematica_target_id=1056&field_publico_target_id=All
- DIEA (Dirección de Estadísticas Agropecuarias). 2006. Producción vegetal: cultivos cerealeros e industriales de secano. [En línea]. En: Anuarios estadísticos agropecuarios. Montevideo: MGAP (Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca). Recuperado de: https://www.gub.uy/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/comunicacion/publicaciones?field_tipo_de_publicacion_target_id=42&year=all&month=all&field_tematica_target_id=1056&field_publico_target_id=All
- EMBRAPA (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA). 2015. É preciso manejo para controlar plantas tigueras mais resistentes. Notícias, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Recuperado de: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/2678142/e-preciso-manejo-para-controlar-plantas-tigueras-mais-resistentes>
- ERNST F, ALONSO B, COLLAZO M, PAREJA L, CESIO V, PEREIRA A, MÁRQUEZ A, ERRICO E, SEGURA A, HEINZEN H, PÉREZ-PARADA A. 2018. Occurrence of pesticide residues in fish from south American rainfed agroecosystems. 631-632, pp. 169-179. DOI: doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.02.320.
- EVENSON R, GOLLIN D. 2003. *Assessing the Impact of the Green Revolution, 1960 to 2000*. 300(5620). 758-762. DOI: 10.1126/science.1078710.
- EL OBSERVADOR. 2013. Uso masivo de soja Intacta puede incrementar 10% la producción. [En línea] Consultado 05 de octubre 2021. Disponible en: <https://www.elobservador.com.uy/nota/uso-masivo-de-soja-intacta-puede-incrementar-10-la-produccion-20137415310>
- FAOSTAT (Food and Agricultural Data). 2021. Food and Agricultural Organization of the United Nations. Analytical Brief n° 16. Pesticides use. Global, regional and country trends 1990-2018.
- FAO (Food and Agricultural Organization). 2008. *Guidance on the Use of Environmental Impact Quotient in IPM Impact Assessment*, IPM Impact Assessment Series,

Guidance Document n.º 2 [PDF] Recuperado de:

<http://www.fao.org/3/ca8263en/ca8263en.pdf>

GALEANO P, GALVÁN G, CAUCI A, BURGER M, BAISA N, EVIA V, ARTÍA P, BANDEIRA E, TAROCO L, ROSANO L, RAMA P, FRANCO L, TOLEDO S, MARTINEZ C, OYHANTÇABAL G, NARBONDO I, BARCIA M. 2017. Cultivos transgénicos en Uruguay. Aportes para la comprensión de un tema complejo [en línea]. Montevideo: Udelar. CSIC.

HORIKOSHI RJ, DOURADO P.M, BERGER G.U, FERNANDES D, OMOTO C, WILLSE A, MARTINELLI S, HEAD G.P, CORREA A.S.2021. Large-scale assessment of lepidopteran soybean pests and efficacy of Cry1Ac soybean in Brazil. *Sci. Rep.* 11 (15956): 1-14. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-021-95483-9>

HORIKOSHI R.J, BERNARDI O, GODOY D.N, HORIKOSHI R.J, ODERLEI BERNARDI, SEMEÃO A., WILLSE A., CORAZZA G, RUTHES E, FERNANDES D. DE S, SOSA-GÓMEZ D.R, BUENO A. DE F, OMOTO C, BERGER G, CORRÊA A, MARTINELLI S, DOURADO P.M, HEAD G. 2021. Resistance status of lepidopteran soybean pests following large-scale use of MON 87701 X MON 89788 soybean in Brazil. *Sci. Rep* 11:21323. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-021-00770-0>

HOWARD, PH. 2015. Intellectual property and consolidation in the seed industry. *Crop Science* 55(6): 2489-2495.

INASE (Instituto Nacional de Semillas). Evaluación y Registro [En línea]. En: Resultados de la Evaluación Nacional de Cultivares 2013 al 2020. Montevideo: INASE. Recuperado de: <https://www.inase.uy/Publicaciones/Publicaciones.aspx?s=dt-enc>.

INASE (Instituto Nacional de Semillas). Estadística [En línea]. En: Resumen declaraciones movimientos de semilla 2005 al 2021. Montevideo: INASE. Consultado 05 de febrero 2022. Recuperado de: <https://www.inase.uy/Estadistica/>

ISAAA (THE INTERNATIONAL SERVICE FOR THE ACQUISITION OF AGRI-BIOTECH APPLICATIONS). 2019. *Global Status of Commercialized Biotech/GM Crops: 2019*.

<http://www.isaaa.org/resources/publications/briefs/55/executivesummary/default.asp>

KAHL M. B. 2013. Principales características de los insecticidas utilizados en el cultivo de soja. INTA, Estación Experimental Agropecuaria Paraná. Serie Extensión Digital, Segundo Trimestre 5: 31-50.

- KLUMPER W, QAIM M. 2014. A meta-analysis of the impacts of genetically modified crops. *PloSone*, 9(11): e111629. DOI: doi.org/10.1371/journal.pone.0111629
- LAVITZAR V, BERGGREN K, TREBSE P, KRAAK M, VERWEIJ R, VANGESTEL, C. 2016. Comparative ecotoxicity of chlorantraniliprole to non-target soil invertebrates. *Chemosphere*, Vol. 159, September 2016. Pp 473-479. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2016.06.036>.
- LEMAUX P. 2009. Genetically Engineered Plants and Foods: A Scientist's Analysis of the Issues (Part II). *Annual Review of Plant Biology*. 60(1): 511-59. DOI: 10.1146/annurev.arplant.043008.092013.
- MARQUES LH, SANTOS AC, CASTRO BA, MOSCARDINI VF, ROSSETO J, SILVA O, BABCOCK JM. 2018. Assessing the Efficacy of *Bacillus thuringiensis* (Bt) pyramided proteins Cry1F, Cry1A.105, Cry2Ab2, and Vip3Aa20 expressed in Bt maize against lepidopteran pests in Brazil. *J Econ Entomol* 112:803–811. <https://doi.org/10.1093/jee/toy380>
- MASSONI F.A, FRANA J. E, TROSSERO M. 2018. Monitoreo del daño del “gusano cogollero” *Spodoptera frugiperda* en híbridos de maíz MG, VT3P, PW y Vip3. Publicación miscelánea n° 135. INTA Rafaela. Información técnica de cultivos de verano. campaña 2017-2018. 70-78 p.
- MASSONI F.A, FRANA J.E, TROSSERO, M. 2015. Evaluación del daño de lepidópteros en híbridos de maíz Bt (Maízgard, Hérculex, VT Triple Pro, Powercore, Agrisure Viptera 3), y determinación del impacto sobre el rendimiento. EEA INTA. RAFAELA, SANTA FE. PP. 8.
- MASSONI F.A, FRANA J.E, SCHLIE G. Cultivo de soja Bt (RR2 PRO) y convencional (RR1) expuestos a poblaciones naturales de organismos plaga y depredadores. 2015. Información Técnica de Cultivos de Verano. Campaña 2013/2014, INTA-Estación Experimental Agropecuaria Rafaela, Argentina. *Publ. Misc.* 2015, 130, 98–103. Disponible en: [HTTP://WWW.AAPRESID.ORG.AR/WP-CONTENT/UPLOADS/2015/01/SOJA-BT-VS-CONVENCIONAL-EXPUESTOS-A-ORGANISMOS-PLAGA-Y-DEPREDADORES_MASSONI_F-4.PDF](http://www.aapresid.org.ar/wp-content/uploads/2015/01/soja-Bt-VS-CONVENCIONAL-EXPUESTOS-A-ORGANISMOS-PLAGA-Y-DEPREDADORES_MASSONI_F-4.PDF)
- MONSANTO URUGUAY. 2020. Beneficios INTACTA RR2 PRO. [Folleto] Disponible en: www.intactarr2pro.uy/acerca
- MORTENSEN D, EGAN J, MAXWELL B, RYAN M, SMITH R. 2012. Navigating a Critical Juncture for Sustainable Weed Management. *Bio Science*. 62 (1): 75-84. DOI: <https://doi.org/10.1525/bio.2012.62.1.12>

- MOTTA E.V.S, MAK M, DEJONG T, POWELL E.J, O'DONNELL A, SUHR K.J, RIDDINGTON, I.M, MORAN, N.A. 2020. Oral or Topical Exposure to Glyphosate in Herbicide Formulation Impacts the Gut Microbiota and Survival Rates of Honey Bees. Eric V. Stabb, Editor. ASM Journals. Applied and Environmental Microbiology. Vol. 86, n.º 18. DOI: <https://doi.org/10.1128/AEM.01150-20>
- ORKE E. 2006. Crop losses to pests. The Journal of Agricultural Science, 144(1), 31-43. doi:10.1017/S0021859605005708.
- OPYPA (Oficina de Programación y Política Agropecuaria). 2020. Producción [En línea]. En: Anuarios OPYPA. Montevideo: MGAP (Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca). Recuperado de: <https://www.gub.uy/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/politicas-y-gestion/anuarios-opypa>
- PELLEGRINO E, BEDINI S, NUTI M, ERCOLI L. 2018. Impact of genetically engineered maize on agronomic, environmental and toxicological traits: a meta-analysis of 21 years of field data. *Scientific reports*, 8(1), 1-12.
- PEREZ D, DEVANI M, LEDESMA F, PAREDES V, RODRÍGUEZ G. 2015. Costo del control de plagas (insectos y malezas) y de la incorporación de la tecnología Intacta en el cultivo de soja en Tucumán, en la campaña 2013/2014. Sección Economía y Estadísticas EEAOC. Revista Avance Agroindustrial 35 (3): 17-21 pp.
- PIRCHIO B.A, FERNÁNDEZ MADRID S, BAUDINO S.M, CORRO MOLAS A. 2019. Efecto de distintos eventos biotecnológicos de maíz en el consumo y mortalidad de la «oruga cortadora áspera» (*Agrotis robusta*). Semiárida. Revista de la Facultad de Agronomía UNLPam. 29 (2): 43:50. DOI: [https://doi.org/10.19137/semiarida.2019\(02\).43-50](https://doi.org/10.19137/semiarida.2019(02).43-50)
- PLATAFORMA CROOSMEDIA AGROFY NEWS. 2022. Soja: preocupación por posible «quiebre» en la eficacia de la tecnología BT. [En línea]. Consultado 12 de marzo de 2023. Disponible en: <https://news.agrofy.com.ar/noticia/199433/soja-preocupacion-posible-quiebre-eficacia-tecnologia-bt>
- PPDB IUPAC. Pesticides Properties Data Base. University of Hertfordshire. Recuperado de: <http://sitem.herts.ac.uk/aeru/ppdb/index.htm>
- QAIM M. 2009. The Economics of Genetically Modified Crops. *Annual Review of Resources Economics*, vol (1): 665-694. DOI: doi.org/10.1146/annurev.resource.050708.144203.

- QAIM M. 2010. Benefits of genetically modified crops for the poor: household income, nutrition, and health. *New Biotechnology* 27(5): 552-7. DOI: 10.1016/j.nbt.2010.07.009.
- QAIM M. 2016. Genetically Modified Crops and Agricultural Development. En: Christopher BARRET (Ed.). Basingstoke: Palgrave Macmillan. 1-197. DOI: 10.1057/9781137405722
- QAIM M, ZILBERMAN D. 2003. Yield Effects of Genetically Modified Crops in Developing Countries. *Science* VOL 299, Issue 5608, pp. 900-902. DOI: doi.org/10.1126/science.1080609
- RIZZO G, MONZÓN JP, ERNST O. 2021. Cropping system-imposed yield gap: Proof of concept on soybean cropping systems in Uruguay. *Field Crops Research*, Volume 260, 2021, 107944, ISSN 0378-4290. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2020.107944>
- ROSER M. 2019. Pesticides. [En línea]. Published online at OurWorldInData.org. Recuperado de: <https://ourworldindata.org/pesticides>
- SANTOS D.J, SALUSO A. 2020. ¿Rinden más los cultivares de soja con tecnología Intacta RR2 PRO? Serie de extensión INTA Paraná. 8874 (86). 19-24.
- RODRÍGUEZ C, LORENZO O, HERRERA L. 2005. Teoría y práctica del análisis de datos cualitativos. Proceso general y criterios de calidad. *Revista Internacional de Ciencias Sociales y Humanidades, SOCIOTAM, XV(2)*, 133-154. ISSN: 1405-3543. Recuperado de: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=65415209>
- SISTEMA NACIONAL DE BIOSEGURIDAD. 2021. ¿Que es bioseguridad? [En línea]. Consultado 03 de abril 2023. Recuperado de: <https://www.gub.uy/bioseguridad/que-es-la-bioseguridad>
- SISTEMA NACIONAL DE BIOSEGURIDAD. 2021. Publicaciones [En línea]. Consultado 04 de junio 2022. En: Eventos autorizados y en proceso de análisis. Disponible en: <https://www.gub.uy/comunicacion/publicaciones/eventos-autorizados-y-en-proceso-de-analisis>
- SCHIEK B, BAGUMA Y, MEDAKKER A, DOUCHES D, SHOTKOSKI F, GHISLAIN M. 2016. Demystification of GM crop costs: releasing late blight resistant potato varieties as public goods in developing countries. *International Journal of Biotechnology (IJBT)*, Vol. 14, No. 2, 2016. DOI: [10.1504/IJBT.2016.077942](https://doi.org/10.1504/IJBT.2016.077942)
- TARAN L, ORTEGA C, LABORDE A. 2013. Intoxicaciones por plaguicidas agrícolas y veterinarios en el Uruguay. Departamento de Toxicología. Facultad de Medicina. UDELAR. [En

línea]. Consultado 06 de febrero 2023. Disponible en:

<https://www.toxicologia.hc.edu.uy/images/stories/estadisticas/Intoxicacion-por-Plaguicidas-en-el-Uruguay.pdf>

URUGUAY XXI. 2021. Centro de información. Producción [En línea]. Consultado 03 de setiembre 2022. En: Informe anual de comercio exterior. Montevideo: Promoción de Inversiones, exportaciones e imagen país. Disponible en:

<https://www.uruguayxxi.gub.uy/uploads/informacion/b3d5451b3ea37c8fe71eae875ebc3d18d0f10f2b.pdf>

ZILBERMAN D, KAPLAN S, WESSELER J. 2015. The Loss from Underutilizing GM Technologies. *AgBioForum*, 18(3): 312-319.

ANEXOS

ANEXO I: Glosario

Término	Definición
Plaguicidas	El término incluye todos los usos para los que están destinados: agrícola, veterinario, doméstico, sanitario y médico. Las diversas miradas sobre el uso de estos químicos se reflejan en parte en los diferentes términos que se utilizan para nombrarlos: fitosanitarios, agroquímicos, agrotóxicos, biocidas, pesticidas o plaguicidas.
Agroquímicos	Incluye a todas las categorías de fitosanitarios (herbicidas, insecticidas y fungicidas) y fertilizantes.
Cultivo de servicio/cobertura	Cultivos (gramíneas o leguminosas) sembrados en otoño luego de un cultivo de verano (ej. soja) y que brindan servicios como: disminución de la erosión, control de malezas, fijación de nitrógeno atmosférico, mejora de la calidad física de suelo y aporte de materia orgánica.
Cultivos transgénicos	Cultivos producidos a partir de vegetales genéticamente modificados
Cultivos genéticamente modificados	Hace referencia a que la información genética de estos vegetales ha sido modificada por procedimientos de ingeniería genética
Eventos apilados	Cultivos que presentan más de un transgén combinando dos rasgos en los cultivos transgénicos: la tolerancia a herbicidas y la resistencia a plagas.
Eventos transgénicos (HT)	Alteraciones metabólicas que le permiten tolerar la acción de ciertos herbicidas como el herbicida glifosato.
Eventos transgénicos (IR)	Presentan resistencia a plagas (lepidópteros)
Característica/proteína Bt	Rasgo utilizado en los cultivos transgénicos comerciales que es producido por la bacteria <i>Bacillus thuringiensis</i> , que posee en su conformación las proteínas Cry, que son tóxicas contra insectos de varios órdenes, entre ellos, el lepidóptero.
Herbicidas	Ingredientes activos que controlan malas hierbas.
Ingrediente activo	Sustancias que le infieren la acción esperada a un plaguicida. Por ejemplo, el activo que se utiliza para controlar malezas, plagas y hongos según la categoría de agroquímico a la que pertenece, herbicidas, insecticidas y fungicidas, respectivamente.
Insecticidas	Ingredientes activos que controlan plagas de importancia económica.
Lepidópteros	Especies de lagartas/orugas que se alimentan de cultivos cerealeros u oleaginosos y causan un daño económico.
Organismo genéticamente modificado (OGM)	Cualquier organismo vivo que posee una combinación nueva de material genético y que se ha obtenido mediante la aplicación de las tecnologías del ADN recombinante.
Plaga	Cualquier especie, raza, biotipo vegetal o animal o agente patógeno dañino para las plantas o productos vegetales, animales, personas o el ambiente. Su control depende del umbral y nivel de daño económico.

Plantas transgénicas	Presentan información genética de organismos muy alejados evolutivamente.
----------------------	---

Fuente: con base en Facultad de Agronomía y Departamento de Toxicología de la Facultad de Medicina, Udelar, MGAP, Revista INIA n.º 52 y FAO.

ANEXO II: Listado de fuentes de información y referentes calificados que aportaron validación a la presupuestación de aplicaciones con agroquímicos en chacras de maíz y soja entre 2010, 2015 y 2020.

Nombre y apellido/departamento	Institución	Obtenido en
Departamento técnico	Sociedad de Fomento Rural de Valdense	https://www.sofoval.com/costos-de-cultivos/
Departamento técnico	Unión Rural de Flores	/https://www.urf.com.uy/documents/Costo-Cultivos.pdf
Departamento técnico	Dufour Commodities	https://www.dufour.uy/catalogo.php
Informes económicos al conglomerado de oleaginosos	Mesa Tecnológica de Oleaginosos del Uruguay	https://oleaginosos.org.uy/observatorio
Ing. Agr. Pablo Farina	Asesor privado, ex Dufour Commodities	Comunicación personal, 15 de mayo de 2020
Dr. Sebastián Mazzilli	Facultad de Agronomía, Udelar	Comunicación personal, 8 de diciembre 2020 y 11 de marzo 2021
Ing. Agr. Alfredo Silbermann	Procampo	Comunicación personal, 8 de mayo 2021
Ing. Agr. Santiago Arana	Consultor privado	Comunicación personal, 17 de mayo 2021
Dr. Carlos Pérez	Facultad de Agronomía, Udelar	Comunicación personal, 28 de julio 2021

ANEXO III: Presupuestación parcial en soja con uno (RR1) y más de un evento transgénico (RR2)

	2013-14		2014-15		2015-16		2016-17		2017-18		2018-19		2019-20		2020-21	
Evento transgénico	RR1	RR2	RR1	RR2	RR1	RR2	RR1	RR2	RR1	RR2	RR1	RR2	RR1	RR2	RR1	RR2
Rendimiento ajustado (tt/ha)	3,19	3,22	2,29	2,30	1,87	1,94	3,08	3,13	1,32	1,28	3,10	3,29	2,14	2,28	2,52	2,91
Beneficios bruto a CS U\$/ha	1.359	1.373	875	878	547	566	1.014	1.030	402	393	965	1.024	589	628	844	975
Beneficios bruto a CN U\$/ha	1.304	1.318	838	841	526	545	971	986	384	375	931	987	577	615	824	952
Costo de la semilla	88	132	103	147	92	136	106	150	78	122	98	142	74	118	60	104
Insecticidas																
Triflumuron 48%	1,65	0	1,71	0,00	1,69	0	1,69	0	1,87	0	1,90	0	1,81	0	1,76	0
Clorpirifos 48%	4,42	0	3,92	0,00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Clorraniliprole 75 WG	0,00	0	0,00	0,00	3,43	0	2,18	0	0	0	2,32	0	2,45	0	2,77	0
Imidacloprid 20% + Lambda 10%	3,48	3,48	4,20	4,20	2,58	2,58	2,54	2,54	2,64	2,64	0	0	0	0	0	0
Abamectina 1,8%	0,00	0	0,00	0,00	0	0	0	0	4,2	4,2	0	0	0	0	0	0
Tiametoxan 11,5% + Bifentrin 7,5%	0,00	0	0,00	0,00	0	0	0	0	0	0	3,42	3,42	2,93	2,93	2,38	2,38
Subtotal insecticidas	9,54	3,48	9,83	4,20	7,70	2,58	6,41	2,54	8,71	6,84	7,64	3,42	7,19	2,93	6,91	2,38
Aplicaciones																
Glifosato + triflumuron	7,80	8	6,82	6,8	5,79	5,79	5,92	5,92	6,1	6,1	6,58	6,58	6,46	6,46	6,345	6,345
Clorpirifos 48%	7,80	0	6,82	0,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Clorraniliprole	0	0	0,00	0,0	5,79	0	5,92	0	0	0	6,58	0	6,46	0	6,345	0
Abamectina 1,8%	0	0	0,00	0,0	0	0	0	0	12,2	12,2	0	0	0	0	0	0
Fungicida + insecticida chinches	7,80	8	7,80	7,8	5,79	5,79	5,92	5,92	6,1	6,1	6,58	6,58	6,46	6,46	6,345	6,345
Gas oil aplicaciones	5,19	3	4,62	3,1	3,69	2,46	4,26	2,84	5,44	5,44	3,69	2,46	3,24	2,16	2,87	1,915
Subtotal aplicaciones	28,59	26	26,06	17,7	21,06	14,04	22,02	14,68	29,84	29,84	23,43	15,62	22,62	15,08	21,905	14,605
Total costos que varían U\$/ha	126	162	139	169	121	153	134	167	117	159	129	161	104	136	89	121
Beneficios netos sur U\$/ha	1.232	1.212	736	709	426	414	879	863	285	234	836	863	486	492	755	854
Beneficios netos norte U\$/ha	1.178	1.157	699	672	406	393	836	819	267	216	802	826	473	479	735	831

ANEXO IV: Presupuestación parcial maíz con uno (BT 11 Y GA21) y más de un evento transgénico (BT11XGA21 Y VIP3)

Evento transgénico	2013-14		2014-15		2015-16		2016-17		2018-19		2019-20		2020-21	
	Bt11	Bt11xGA21	Bt11	Bt11xGA21	GA21	VIP3	GA21	VIP3	GA21	VIP3	GA21	VIP3	GA21	VIP3
Rendimiento ajustado (tt/ha)	3,67	3,10	4,91	5,16	3,69	4,08	5,33	5,68	5,85	6,43	5,21	5,38	5,09	5,37
Beneficios bruto a CS U\$S/ha	695	587	886	932	575	636	915	975	1.055	1.160	769	794	911	961
Beneficios bruto a CN U\$S/ha	633	534	808	849	534	591	840	896	991	1.090	738	762	870	918
Costo de la semilla	162	176	153	170	147	191	147	187	147	185	147	198	147	198
Herbicidas														
Glifosato sal potásica	0	19,25	0	17,32	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Glufosinato de amonio	34	0	34	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Subtotal herbicidas	34	19,25	34	17,32	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Insecticidas														
Triflumuron	1,65	1,65	1,71	1,71	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Clorpirifos + triflumuron	0	0	0	0	11,56	0	11,11	0	15,69	0	13,61	0	14,48	0
Clorantra + triflumuron	5,95	5,95	6,01	6,01	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Clorantra + clorpirifos	0	0	0	0	17,08	0	14,03	0,00	16,53	0,00	14,91	0	16,5	0
Subtotal insecticidas	7,60	7,60	7,72	7,72	28,64	0,00	25,14	0,00	32,22	0,00	28,52	0	30,98	0
Aplicaciones														
Glifosato y/o glufosinato	7,8	7,8	6,82	6,82	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Herbicidas + triflumuron	7,8	7,8	6,82	6,82	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Clorpirifos + triflumuron	0	0	0	0	11,58	0	11,84	0	13,16	0	12,92	0	12,69	0
Clorantra + triflumuron	7,8	7,8	6,82	6,82	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Clorantra + clorpirifos	0	0	0	0	11,58	0	11,84	0	13,16	0	12,92	0	12,69	0
Gas oil aplicaciones	5,19	5,19	4,62	4,62	4,92	0	5,68	0	4,92	0	4,32	0	3,83	0
Subtotal aplicaciones	28,59	28,59	25,08	25,08	28,08	0	29,36	0	31,24	0	30,16	0	29,21	0
Total costos que varían U\$S/ha	232	231	220	220	203	191	201	187	210	185	205	198	207	198
Beneficios netos sur U\$S/ha	463	356	666	711	371	446	713	788	845	976	564	596	704	763
Beneficios netos norte U\$S/ha	401	303	588	629	331	401	639	708	781	905	532	564	663	720

ANEXO V: Sintaxis *bootstrapping* y análisis de medias

```
> mean(SJ1a_RR1_LS20.21)
> mean(SJ1a_RR2_LS20.21)
> test.stat1<-abs(mean(SJ1a_RR1_LS20.21)-mean(SJ1a_RR2_LS20.21))
> test.stat1
> median(SJ1a_RR1_LS20.21)
> median(SJ1a_RR2_LS20.21)
> test.stat2<-abs(median(SJ1a_RR1_LS20.21)-median(SJ1a_RR2_LS20.21))
> test.stat2
> set.seed(112358)
> n<-length(SJ1a_RR1_LS20.21)
> n
> B<-10000
> variablerr1<-SJ1a_RR1_LS20.21
> BootstrapSamples<-matrix(sample(variablerr1, size = n*B, replace = TRUE),nrow = n,
ncol=B)
> dim(BootstrapSamples)
> n<-length(SJ1a_RR2_LS20.21)
> n
> B<-10000
> variablerr2<-SJ1a_RR2_LS20.21
> BootstrapSamples2<-matrix(sample(variablerr2, size = n*B, replace = TRUE),nrow = n,
ncol=B)
> dim(BootstrapSamples2)
> Boot.test.stat1<-rep(0,B)
> Boot.test.stat2<-rep(0,B)
```

```

> for(i in 1:B){
+
+           Boot.test.stat1[i]<-abs(mean(BootstrapSamples[1:259,i])-
mean(BootstrapSamples2[1:92,i]))
+
+           Boot.test.stat2[i]<-abs(median(BootstrapSamples[1:259,i])-
median(BootstrapSamples2[1:92,i]))
+ }
>
> test.stat1; test.stat2
>
> round(Boot.test.stat1[1:20],1)
>
> round(Boot.test.stat2[1:20],1)
>
> (Boot.test.stat1>=test.stat1)[1:20]
>
> (Boot.test.stat2>=test.stat2)[1:20]
>
> mean(Boot.test.stat1>=test.stat1)
>
> mean(Boot.test.stat2>=test.stat2)

```


ANEXO VI: Sintaxis de la técnica Poisson test

I) Para cultivo de soja zafra 19/20

```
poisson.test(c(sum(RR1_1920),sum(RR2_1920)),c(length(RR1_1920),length(RR2_1920)))
```

```
## Comparison of Poisson rates
```

```
## data: c(sum(RR1_1920), sum(RR2_1920)) time base: c(length(RR1_1920), length(RR2_1920))
```

```
## count1 = 2205, expected count1 = 2009.6, p-value = 1.219e-14
```

```
## alternative hypothesis: true rate ratio is not equal to 1
```

```
## 95 percent confidence interval:
```

```
## 1.259266 1.483278
```

```
## sample estimates:
```

```
## rate ratio
```

```
## 1.36615
```

II) Para cultivo de maíz zafra 19/20

```
poisson.test(c(sum(Event2_1920),sum(Event3_1920)),c(length(Event2_1920),length(Event3_1920)))
```

```
## Comparison of Poisson rates
```

```
## data: c(sum(Event2_1920), sum(Event3_1920)) time base: c(length(Event2_1920), length(Event3_1920))
```

```
## count1 = 29, expected count1 = 29.754, p-value = 0.4893
```

```
## alternative hypothesis: true rate ratio is not equal to 1
```

```
## 95 percent confidence interval:
```

```
## 0.2261413 3.7425589
```

```
## sample estimates:
```

```
## rate ratio
```

```
## 0.7295597
```

ANEXO VII: Caracterización de personas entrevistadas

N.º	Tipo social entrevistado	Prod_asesor	Superficie (ha)	Distribución área agrícola	Duración (min)	Fecha	Profesión
1	Gerente de producción	1	14.000	SJ/SOR/RN/PAY/DUR	89	Dic-20	ING.AGR.
2	Asesor técnico	2	1.000	San José/Dolores	100	Dic-20	ING.AGR.
3	Gerente de producción	1	8.000	Río Negro/Soriano	82	Dic-20	ING.AGR.
4	Productor	1	2.100	San José	70	Dic-20	ING.AGR.
5	Productor	1	8.000	Flores/Soriano	62	Dic-20	
6	Gerente de producción	1	6.000	Soriano/Río Negro/Flores	50	Dic-20	ING.AGR.
7	Gerente área agronómica	2	25.000	SJ/COL/SOR/FLO/RN/TCBO/Salto	61	Dic-20	ING.AGR.
8	Responsable técnico	1	15.000	Soriano/Río Negro	57	Dic-20	ING.AGR.
9	Gerente de producción	1	15.000	Rocha/Durazno	53	Dic-20	ING.AGR.
10	Responsable agrícola	1	6.000	Flores/Río Negro	60	Dic-20	ING.AGR.
11	Gerente de producción	1	6.000	Río Negro/Durazno	59	Ene-21	ING.AGR.
12	Gerente de producción	1	12.000	Río Negro/Durazno	50	Ene-21	ING.AGR.
13	Responsable técnico	170	30.000	Flores/San José/Florida/Durazno	61	Ene-21	ING.AGR.
14	Gerente de producción	1	8.000	Litoral sur y norte	45	Ene-21	ING.AGR.
15	Gerente de producción	1	9.000	Grupo Kent	41	Feb-21	ING.AGR.
16	Socio - administrador	10	10.000	Paysandú/Salto/Río Negro	49	Feb-21	ING.AGR.
17	Productor	1	1.280	Soriano	E-mail	May-21	ING.AGR.
18	Administrador	1	4.123	Soriano	E-mail	Jul-21	ING.AGR.
19	Gerente de producción	1	13.500	Soriano	E-mail	Jul-21	ING.AGR.
20	Coordinador técnico	30	6.000	Paysandú	52	Jun-21	ING.AGR.
21	Responsable técnico	1	10.400	Cardona	E-mail	Jun-21	ING.AGR.
22	Coordinador técnico	30	7.100	J.E. Rodó/Risso/Egaña	69	Jun-21	ING.AGR.
23	Jefe departamento técnico	50	12.850	Río Negro	correo y audio	Jun-21	ING.AGR.
24	Coordinador técnico	55	11.740	Colonia	61	Jul-21	ING.AGR.
TOTAL		365	242.093				
REFERENCIAS							
Prod_asesor	Productores asesorados						
SJ	San José	COL	Colonia				
SOR	Soriano	FLO	Flores				
RN	Río Negro	TCBO	Tacuarembó				
PAY	Paysandú						
DUR	Durazno						

ANEXO VIII: Guía de entrevista semiestructurada a actores

1. Introducción al tema: percepción de los cultivos transgénicos

Económica, social (alimentos), salud humana (toxicidad), ambiente (contaminación por cruzamiento con maíces criollos, recursos hídricos, ecotoxicología mamíferos, insectos, peces, balance carbono).

1.1 Percepción transgénicos versus cultivos o agricultura no transgénicos

2. Sobre los eventos transgénicos utilizados en soja y maíz

Qué proporción del área de siembra de verano representan y según soja de 1.^a y 2.^a. (Hectáreas sembradas con soja y maíz por evento transgénico).

Área con los eventos anteriores (Mon 810, Bt 11) en maíz y RR1 (40-3-2) soja con una sola característica.

Nuevos eventos apilados¹³, más de una característica por cultivo, con tolerancia a herbicida glifosato y glufosinato de amonio, además de resistencia a plagas (orugas/lepidópteros).

3. Posibles beneficios

Rendimiento por hectárea respecto a los primeros eventos aprobados (RR1 soja y Mon 810 maíz).

Diferencias de rendimiento según condiciones de suelo (suelos marginales y de buena aptitud agrícola).

Diferencias de rendimiento según la variedad se trate y/o germoplasma (mejoramiento genético).

Otras razones que hayan contribuido al rendimiento:

Desde su punto de vista, ¿a qué se pueden deber las diferencias, si las hay, en productividad? (Manejo paquete tecnológico, gestión, asesoramiento técnico, suelos-fertilidad, clima).

Paquete tecnológico (PT) utilizado anterior a la aprobación de los eventos en soja y maíz 2011 y 2012.

¹³TC1507; GA21 × BT11; MON810 × NK603; TC 1507 × NK603; MON 89034 × TC1507 × NK603; Bt11 × MIR162 × GA21 y MON 89788 × MON87701 (Bt × RR2Y)

- Fertilización.
- Uso de agroquímicos principales.
- Herbicidas.
- Insecticidas.

PT actual

- Coberturas.
- Fertilización.
- Uso de agroquímicos principales.
- Herbicidas.
- Insecticidas.

Costos por hectárea

- Labores.
- Gas oil.
- Ingresos con equipos pulverizadores a chacra.
- Agroquímicos (cantidad ingredientes activos herbicida e insecticidas por ha).

4. Ambiente

- Toxicidad (menor uso de combustibles, secuestro carbono, dosis letal aguda LD50).
- Valoración del nivel de toxicidad de agroquímicos anterior a la aprobación de los últimos eventos.
- Valoración actual con la utilización de los nuevos eventos apilados.
- Uso del agua para aplicaciones (volumen de agua para los pulverizadores).

5. ¿Qué opinión le merecen las siguientes afirmaciones?

- a) Los cultivos mejorados por la biotecnología moderna han brindado a los productores beneficios directos, en términos de eficacia de control de malezas y plagas, y de simplicidad y flexibilidad en el manejo de las aplicaciones, lo que ha permitido nuevos esquemas de rotación de cultivos que contribuyen a la agricultura sustentable.
- b) Además, la tecnología INTACTA RR2 PRO es más amigable con el ambiente, pues permitirá utilizar menos insecticidas para mantener bajos los niveles de orugas. INTACTA RR2 PRO aporta protección contra las principales plagas que afectan el cultivo de soja, siendo su control más efectivo que el de cualquier insecticida. Por esta razón es esperable que el valor de la tecnología se maximice en ambientes con alta presión de plagas.
- c) INTACTA RR2 PRO ofrece un efectivo control de las principales orugas que atacan el cultivo de soja y permite un mayor rendimiento, simplicidad de manejo y reducción de costos de producción.
- d) Contiene la tecnología RoundupReady, que le otorga tolerancia al herbicida Roundup®, el más eficiente control de malezas existente.
- e) La línea Agrisure «viptera 3» en maíz cuenta con una excepcional tolerancia a herbicidas y el mejor control de insectos en maíz, protege al cultivo hasta la cosecha, permite la máxima expresión del potencial de rendimiento, no causa efectos negativos sobre insectos benéficos, tiene un menor impacto ambiental por menor uso de insecticidas, permite el cultivo libre de malezas por más tiempo. Otorga una mayor ventana de aplicación frente a los herbicidas pos emergentes residuales.

ANEXO IX: Listado con los códigos utilizados a partir de las entrevistas en la que se define el significado de cada uno de ellos.

Lista de códigos utilizados y definición		
Códigos	Abreviación	Definición
Empresarios agrícolas	EMP_AGRI	Productores agrícolas con tierra propia con superficie mayor a 1.000 ha, de nacionalidad uruguaya, de entre 45 a 53 años.
Gerentes de producción	GER_PROD	Ingenieros/as agrónomos/as de entre 35 a 45 años contratados para la gestión y administración de empresas agrícolas de capitales nacionales o extranjeros.
Responsables técnicos	RESP_TEC	Ingenieros/as agrónomos/as de entre 35 a 61 años que asesoran a empresas agrícolas y cooperativas en régimen de dependencia o independencia.
Percepción económica	PERCEP_ECON	Aspectos económicos a favor y en contra por sembrar semillas de soja y maíz con tolerancia a glifosato y resistencia a plagas.
Percepción toxicidad ambiente	PERCEP_TOXI	Valoración de la toxicidad pre- y posintroducción de las semillas de soja y maíz con tolerancia a glifosato y resistencia a plagas.
Percepción agricultura no OGM	PERCEP_NO OGM	Valoración de una agricultura con cultivos transgénicos respecto a cultivos no OGM.
Otros aspectos de los cultivos transgénicos	PERCEP_OTROS	Valoraciones sociales, contaminación entre especies, problemática del enmalezamientos que lleven a un mayor uso de otros herbicidas no glifosato.
Eventos transgénicos con una característica	EVEN_OGM I	Semillas sembradas de soja y maíz con un solo evento transgénico como característica, tolerancia a glifosato o glufosinato de amonio y resistencia a plagas respectivamente.
Eventos transgénicos de maíz con dos características	EVEN_OGM II	Semillas de maíz sembradas con más de un evento apilado, tolerancia a glifosato y glufosinato de amonio y resistencia a plagas.
Eventos transgénicos de soja con dos características	EVEN_OGM III	Semillas de soja sembradas con más de un evento apilado, tolerancia a glifosato y resistencia a plagas.
Impactos productivos en rendimientos por ha	IMPAC_PROD	Respuesta a los rendimientos logrados en chacras para las semillas de soja y maíz con un evento respecto a las semillas con dos eventos transgénicos.
Impactos económicos en costos por ha	IMPAC_ECON	Respuesta a los costos que variaron por la utilización de dos eventos transgénicos, ej. insecticidas y aplicación con pulverizadores.
Paquete tecnológico anterior al 2010	PT_< 2010	Insumos utilizados previo a la aprobación de los eventos transgénicos con dos características.
Paquete tecnológico posterior al 2010	PT_> 2010	Insumos utilizados posterior a la aprobación de los eventos transgénicos con dos características.
Toxicidad fitosanitarios	TOXI_FITO	Evaluación de la toxicidad previo y posterior a la aprobación de los eventos transgénicos apilados en el 2011 y 2012.

Toxicidad otros	TOXI_OTROS	Otras valoraciones ambientales respecto a la toxicidad por la utilización de semillas transgénicas.
Validación sobre beneficios productivos y de manejo de los transgénicos	VAL_BENEF_PROD UC	Concordancia o no con las afirmaciones de las empresas que desarrollan eventos transgénicos en cuanto a que se logran mayores rendimientos y simplicidad en las aplicaciones de fitosanitarios
Validación sobre beneficios económicos de los transgénicos	VAL_BENEF_ECON	Concordancia o no respecto a la disminución de costos productivos.
Validación sobre la eficacia de la biotecnología	VAL_EFIC	Concordancia o no de un efectivo control de malezas y plagas.
Validación respecto a mejores impactos ambientales	VAL_AMB	Acuerdo o no con una mejora en la toxicidad al haber menos necesidad de aplicaciones con insecticidas y menor ingreso a chacras para aplicar fitosanitarios con equipos pulverizadores

ANEXO X: Familias de códigos conceptualmente vinculados entre sí (categorías)

Categorías	Códigos
Actores	Empresarios agrícolas
	Gerentes de producción
	Responsables técnicos
Percepción cultivos transgénicos	Percepción económica
	Percepción toxicidad ambiente
	Percepción respecto a agricultura no OGM
	Otros aspectos
Eventos transgénicos	Eventos transgénicos con una característica
	Eventos transgénicos de maíz con dos características
	Eventos transgénicos de soja con dos características
Evaluación de los actores	Impactos productivos en rendimientos por ha
	Impactos económicos en costos por ha
Paquete tecnológico	Paquete tecnológico anterior al 2010
	Paquete tecnológico posterior al 2010
Valoración ambiental	Toxicidad fitosanitarios
	Toxicidad otros
Validación de los actores respecto a argumentos técnicos de las multinacionales	Validación sobre beneficios productivos de los transgénicos
	Validación sobre beneficios económicos de los transgénicos
	Validación sobre la eficacia de la biotecnología
	Validación respecta a mejores impactos ambientales

ANEXO XI: Estimación de los consumos de agroquímicos formulados en soja y maíz

Soja - maíz 2010				Soja - maíz 2015				Soja - maíz 2020			
Soja 1a	Soja 2da			Soja 1a	Soja 2da			Soja 1a	Soja 2da		
Herbicidas	Dosis/ha	Herbicidas	Dosis/ha	Herbicidas	Dosis/ha	Herbicidas	Dosis/ha	Herbicidas	Dosis/ha	Herbicidas	Dosis/ha
2,4 D Amina 50%	1,00	Diclosulam 84%	0,035	2,4 D Amina 50%	1,00	Glifosato 66 %	5,00	2,4 D Amina 50%	1,00	Glifosato 66 %	5,00
Glifosato 66 %	9,00	Glifosato 66 %	5,5	Picloram 24%	0,10	Flumioxazin 48%	0,15	Picloram 24%	0,10	Flumioxazin 48%	0,15
Diclosulam 84 %	0,04			Glifosato al 66 %	7,50	Metolaclor 96%	0,60	Glifosato al 66 %	7,50	Metolaclor 96%	0,60
Insecticidas	Dosis/ha	Insecticidas	Dosis/ha	Flumioxazin 48%	0,15	Fomesafen 50%	1,00	Flumioxazin 48%	0,15	Sulfentrazone 50%	0,80
Clorpirifos 48%	1,00	Clorpirifos 48%	1,00	Metolaclor 96%	0,60			Metolaclor 96%	0,60	Metribuzin 75%	0,50
Cipermetrina 25%	0,10	Cipermetrina 25%	0,10	Fomesafen 50%	1,00			Sulfentrazone 50%	0,80		
Triflumuron 48%	0,15	Triflumuron 48%	0,15					Metribuzin 75%	0,50		
Tiametoxan 14%	0,30	Tiametoxan 14%	0,30	Insecticidas	Dosis/ha	Insecticidas	Dosis/ha	Insecticidas	Dosis/ha	Insecticidas	Dosis/ha
Lambdacialotrina 10,6%	0,30	Lambdacialotrina 10,6%	0,30	Triflumuron 48%	0,09	Triflumuron 48 %	0,087	Triflumuron 48%	0,087	Triflumuron 48 %	0,09
Fungicida	Dosis/ha	Fungicida	Dosis/ha	Clorantranilprole 75	0,012	Bifentrin 7,5%	0,30	Clorantranilprole 75	0,012	Bifentrin 7,5%	0,30
Azoxiestrobina 20%	0,3	Azoxiestrobina 20%	0,3	Bifentrin 7,5%	0,30	Tiametoxan 11,5	0,30	Bifentrin 7,5%	0,300	Tiametoxan 11,5	0,30
Ciproconazole 80%	0,3	Ciproconazole 80%	0,3	Tiametoxan 11,5	0,30			Tiametoxan 11,5	0,300	Abamectina	0,10
				Fungicida	Dosis/ha	Fungicida	Dosis/ha	Abamectina	0,100		
Maíz				Azoxiestrobina 20%	0,30	Azoxiestrobina 20%	0,30	Fungicida	Dosis/ha	Fungicida	Dosis/ha
2,4 d amina	0,5			Ciproconazole 80%	0,30	Ciproconazole 80%	0,30	Azoxiestrobina 20%	0,30	Azoxiestrobina 20%	0,30
alfa metolaclor	1,5			Maíz				Ciproconazole 80%	0,30	Ciproconazole 80%	0,30
atrazina	2,5			Herbicidas	Dosis/ha						
Insecticidas Bt				2,4 d amina 48%	0,50			Maíz			
Clorpirifos 48	2,00			Glifosato 48	3,00			Herbicidas	Dosis/ha		
Triflumuron	0,18			S-metolachlor	0,99			2,4 d amina 48%	0,50		
Insecticidas no Bt				atrazina	2,50			Glifosato 48	3,00		
Clorpirifos 48	3			Insecticidas Bt				S-metolachlor	0,99		
Triflumuron	0,26			Clorpirifos 48	2,00			Bicidopirona	0,81		
Fungicida				Clorantranilprole 75	0,020			Insecticidas Bt			
Azoxiestrobina 20%	0,50			Triflumuron	0,18			Clorpirifos 48	1,00		
Ciproconazole 80%	0,50			Insecticidas no Bt				Clorantranilprole 75	0,010		
				Insecticidas				Triflumuron	0,086		
				Clorpirifos 48	3,00			Insecticidas no Bt			
				Clorantranilprole 75	0,029			Clorpirifos 48	3,00		
				Triflumuron	0,260			Clorantranilprole 75	0,0285		
				Fungicida				Triflumuron	0,26		
				Azoxiestrobina 20%	0,50						
				Ciproconazole 80%	0,50						