



Universidad de Valladolid
Campus de Palencia

**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR
DE INGENIERÍAS AGRARIAS**

Master U. en Ingeniería Agronómica

“Estudio sobre el control de malas hierbas en remolacha azucarera mediante un herbicida inhibidor de la acetolactato sintetasa y variedades tolerantes a este”

Alumna: Ana Montero Calavia

Tutor: Manuel Ángel García Zumel

Julio de 2017

ÍNDICE

1	RESUMEN	3
2	ANTECEDENTES	4
2.1	Importancia del cultivo de la remolacha azucarera	4
2.2	Evolución del cultivo de la remolacha azucarera	8
2.3	El uso de herbicidas y sus consecuencias	9
2.4	Organismos genéticamente modificados en Remolacha azucarera	10
2.5	Plantas tolerantes a herbicidas inhibidores de la enzima acetolactato sintetasa	11
3	OBJETIVOS	13
4	MATERIALES Y MÉTODOS.....	14
4.1	Localización geográfica y características de las parcelas de ensayo	14
4.2	Diseño experimental y manejo agronómico del ensayo	17
4.3	Muestreo y parámetros analizados	23
4.4	Análisis estadístico	23
5	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	25
5.1	Evolución de las malas hierbas en función de la variante aplicada.....	25
5.2	Composición florística de la cubierta en función de las variantes	26
5.3	Rendimientos de producción y su relación con la eficacia en el control de la mala hierba.....	27
5.4	Costes económicos de las variantes aplicadas	28
6	CONCLUSIONES	31

6.1	Eficacia de las diferentes variantes en el manejo de la mala hierba	31
6.2	Composición florística de la cubierta en función de las variantes	31
6.3	La producción y su relación con la eficacia en el control de la mala hierba.....	32
6.4	Costes económicos de las variantes aplicadas	32
7	BIBLIOGRAFÍA	33

1 RESUMEN

Durante el año 2016 se ha llevado a cabo en la provincia de Valladolid un ensayo con el objetivo de evaluar, desde un punto de vista agronómico y económico, la eficacia de un herbicida inhibidor de la acetolactato sintetasa (ALS) junto con variedades tolerantes a este, en el control de malas hierbas en remolacha azucarera. Este ensayo sigue un diseño con bloques al azar con cuatro repeticiones. Cada uno de los bloques o microparcels tiene aplicaciones de diferentes herbicidas y dosis: seis variantes (1-6) con herbicida inhibidor de la acetolactato sintetasa con diferentes dosis y momentos de aplicación y otras dos variantes con herbicidas usados de manera convencional en el cultivo, una con dosis más bajas (7) y otra con más altas (8).

La variante 6, en la cual se aplican 0,5 l/ha de inhibidor de la acetolactato sintetasa dos veces en estadios tempranos del cultivo y las malas hierbas (BBCH 10 y 14 del cultivo), es la más eficaz con una infestación de 1,67 individuos/m². También es el más interesante económicamente, obteniendo unos ingresos de 5.564,39€/ha tras descontar tratamientos herbicidas y costes de semilla, frente a los 3.605,28€/ha obtenidos por la variante 8, equivalente a los tratamientos utilizados actualmente.

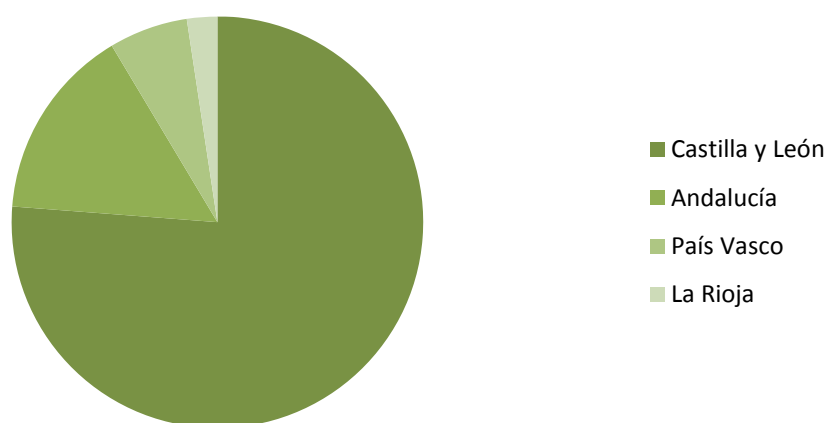
2 ANTECEDENTES

2.1 IMPORTANCIA DEL CULTIVO DE LA REMOLACHA AZUCARERA

Es importante a la hora de llevar a cabo un estudio, conocer la dimensión del sector en el que se va a llevar a cabo el experimento y consigo, la amplitud e importancia que toman los resultados del mismo a la hora de aportar tanto información como herramientas o soluciones dentro de la temática en la que se trabaja, en este caso, el manejo de malas hierbas en el cultivo mediante un herbicida ALS.

En 2016, en España, se destinaron 32.596 hectáreas a este cultivo, de las cuales, 22.512 ha estaban en Castilla y León, 6.500 ha en Andalucía, 2.656 ha en País Vasco y 1.018 ha en La Rioja (MAPAMA, 2016).

Ilustración 1. Superficie destinada al cultivo de remolacha azucarera en España por comunidades. (MAPAMA, 2016)

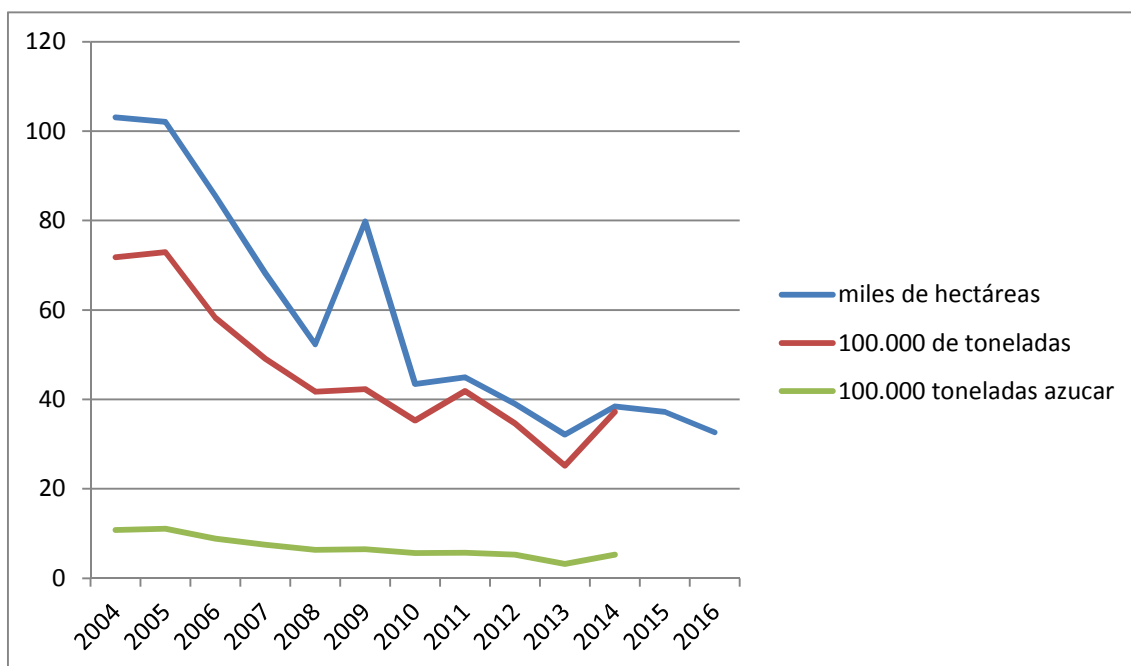


Desde las 104.959,2 ha que se cultivaron en 2004 hasta las actuales 32.596 ha ha habido un descenso del 68,95% (MAPAMA, 2016), este marcado descenso se debe en gran medida a la OCM única.

La Organización Común de Mercados Agrícolas, más conocida como la OCM única es una herramienta para equilibrar los mercados de veintiún productos o grupos de productos agrícolas. Pertenece al primer pilar de la Política Agraria Común y en el sector del azúcar entro en vigor en la campaña 2008/9, aunque se hizo notar desde la campaña 2005, cuando se firmaron los acuerdos pertinentes (ver Ilustración 2).

El mercado del azúcar se liberará el 30 de Septiembre de 2017, dejando vía libre a los diferentes países comunitarios para competir en un mercado libre, con la incertidumbre que esto conlleva. Ante esta situación se hacen necesarias todas las herramientas que puedan hacer más rentable el cultivo.

Ilustración 2. Serie histórica de superficie, producción y productos elaborados (MAPAMA, Anuario de estadística 2015)



Según lo regulado en la OCM única, del total de las 13,5 millones de toneladas de azúcar de cuota que produce la Unión Europea, España tiene otorgadas 498.480 t. Al mismo tiempo, el consumo nacional es de 1.300.000 t, es decir, somos deficitarios, por lo que el resto del azúcar se importa de terceros países (European Commission, 2017). Esto constituye una oportunidad en la nueva escena mercantil.

Ilustración 3. Superficie de remolacha azucarera respecto al total agrícola (porcentaje). (FAOSTAT, 2011)

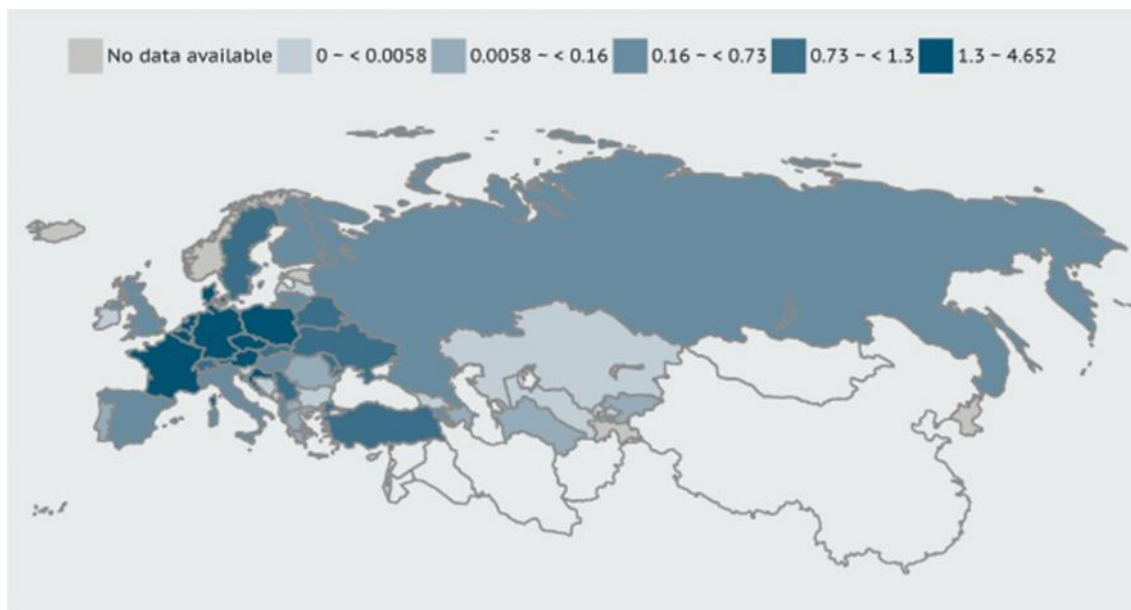
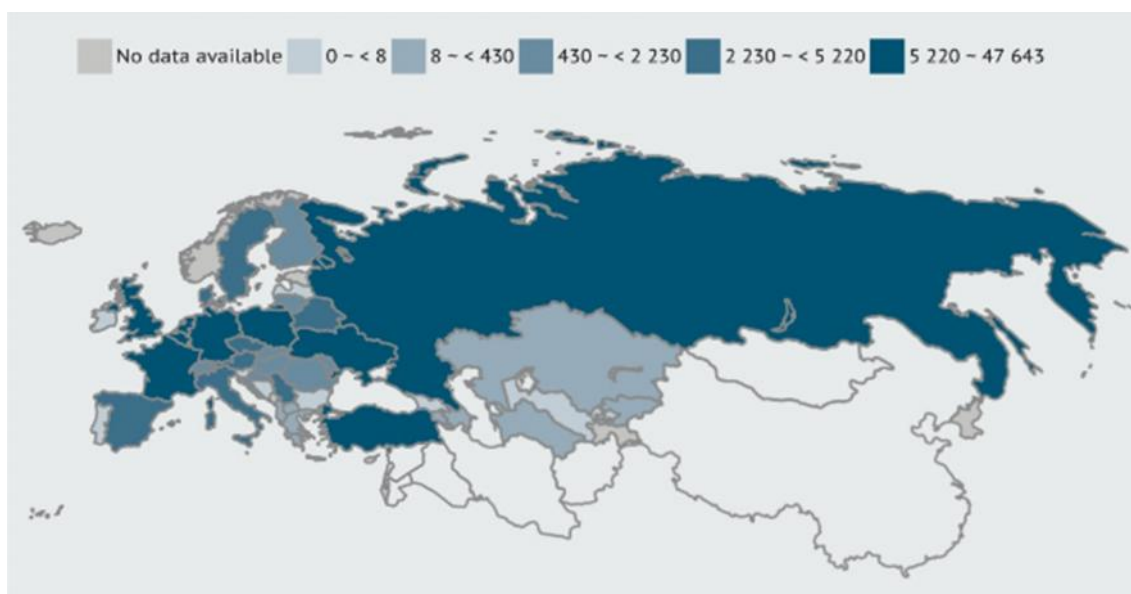


Ilustración 4. Producción de azúcar (miles de toneladas). (FAOSTAT, 2011)



A nivel mundial, la Unión Europea produce aproximadamente el cincuenta por ciento del total de azúcar. Aun que, solo el 20% del azúcar mundial proviene de la remolacha azucarera, el restante es producido a partir de la caña de azúcar (FAO, 2014). En las siguientes ilustraciones se observa la distribución a nivel mundial del cultivo. En base a estos gráficos queda claro que España no es un país significativo en cuanto a superficie cultivada pero si en rendimiento, lo que supondría una ventaja productiva.

Ilustración 5. Producción de remolacha azucarera (hectáreas). (FAOSTAT, 2011)

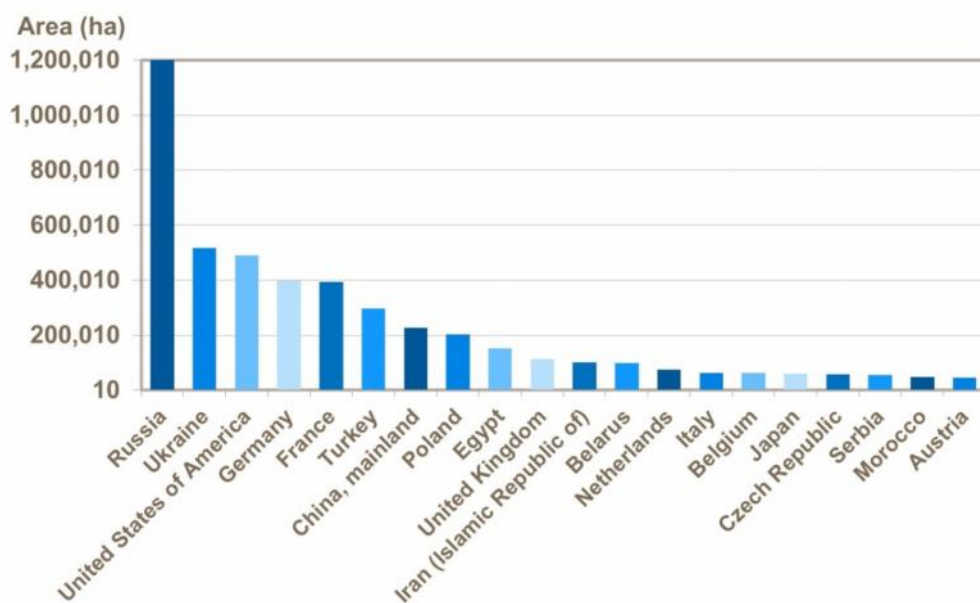
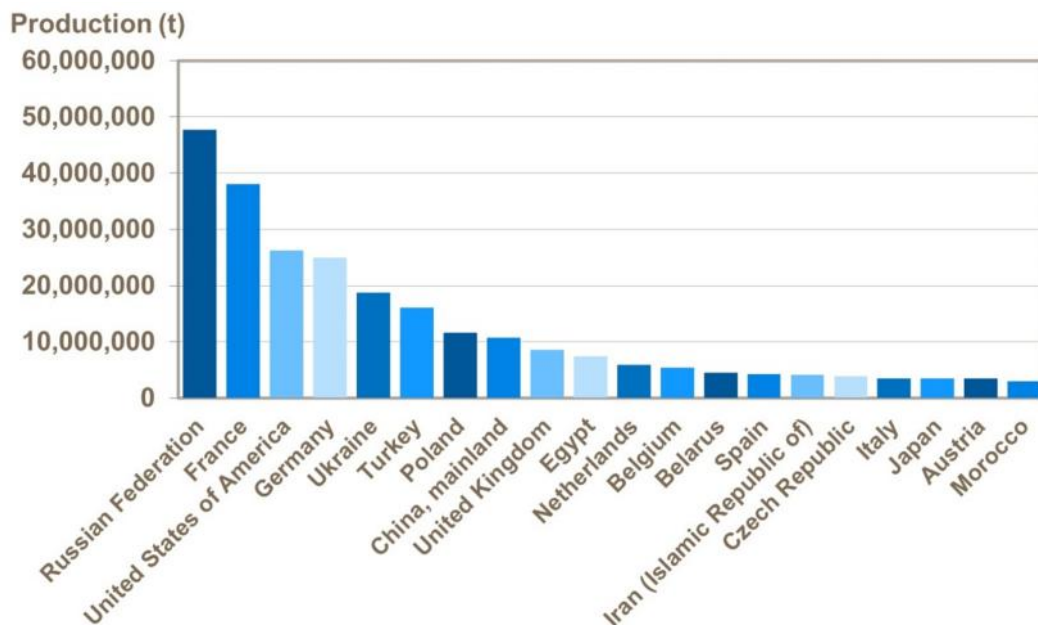


Ilustración 6. Producción de remolacha azucarera (toneladas). (FAOSTAT, 2011)



2.2 EVOLUCIÓN DEL CULTIVO DE LA REMOLACHA AZUCARERA

La remolacha azucarera, al igual que muchos cultivos, ha sufrido una evolución positiva en rendimiento a lo largo del tiempo. En el último siglo, en España, se ha pasado de unas diez toneladas por hectárea a unas noventa de media (ver ilustraciones 7 y 8).

Ilustración 7. Serie histórica de rendimientos 1900 a 2010 (MAPAMA, 2012)

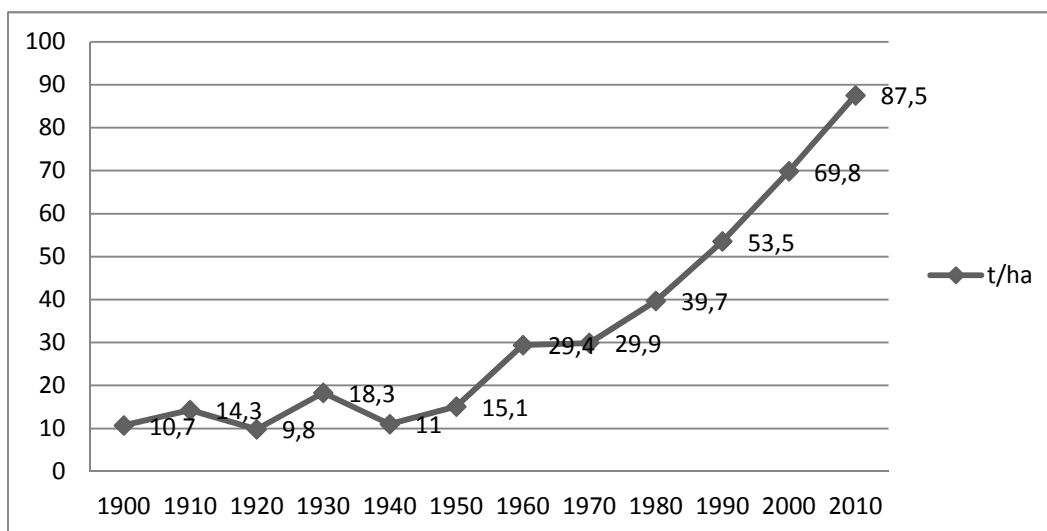
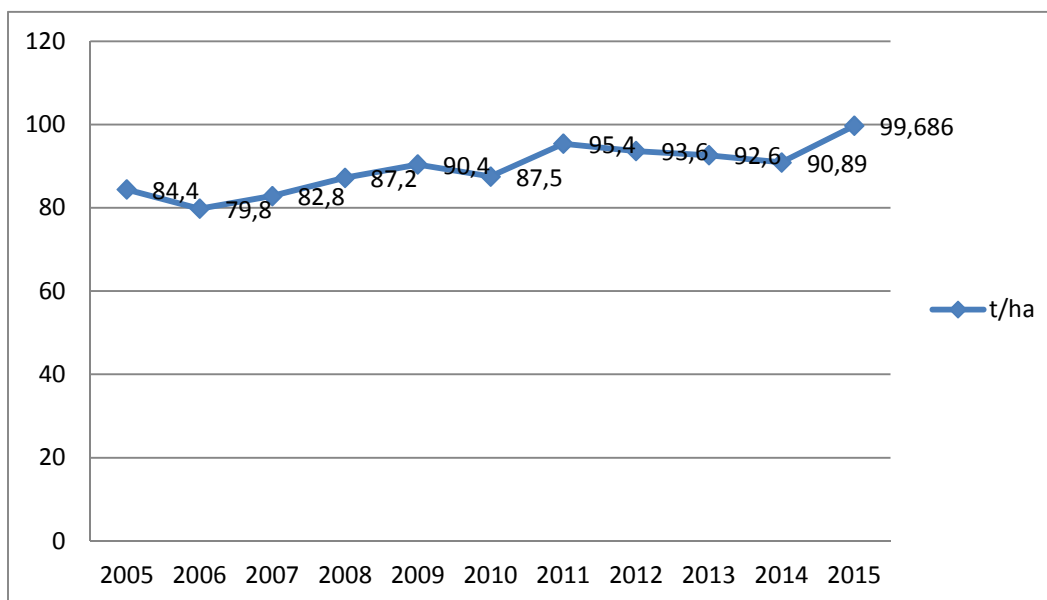


Ilustración 8. Serie histórica de rendimientos de 2005 a 2015 (MAPAMA, 2006 a 2016)



El aumento de rendimiento es fruto de la tecnificación del cultivo. Es decir, a la mecanización de labores como la siembra, arranque, la proliferación del uso de herbicidas y la preparación de los profesionales.

2.3 EL USO DE HERBICIDAS Y SUS CONSECUENCIAS

En la década de los sesenta, en España, comenzaron los ensayos con herbicidas de preemergencia. Con el paso del tiempo, el uso de los herbicidas en preemergencia y más tarde en post emergencia proliferó. En el año 2016, las ventas en agroquímicos alcanzaron la suma de \$EEUU 49.920 millones (Agrow, 2017).

Actualmente en la UE hay un total de 1.359 materias activas registradas, de las cuales, solo 491 están aprobadas y 32 están pendientes de resolución (European Commission, 2017). Esta reducción escalonada de las materias activas a disposición de los profesionales, unida al hecho de que no se han registrado nuevas materias activas para la remolacha azucarera en las últimas décadas, ha derivado en un problema en cuanto a manejo de malas hierbas por el uso reiterado de las mismas materias activas, creando así resistencias.

La resistencia a los herbicidas es la capacidad que han desarrollado las poblaciones de malas hierbas previamente susceptibles a un cierto herbicida para resistir a ese compuesto y completar su ciclo biológico cuando el herbicida es aplicado en sus dosis normales (Heap y Lebaron, 2001).

El factor más importante en la evolución de la resistencia a un herbicida es la presión de selección que impone este (Jasienuk *et al.*, 1996). La mayor presión de selección se impone cuando se usan altas dosis de herbicidas de compuestos altamente efectivos y/o persistentes y cuando su aplicación es frecuente. A medida que se incrementa la tasa de mortalidad también aumenta la tasa de presión de selección que se impone con el herbicida. Por lo tanto, las poblaciones de malas hierbas resistentes pueden ser consideradas como un caso de rápida evolución (Reznick y Cameron, 2001).

El primer caso de resistencia a los herbicidas (al 2,4-D) fue constatado por Hilton (1957), pero la resistencia de las malas hierbas a los herbicidas solo comenzó a ser reconocida cuando Ryan (1970) informó sobre el primer caso de resistencia a la triazina en *Senecio vulgaris* (Valverde, 2002). El primer caso detectado en España fue una resistencia a un inhibidor de la fotosíntesis II en *Panicum dichotomiflorum* en el año 1981. Actualmente hay 37 casos de malas hierbas resistentes a herbicidas en este país, y 479 a nivel mundial (Heap, 2017) (ver Ilustración 9).

Ilustración 9. Número de casos únicos globales de resistencia a herbicidas (Heap, 2017)



2.4 ORGANISMOS GENÉTICAMENTE MODIFICADOS EN REMOLACHA AZUCARERA

Un organismo genéticamente modificado (OGM), también llamado transgénico, es un organismo cuyo material genético ha sido alterado usando técnicas de ingeniería genética. El material genético se modifica artificialmente para darle una nueva propiedad, por ejemplo, la resistencia de una planta a una enfermedad, insecto o sequía, tolerancia a un herbicida o mejorar la calidad de un alimento o el valor nutricional de este (European Commission, 2017).

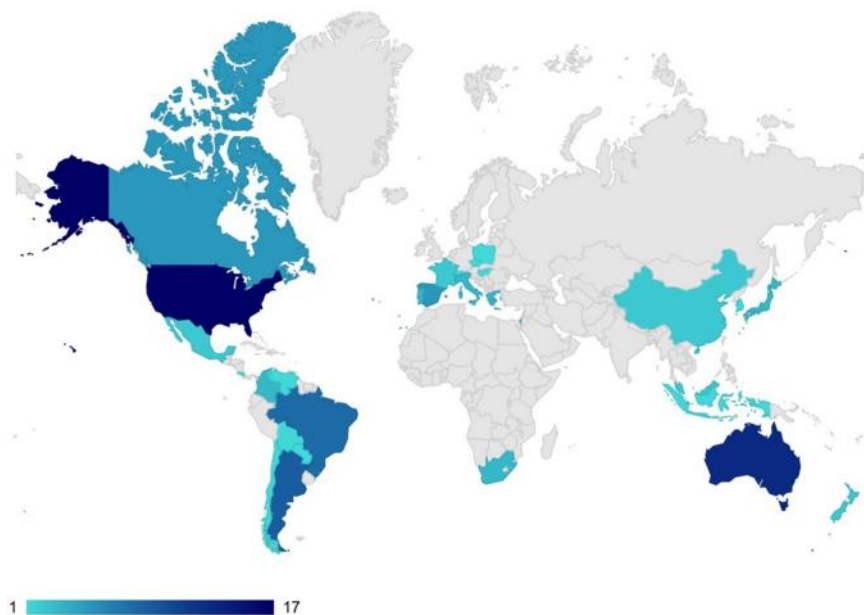
En el caso de la remolacha azucarera esta tecnología se planteó como una manera de atajar los problemas de resistencias con los herbicidas convencionales o tradicionalmente empleados, a la vez que simplificar los tratamientos herbicidas y con ello abaratar los costes del cultivo.

En Estados Unidos, en el año 2005, tras un informe medioambiental, se aprobó el uso de estas variedades. Cuatro años después, el 95% de la remolacha estadounidense era OGM o RR (Roundup Ready), como se conoce comúnmente. Roundup es el nombre comercial del glifosato producido por Monsanto, cuya patente expiró en el año 2000 (McGinnis *et al.*, 2010). En el año 2010, se detectó el primer caso de resistencia a los inhibidores de la EPSPS en el cultivo de la remolacha azucarera en *Amaranthus tuberculatus* en EE.UU. En la actualidad, hay un total de cuatro casos en este cultivo, todos ellos en EE.UU. (Heap, 2017).

En España, en 1997, tras años de investigación y desarrollo, se realizaron los primeros ensayos con plantas de remolacha transgénicas tolerantes a glufosinato. Las presiones de grupos no partidarios de esta tecnología y sucesivas moratorias comunitarias provocaron que se abandonara esta vía de investigación.

Actualmente, ya se han descrito casos de resistencia al glifosato que afectan a 37 especies de malas hierbas a nivel mundial (Heap, 2017).

Ilustración 10. Casos globales de resistencia a los inhibidores de la enzima EPSPS (glifosato) (Heap, 2017)



2.5 PLANTAS TOLERANTES A HERBICIDAS INHIBIDORES DE LA ENZIMA ACETOLACTATO SINTETASA

Ante la imposibilidad de comercializar las variedades OGM en la Unión Europea, los desarrolladores se centraron en líneas de investigación que no incluyesen modificación genética, esta línea de investigación en concreto se viene desarrollando desde el año 2001.

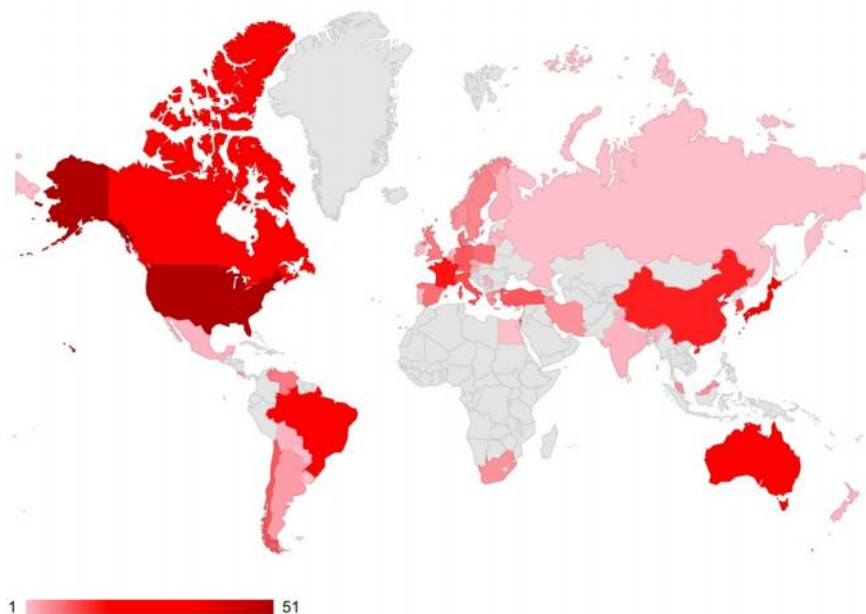
El sistema Conviso®Smart, desarrollado por KWS SAAT en colaboración con BAYER, se basa en unas variedades tolerantes a herbicidas inhibidores de la acetolactato sintetasa junto con un herbicida de esta clase (50 g Foramsulfuron + 30 g Thiercarbazono-methyl por litro).

Esta tecnología es similar o se basa en los mismos principios que las ya comerciales Clearfield® o ExpressSun®. Se basan en el hallazgo o detección de cierta tolerancia a herbicidas ALS en células o individuos del cultivo, asegurar esta resistencia creando un donante, y después cruzar de manera natural con las líneas “elite”, variedades o líneas comerciales muy productivas, para obtener individuos altamente productivos que contengan la tolerancia.

En el año 2004 aparecían en el mercado español las variedades Clearfield® para el cultivo del girasol, a este cultivo le ha seguido el arroz y por último la colza hace apenas dos años.

Por desgracia, estos herbicidas son conocidos por su capacidad para seleccionar poblaciones resistentes (Tranel y Write, 2002). Actualmente, de los 479 casos de resistencias a nivel global, 158 son a este tipo de herbicidas (Heap, 2017).

Ilustración 11. Casos globales de resistencia a los inhibidores de la enzima ALS (Heap, 2017)



La proliferación de cultivos manejados mediante inhibidores de ALS, puede acelerar el proceso de aparición de resistencias, siempre que no se maneje de manera adecuada esta tecnología (Rosa y Urbano, 2015).

3 OBJETIVOS

Objetivos generales:

- Evaluar la eficacia de la nueva tecnología Conviso®Smart

Objetivos específicos:

- Estudiar el nivel e infestación de malas hierbas en función de la variante aplicada.
- Estudiar la relación entre la eficacia en el control de la mala hierba y los rendimientos productivos.
- Establecer un balance entre la eficacia en el control de la mala hierba y los beneficios de cada variante.
- Decidir en función de los resultados, que manejo es el más adecuado para controlar la mala hierba.

4 MATERIALES Y MÉTODOS

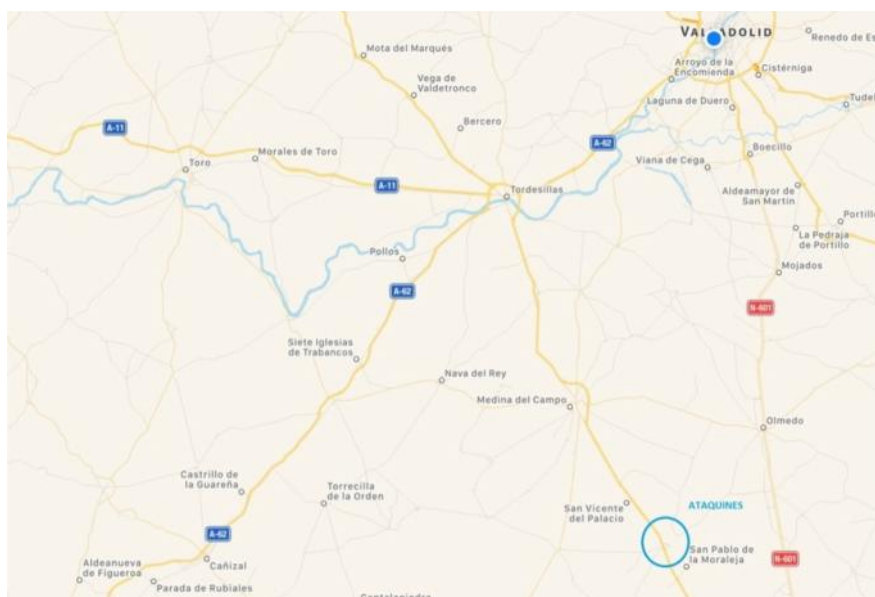
4.1 LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA Y CARACTERÍSTICAS DE LAS PARCELAS DE ENSAYO

El estudio se realizó durante el año 2016, llevando a cabo un experimento en la localidad de Ataquines, Valladolid (ver Ilustración 12 y 13), concretamente en el polígono 6, parcela 1 (ver Ilustración 14). Gracias al nuevo sistema GIS CartoDroid desarrollado por el Instituto Tecnológico Agrario de la Junta de Castilla y León se puede llegar hasta la parcela solo con estas referencias.

Ilustración 12. Mapa de Castilla y León (Consejo Regional de Cámaras de Castilla-León)



Ilustración 13. Localización del ensayo (APPLE MAPS)



El ensayo se estableció en una parcela con alta infestación de malas hierbas en años anteriores, dentro de la parcela del agricultor, sin alterar las actividades de este, excepto los tratamientos herbicidas, la siembra y el arranque, que se realizaron con maquinaria específica (ver Ilustración 14).

Ilustración 14. Localización del ensayo dentro de la parcela de Ataquines. Polígono 6, parcela 1 (Sigpac, JCYL).



El clima en la localidad es cálido y templado. Hay más precipitaciones en invierno que en verano, la media anual de temperatura es de 12,1°C y la precipitación media anual es de 383 mm (ver diagramas 1 y 2).

Diagrama 1. Climograma de Ataquines

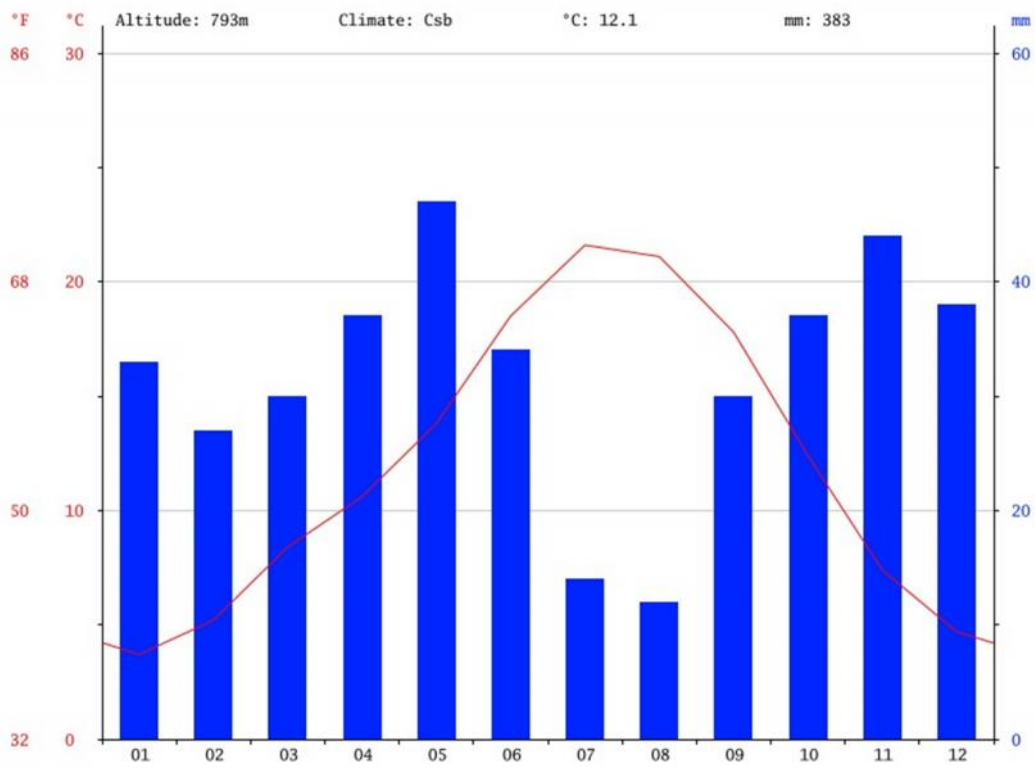
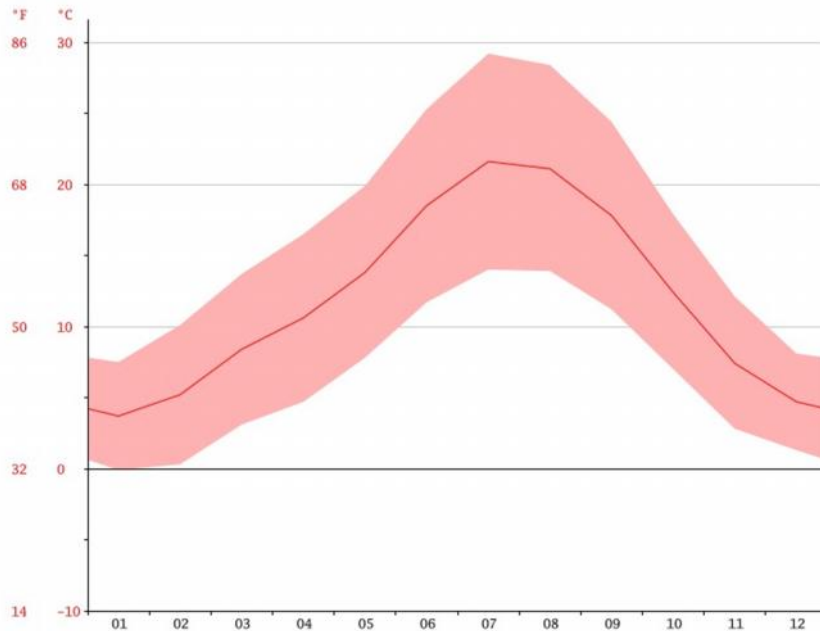


Diagrama 2. Diagrama de temperatura de Ataquines



4.2 DISEÑO EXPERIMENTAL Y MANEJO AGRONÓMICO DEL ENSAYO

Se definió un diseño en bloques al azar, con cuatro repeticiones por tratamiento, los cuales son:

- T1: Tratamiento con herbicida inhibidor de la acetolactato sintetasa a 1 l/ha en 14 BBCH (Agroes, 2017).
- T2: Tratamiento con herbicida inhibidor de la acetolactato sintetasa en dos aplicaciones de 0,5 l/ha cada una en 14 y 16 BBCH.
- T3: Tratamiento con herbicida inhibidor de la acetolactato sintetasa a 1 l/ha más Etofumesato 50% a 0,33 l/ha en 14 BBCH.
- T4: Tratamiento con herbicida inhibidor de la acetolactato sintetasa en dos aplicaciones de 0,5 l/ha más 1 l/ha de aceite cada una en 14 y 16 BBCH.
- T5: Tratamiento con herbicida inhibidor de la acetolactato sintetasa a 1 l/ha antes de 40 BBCH.
- T6: Tratamiento con herbicida inhibidor de la acetolactato sintetasa en dos aplicaciones de 0,5 l/ha cada una en 10 y 14 BBCH.
- T7: Tratamiento herbicida con materias activas de uso convencional en el cultivo en varias aplicaciones dosis bajas (preemergencia, dos post emergencias y sellado).
- T8: Tratamiento herbicida con materias activas de uso convencional en el cultivo en varias aplicaciones con dosis altas (preemergencia, dos post emergencias y sellado).

Tabla 1. Resumen de las variantes en el experimento

Variantes	O	A	B	C	D
	preemerg.	1ª post	2ª Post	3ª Post	sellado
T1 ALS (tardío)				1 l/ha ALS	
T2 ALS + ALS (mediano)			0,5 l/ha ALS	0,5 l/ha ALS	
T3 ALS + Etofumesato (mediano)			1 l/ha ALS + 0,33 l/ha Etofumesato 50%		
T4 ALS + ALS (mediano con aceite)			0,5 l/ha ALS + 1 l/ha aceite	0,5 l/ha ALS + 1 l/ha aceite	
T5 ALS (tardío con aceite)					1 l/ha ALS + 1 l/ha aceite
T6 ALS + ALS (temprano)		0,5 l/ha ALS	0,5 l/ha ALS		
T7 Convencional DB	*	*	*		*
T8 Convencional DA	**	**	**		**

* ir a la tabla de programa de tratamiento convencional DB (ver Tabla 2 DB)

**ir a la tabla de programa de tratamiento convencional DA (ver Tabla 2 DA)

ALS (herbicida inhibidor de la acetolactato sintetasa): Foramsulfuron 50g + Thiencazabone-methyl 30g

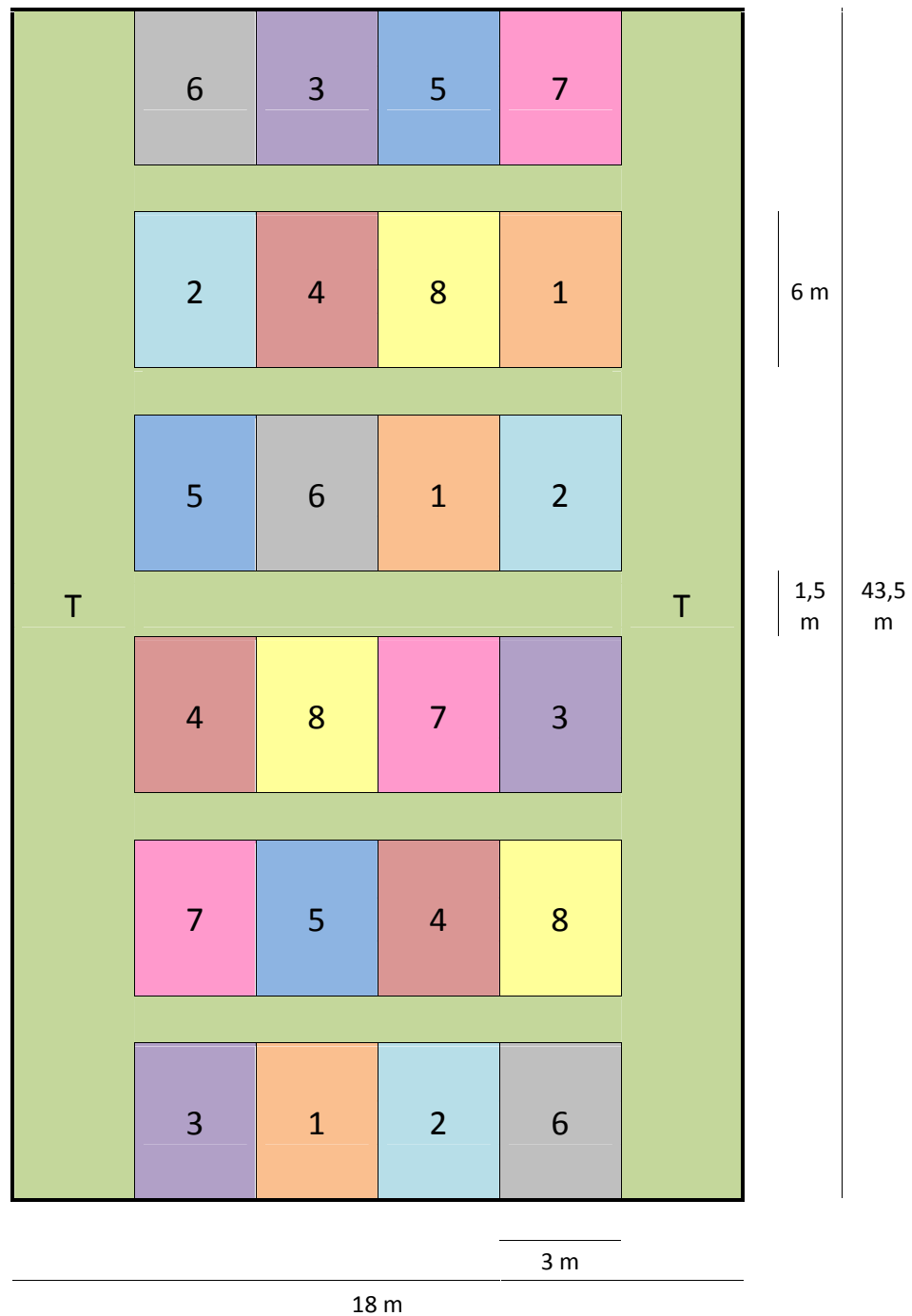
Aceite: 90% Isodecil alcohol etoxilado (Trend 90)

Tabla 2. Variantes 8 y 9 del experimento

7. Convencional Dosis Bajas (DB)		8. Convencional Dosis Altas (DA)	
Dosis (l/ha)	Materia Activa	Dosis (l/ha)	Materia Activa
O Pre-emergencia		O Pre-emergencia	
1,125	Metamitrona 70%	1,875	Metamitrona 70%
0,750	Cloridazona 65%	1,25	Cloridazona 65%
0,375	Etofumesato 50%	0,625	Etofumesato 50%
A 1º Post-emergencia		A 1º Post-emergencia	
0,75	Fenmedifam 16%	1,25	Fenmedifam 16%
0,75	Metamitrona 70%	1,25	Metamitrona 70%
0,375	Etofumesato 50%	0,625	Etofumesato 50%
0,075	Clopiralida 42,5%	0,125	Clopiralida 42,5%
B 2º Post-emergencia		B 2º Post-emergencia	
1,5	Fenmedifam 16%	2,5	Fenmedifam 16%
1,5	Metamitrona 70%	2,5	Metamitrona 70%
0,75	Etofumesato 50%	1,25	Etofumesato 50%
0,1125	Clopiralida 42,5%	0,1875	Clopiralida 42,5%
D Sellado		D Sellado	
0,5625	Lenacilo 50%	0,9375	Lenacilo 50%
0,375	S-Metolacloro 96%	0,625	S-Metolacloro 96%

Las dimensiones totales de la prueba fueron de 18 m de ancho por 43,5 m de alto, teniendo en cuenta el perímetro de control que lo rodea (ver Ilustración 18). Cada microparcela tenía unas dimensiones de 6 m de largo por 6 surcos de ancho, es decir 3 m.

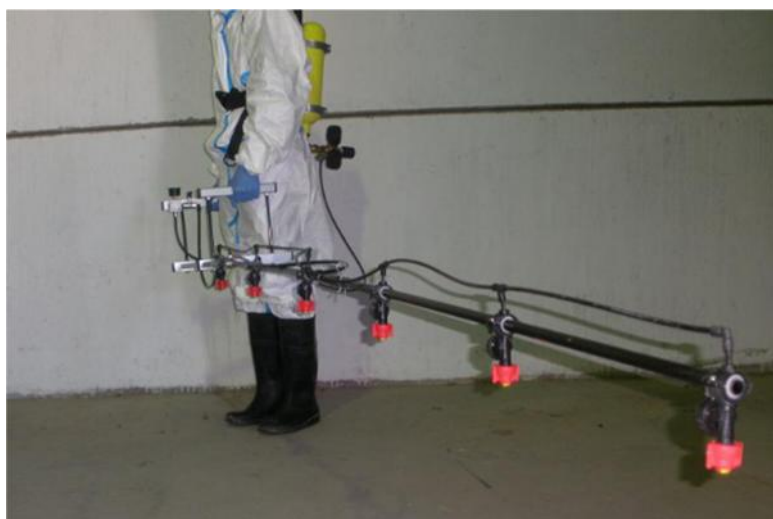
Ilustración 15. Croquis del ensayo



La siembra se realizó el 30 de marzo de 2016, con una sembradora de precisión MONOSEM modificada para ensayos, a una densidad de siembra de 116.000 semillas/ha, con una única variedad Conviso®Smart facilitada por KWS SAAT.

Las aplicaciones herbicidas se realizaron con un equipo de pulverización portátil para experimentación agrícola, con una barra de tratamiento de 3 m con seis porta-boquillas anti-goteo, filtro de malla y boquillas ALBUZ ADE 110. Trabaja con aire comprimido a una presión máxima de 3 bares (ver ilustración 16).

Ilustración 16. Equipo de pulverización para experimentación agrícola



En las siguientes tablas se muestra el momento de cada tratamiento y las condiciones meteorológicas de estos.

Tabla 3. Tratamientos realizados en el ensayo de Ataquines

ATAQUINES	O	A	B	C	D
	preemerg.	1ª post	2ª Post	3ª Post	sellado
1 ALS (tardío)				24/05/2016	
2 ALS + ALS (mediano)			16/05/2016	24/05/2016	
3 ALS + Etofumesato (mediano)			16/05/2016		
4 ALS + ALS (mediano con aceite)			16/05/2016	24/05/2016	
5 ALS (tardío con aceite)					07/06/2016
6 ALS + ALS (temprano)		27/04/2016	16/05/2016		
7 Convencional normal	06/04/2016	27/04/2016	16/05/2016		07/06/2016
8 Convencional fuerte	06/04/2016	27/04/2016	16/05/2016		07/06/2016

Tabla 4. Condiciones climáticas en Ataquines

ATAQUINES							
Fecha	Temp (°C)	Temp mín. (°C)	Temp máx. (°C)	Nubes	Lluvias (mm)	Viento	Estadio cultivo
06/04/2016	6,00	0,42	16,00	soleado	0,4	calma	BBCH 00
27/04/2016	8,00	5,93	17,20	soleado	0,0	calma	BBCH 10
16/05/2016	17,00	5,00	20,00	soleado	0,0	calma	BBCH 14
24/05/2016	19,00	10,00	24,00	nuboso	1,0	calma	BBCH 16
07/06/2016	25,00	12,00	31,00	soleado	0,0	calma	BBCH 18

Entre bloques se dejó 1,5 m de control que se eliminó de forma mecánica al finalizar las valoraciones con un New Holland con fresadora de 1,5 m, debido a los requerimientos de la maquinaria para el arranque final de las raíces. Este se realizó con una arrancadora Barilleli de un surco modificada, con cámara de descarga, lavadora, tapiz de peso y raspa para tomar todos los datos necesarios sobre producción y calidad (ver ilustración 17).

Ilustración 17. Cosechadora Barilleli modificada para experimentación agrícola



Los costes se han calculado como si las acciones se hubieran llevado a cabo con maquinaria ordinaria.

Ilustración 18. Ensayo de Ataques a 30 de mayo de 2016



Ilustración 19. Ensayo de Ataques a 30 de mayo de 2016 (2)



4.3 MUESTREO Y PARÁMETROS ANALIZADOS

Eficacia de los herbicidas

El inventario de especies se realizó 7 días después de cada tratamiento aislado, más otro global de todas las variantes a los 15 días de haber realizado el último tratamiento. Para cada muestreo se utilizó un aro de 0,1 m² lanzado 10 veces de manera aleatoria para obtener una muestra de 1 m².

Para la identificación se utilizó el libro “Malas hierbas en plántula: guía de identificación” (Recansens et al, 2009) y “A handbook of weed seedlings” (Hamouz et al, 2016).

Los parámetros estimados han sido:

- Nivel de la infestación: muestreos en plantas/m²
- Inventarios florísticos

Rendimiento productivo

El 3 de diciembre de 2016 se llevó a cabo el arranque del ensayo con una Barilleli de un surco adaptada. De cada microparcela de 3 metros de ancho y 6 m de largo, se arrancaron los cuatro surcos centrales, 2 m de ancho, y 5 metros de largo, evitando así el posible efecto del solape de tratamientos y el efecto borde.

Los parámetros estimados han sido:

- Peso en kg/microparcela
- Polarización en grados brix
- Alfaminos, sodio y potasio para obtener el rendimiento industrial

4.4 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

A fin de evaluar la eficacia de cada tratamiento se tuvo en cuenta el nivel de infestación, en plantas/m², entendiéndose por mayor eficacia la menor presencia de plantas.

A partir de los datos obtenidos del arranque se calculó: producción en t/ha, polarización en grados brix, azúcar en kg/ha y rendimiento industrial en porcentaje. Se entiende como la variante más productiva la que mayor azúcar obtenga.

Para el tratamiento estadístico de los resultados se ha utilizado el programa EXCEL de WINDOWS, la comparación entre variantes se ha realizado mediante ANOVA.

A partir de los inventarios florísticos realizados en cada microparcela y para analizar la composición de especies de cada variante, se realizó un análisis de correspondencia canónica (CCA) con el programa CANOCO 5.0.

5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1 EVOLUCIÓN DE LAS MALAS HIERBAS EN FUNCIÓN DE LA VARIANTE APLICADA

El control de las malas hierbas ha mostrado una eficacia desigual en función de la variante aplicada (ver tabla 6). Las variantes de la uno a la cinco, en las que se aplicó herbicida inhibidor de la acetolactato sintetasa, a excepción de la variante 6, han resultado ser las menos eficaces con infestaciones superiores a 15 individuos/m². Siendo las variantes 1 y 3 las menos eficaces de todas con una infestación de 47,67 individuos/m². La variante 6, en la cual se aplica 1 l/ha de herbicida inhibidor de la acetolactato sintetasa dividido en dos aplicaciones tempranas, se muestra como la más eficaz con una infestación de 1,67 individuos/m², un 92,77% inferior a la media del ensayo y un 199,64% menor que la variante con peor resultado respecto a la media del ensayo. A este resultado, le siguen las variantes convencionales (7-8), con una infestación de 6,67 individuos/m² para la dosis alta (8) y una de 10,00 individuos/m² para la dosis baja (7).

Tabla 5. Estudio estadístico de la infestación de malas hierbas en individuos/m² por variantes, ordenado de más a menos eficaz

Variante	Individuos/m ²	Valor 100
6	1,67	7,23
8	6,67	28,93
7	10,00	43,40
4	15,33	66,55
2	25,33	109,95
5	30,00	130,20
1	47,67	206,87
3	47,67	206,87
Media	23,04	100,00
CV	26,93	
DS	5,07	
DSM	20,97	
Significación	0,1	

El estudio estadístico de los resultados muestra que las variantes son estadísticamente diferentes ($P < 0,001$), con una media de infestación de 23,04 individuos/m² y un coeficiente de variación de 26,93 atribuible a la distribución no homogénea de las malas hierbas.

5.2 COMPOSICIÓN FLORÍSTICA DE LA CUBIERTA EN FUNCIÓN DE LAS VARIANTES

En los conteos realizados se contabilizaron quince especies, de las cuales siete mostraron una presencia anecdótica por lo que se excluyeron del análisis de correspondencia canónica. Estas especies fueron las siguientes: *Anthemis apus*, *Carduus tenuiflorus*, *Chenopodium vulvaria*, *Fumaria officinalis*, *Lolium perenne*, *Sinapis alba* y *Veronica persica*.

El análisis correspondencia canónica (diagrama 3 y tabla 7) ha revelado que la distribución de las especies en función del manejo es significativamente mayor que si dicha distribución fuera al azar ($P=0,002$). El primer eje, el horizontal, explica el 44% de la distribución, mientras que el segundo, el vertical, solo un 13%.

Por un lado, no se ven grandes diferencias entre las variantes debido a que son en su gran mayoría el mismo herbicida en diferentes dosis y momentos de aplicación, por lo que no varía el modo de acción, excepto en el caso de las variantes 7 y 8 que tienen otras materias activas y con ello otros modos de acción.

En el caso de *Chenopodium album* si se ve una preferencia marcada por las variantes con herbicida inhibidor de la acetolactato sintetasa (M1-M6), debido seguramente a las resistencias de esta especie a este tipo de herbicidas (Heap, 2017).

Diagrama 3. Análisis CCA de las distintas especies presentes en el ensayo y su afinidad a cada variante

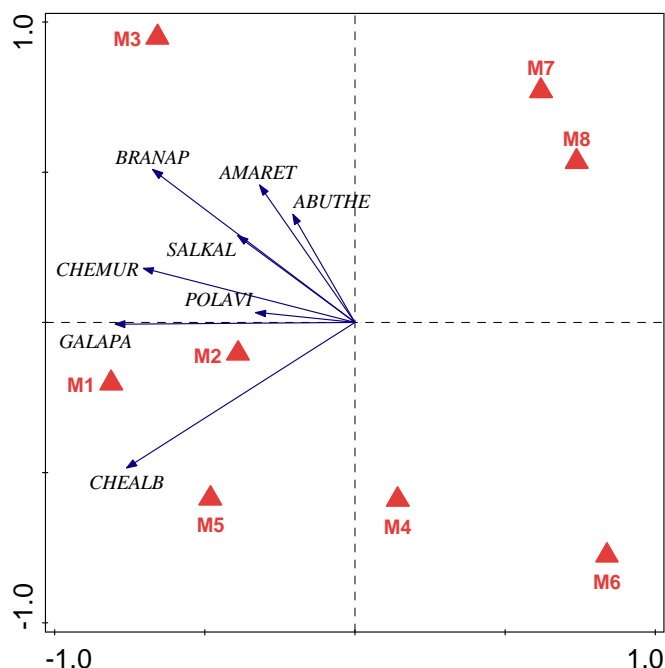


Tabla 6. Leyenda de especies del diagrama 3

Abreviatura	Especie
ABUTHE	<i>Abutilon Theophrasti</i>
AMARET	<i>Amaranthus retroflexux</i>
BRANAP	<i>Brassica napus</i>
CHEALB	<i>Chenopodium album</i>
CHEMUR	<i>Chenopodium murale</i>
GALAPA	<i>Galium aparine</i>
POLAVI	<i>Polygonum aviculare</i>
SALKAL	<i>Salsola Kali</i>

5.3 RENDIMIENTOS DE PRODUCCIÓN Y SU RELACIÓN CON LA EFICACIA EN EL CONTROL DE LA MALA HIERBA

Los rendimientos muestran una producción desigual en función de la variante aplicada (ver tabla 7). La variante 1 ha obtenido claramente la peor producción, con 8942 kg/ha de azúcar, un 46,9% menos que la media. Las variantes 5 y 7, siguen a la primera aunque con unas producciones algo mejores, 13.626 y 14.603 kg/ha, igualmente estas están por debajo de la media del ensayo. Después, las variantes 2 y 8, con resultados similares, 15.870 y 16.081 kg/ha, aún por debajo de la media, 5 puntos. Las tres variantes con mejor resultado son la 3, 4 y 6, las dos primeras con 19.994 y 21.535 kg/ha y la última diferenciada con 24.136 kg/ha.

No se observan grandes variaciones en la polarización, no así en el peso que es el que diferencia las variantes.

Tabla 7. Estudio estadístico de la producción por variantes, ordenado de más a menos productivo

Variante	Peso t/ha		Polarización °Bx		Azúcar kg/ha		Rend. Indust. %	
	1	2	1	2	1	2	1	2
6	159,9	149,8	15,0	95,2	24136	143,3	79,6	96,4
4	131,4	123,0	16,4	103,9	21535	127,8	83,8	101,4
3	125,0	117,0	16,0	101,4	19994	118,7	85,5	103,4
8	104,4	97,8	15,4	97,6	16081	95,4	84,0	101,7
2	98,2	91,9	16,2	102,4	15870	94,2	83,0	100,5
7	90,3	84,6	16,1	102,2	14603	86,7	84,0	101,7
5	87,8	82,2	15,5	98,2	13626	80,9	80,9	97,9
1	57,2	53,6	15,6	99,0	8942	53,1	80,1	96,93
Media	106,8	100,0	15,78	100,0	16.848	100,0	82,6	100,0
CV	14,01		2,66		15,78		2,25	
C.Det.	0,88		0,66		0,84		0,67	
LC	12,22		0,34		2.170		1,52	
MDS	19,64		0,37		3.488		1,64	
Significación	0,001		0,05		0,001		0,05	

El estudio estadístico de los resultados muestra que las variantes son estadísticamente diferentes.

5.4 COSTES ECONÓMICOS DE LAS VARIANTES APLICADAS

La tabla 9 nos muestra los ingresos que se obtendrían en cada variante en euros por hectárea, teniendo cuenta que la industria paga en base a toneladas tipo, es decir, toneladas a 16 °Bx. Se puede observar como hay una gran diferencia entre el mejor y el peor resultado, de aquí la importancia de realizar un buen control de malas hierbas.

Tabla 8. Ingresos brutos de cada variante en base a las producciones obtenidas en €/ha

Variante	Peso bruto t/ha	Polarización °Bx	Peso a 16°Bx		Ingresos	
			índice	t/ha a 16°Bx	Precio €/t	TOTAL €
6	159,9	15,0	90,5	144,74	42,00	6079,07
4	131,4	16,4	103,6	136,10		5716,03
3	125,0	16,0	100,0	124,97		5248,60
8	104,4	15,4	94,5	98,66		4143,64
2	98,2	16,2	101,8	99,93		4197,21
7	90,3	16,1	100,9	91,15		3828,15
5	87,8	15,5	95,5	83,87		3522,55
1	57,2	15,6	96,4	55,17		2317,26

En la siguiente tabla se ven los costes de la aplicación herbicida y la semilla tolerante por variante en euros por hectárea. Se puede ver como las variantes con tratamiento herbicida inhibidor de la acetolactato sintetasa (1-6) son más económicas y no varían en grandes cantidades. Por otra parte, las variantes con herbicidas convencionales (7-8) son menos económicas, ambas tienen un coste superior en cuanto a maquinaria por tener 4 aplicaciones en vez de una o dos como las otras variantes y mayor consumo de herbicidas (ver Anejo II. Tablas).

Tabla 9. Costes de los tratamientos herbicidas y las semillas en función de cada variante en €/ha

Variante	Equipo de tratamiento			Herbicida	Semilla	Canon tecnológico	TOTAL
	Nº trat	€/ha trat	Total equipo				
1	1	14,68	14,68	100,00	300,00	100,00	514,68
5	1		14,68	109,00			523,68
3	1		14,68	110,86			525,54
2	2		29,36	100,00			529,36
6	2		29,36	100,00			529,36
4	2		29,36	109,00			538,36
7	4		58,72	275,75			734,47
8	4		58,72	459,59			918,31

Tras descontar los gastos en herbicida y semilla, se obtienen unos beneficios parciales (ver tabla 11). En esta tabla se puede ver como la variante seis obtiene los mejores resultados al igual que en los resultados de eficacias, mientras las variantes ocho y siete, las siguientes mejores, obtienen 1.959,11 y 2.265,6 € menos.

Igualmente, habría que tener en cuenta que los datos de producción están obtenidos con variedades tolerantes a inhibidores de la acetolactato sintetasa, que se podría pensar que sean menos productivas que las variedades comerciales “estrella”, como suele ocurrir con las variedades tolerantes o resistentes al comienzo de su desarrollo. Las variedades comerciales también son más económicas ya que no incluyen un canon tecnológico.

Por lo que, para obtener una idea exacta de la utilidad de la tecnología Conviso®Smart a nivel económico, debería plantearse un ensayo con al menos una variante con una variedad comercial representativa, tratada con herbicidas convencionales.

Tabla 10. Ingresos después de gastos parciales (herbicida y semilla) por variante en €/ha

Variante	Ingresos	Costes	Beneficios*
6	6079,07	514,68	5564,39
4	5716,03	529,36	5186,67
3	5248,60	525,54	4723,06
8	4143,64	538,36	3605,28
2	4197,21	523,68	3673,53
7	3828,15	529,36	3298,79
5	3522,55	734,47	2788,08
1	2317,26	918,31	1398,96

6 CONCLUSIONES

Tras el año de ensayo (2016) en un campo de remolacha azucarera en Ataquines nos ha permitido llegar a las siguientes conclusiones de acuerdo con los objetivos planteados en el estudio.

6.1 EFICACIA DE LAS DIFERENTES VARIANTES EN EL MANEJO DE LA MALA HIERBA

- Las variantes con la dosis completa de herbicida inhibidor de la acetolactato sintetasa (1 l) aplicada de una vez y tarde (1, 3 y 5) son las que peor eficacia muestran, de lo que se discierne que se debe aplicar en estadios tempranos y en split, dos dosis de 0,5 l/ha.
- El aceite es eficaz si fuera necesario, ya que la variante 5 obtiene mejores resultados que la 1, siendo la primera más tardía pero con aceite. Del mismo modo la variante 4 obtiene mejores resultados que la 2 siendo estas iguales a excepción del aceite que incorpora la 4.
- La variante 6, en la cual se aplican 0,5 l/ha de herbicida inhibidor de la acetolactato sintetasa dos veces en estadios tempranos del cultivo y las malas hierbas (BBCH 10 y 14 del cultivo), es la más eficaz con una infestación de 1,67 individuos/m². Las variantes convencionales (7 y 8) son las siguientes más eficaces con unas infestaciones de 6,67 individuos/m² (8) y 10 individuos/m² (7). El resto de variantes son menos eficaces, con unas infestaciones superiores a los 15 individuos/m².

En base a estos datos, sacamos la conclusión de que el tratamiento con herbicida inhibidor de la acetolactato sintetasa es más eficaz que los herbicidas convencionales siempre y cuando se realice de manera temprana, en los primeros estadios del cultivo y las malas hierbas, y en split.

6.2 COMPOSICIÓN FLORÍSTICA DE LA CUBIERTA EN FUNCIÓN DE LAS VARIANTES

La especie *Chenopodium album* destaca por su preferencia por variantes tratadas con herbicida inhibidor de la acetolactato sintetasa, por lo que se deberá hacer un uso adecuado de la tecnología para no ejercer una presión excesiva, que acelere el proceso de selección de poblaciones resistentes (Reznick y Cameron, 2001).

6.3 LA PRODUCCIÓN Y SU RELACIÓN CON LA EFICACIA EN EL CONTROL DE LA MALA HIERBA

- Los resultados de producción, en términos relativos, comparten similitudes con los resultados de las eficacias. Se puede ver como en ambos casos las variantes 1 y 5 son las que peor resultado obtienen y la 6 el mejor resultado. De este hecho concluimos que el grado de eficacia del herbicida repercute directamente en el beneficio económico al condicionar las malas hierbas la evolución del cultivo.
- Las variantes 7 y 8 obtienen, en términos relativos, peores resultados productivos que de eficacias. Esto podría indicar que los herbicidas convencionales producen un retraso temporal en el desarrollo del cultivo, no así las variantes tratadas con herbicida inhibidor de la acetolactato sintetasa, que afectan a la producción final.

6.4 COSTES ECONÓMICOS DE LAS VARIANTES APLICADAS

La variante 6 es la más indicada, con diferencia, a nivel económico ante una alta presión de malas hierbas, partiendo siempre de una producción igual entre las variedades convencionales no tolerantes y las tolerantes.

7 BIBLIOGRAFÍA

- Agroes. BBCH. Codificación de los estadios fenológicos de la remolacha. Online. 10 Junio 2017. Disponible en www.agroes.es/cultivos-agricultura/cultivos-herbaceos-extensivos/remolacha-azucarera7538-remolacha-estadios-fenologicos-de-desarrollo
- Agrow. 2017. Global crop protection market dips below \$50 bn. World Crop Protection News. 12 Mayo 2017
- European Commission. Market sectors, Sugar. Online. 19 Mayo 2017. Disponible en ec.europa.eu/agriculture/sugar_es
- European Commission. Pesticides Database. Online. 21 Mayo 2017. Disponible en ec.europa.eu/food/plant/pesticides_en
- FAO 2014. FAO Statistical Yearbook 2014. Europe and Central Asia food and agriculture. 28-29
- Hamouz, P. y Hamouzová, K. 2016. A Handbook of Weed Seedlings.
- Heap, I. The international Survey of Herbicide Resistant Weeds. Online. 21 Mayo 2017. Disponible en www.weedscience.org
- Heap, I. y LeBaron, H. 2001. Introduction and overview of resistance. 1-22
- MAPAMA 2016. Encuesta sobre superficies y rendimientos de cultivos. Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente.
- McGinnis, Esther E., Meyer, M. H. and Smith, A. G. 2010. Sweet and sour: A scientific and legal look at herbicide-tolerant sugar beet. Plant Cell. 2010 Junio, 22. 1653-1657.
- Recasens, J. y Conesa, J. A. 2009. Malas hierbas en plántula: guía de identificación. Ediciones de la Universidad de Lleida.
- Rosa, F. J. y Urbano J. M. 2015. Variedades de girasol tolerantes al imazamox: un ejemplo de manejo no sostenible de malas hierbas. Departamento de Ciencias Agroforestales, Universidad de Sevilla.
- Tranel, Patrick J., Wright, Terry R. 2002. Resistance of weeds to ALS-inhibiting herbicides: what have we learned? Weed Science 50 (6). 700-712

Valverde, B.E. 2002. Manejo de la resistencia a los herbicidas en los países en desarrollo. FAO.