

Resistencia de Malezas a Herbicidas

Alejandro Pérez J.
aperezj@puc.cl
Marcelo Kogan A.
mkogan@puc.cl
Departamento de Ciencias Vegetales

Durante los últimos 50 años, el método de control de malezas que ha predominado en la mayoría de los sistemas de cultivo en el mundo, especialmente en naciones industrializadas, ha sido el uso de efectivos productos químicos llamados herbicidas. Dado el éxito mundial que ha tenido la aplicación de herbicidas para el control de malezas, era inevitable que llegara a presentarse alguna respuesta de tipo biológico por parte de las malezas sometidas a los herbicidas. Dicha repercusión ha sido la selección de genes dentro de las poblaciones de malezas que confieren resistencia a los herbicidas. Se entiende por *resistencia* a la habilidad heredable de una planta de sobrevivir y reproducirse después de estar expuesta a una dosis de herbicida, que en condiciones normales es letal para el tipo silvestre. A diferencia de la resistencia, *tolerancia* se refiere a la habilidad inherente de una especie de sobrevivir y reproducirse después de estar expuesta a un tratamiento herbicida. Esto implica que no hubo selección o manipulación genética que hiciera una determinada especie tolerante a un herbicida. Es decir, una planta es naturalmente tolerante.

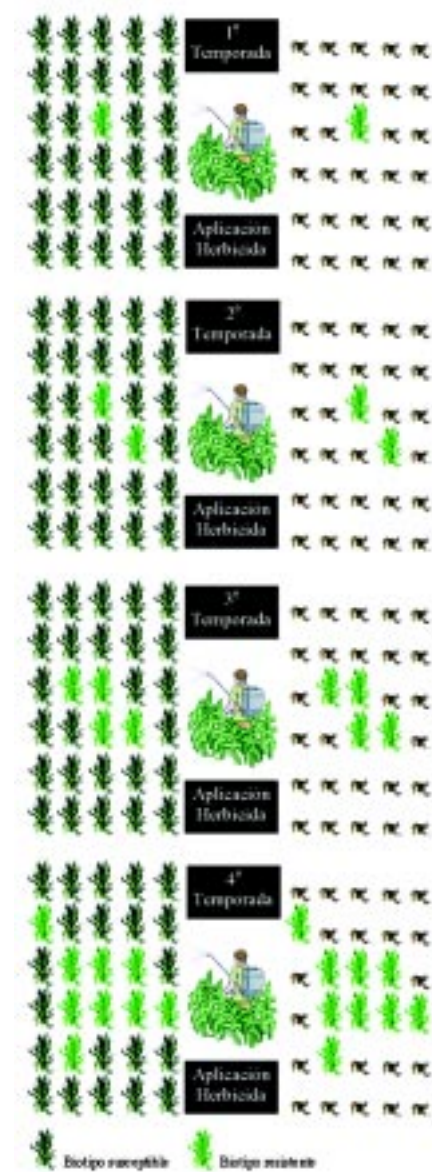
En la naturaleza, en todas las poblaciones de malezas existen individuos biotipos¹ que son naturalmente

resistentes a ciertos herbicidas que presentan un mecanismo de acción dado. Por ende, el uso repetido de un herbicida, o de varios herbicidas que presenten un mismo mecanismo de acción, somete a las poblaciones de malezas a una *presión de selección*, incrementando con el tiempo el número de individuos resistentes que logran sobrevivir a la aplicación del herbicida (Figura 1). Es decir que los individuos o biotipos resistentes existen en la población natural de la especie antes que llegue al mercado un determinado producto herbicida.

El primer caso de aparición de resistencia de malezas a herbicidas fue reportado en 1970, cuando biotipos de *Senecio vulgaris* (hierba cana), procedentes de viveros presentaron resistencia a las triazinas, las cuales habían sido utilizadas una o dos veces al año durante los últimos diez años. Actualmente, existen más de 250 biotipos resistentes a herbicidas en 153 especies de malezas. Cabe resaltar que la mayoría de los biotipos resistentes se encuentran en países desarrollados donde los herbicidas son el principal método de control utilizado, realizándose aplicaciones de un mismo producto o de productos que presentan el mismo mecanismo de acción año tras año.

De los biotipos resistentes encontrados hasta la fecha, la mayoría lo son a herbicidas que presentan un solo sitio de acción, como por ejemplo los inhibidores de la enzima ALS (sulfonilureas e imidazolinonas) y los inhibidores de fotosíntesis (triazinas)

Figura 1
Diagrama explicativo de selección y aparición de individuos o biotipos resistentes después del uso repetido de un herbicida durante varias temporadas.



¹El término biotipo se refiere a plantas de una especie que presentan leves diferencias genéticas con otras de la misma especie en una población.

Cuadro 1

Ocurrencia de biotipos resistentes según el grupo herbicida en porcentaje del total de biotipos resistentes conocidos

Grupo herbicida	Ingrediente activo	Biotipos resistentes (%)
Inhibidores ALS ¹	metsulfuron, bensulfuron, halosulfuron imazetapir e imazapir	27
Triazinas	simazina y atrazina	25
Inibidores ACCasa ²	diclofop, quizalafop, fluazifop, tralkoxidim, cletodim y setoxidim	10
Ureas y Amidas	diuron y napropamida	8
Bipiridilos	paraquat y diquat	8
Auxinas sintéticas	2,4-D, MCPA y picloram	8
Dinitroanilinas	pendimetalin y trifluralina	4
Glicinas	glifosato	1
Otros		9

¹Aceto lactato sintasa (enzima involucrada en la síntesis de los aminoácidos valina, leucina e isoleucina).

²Acetil coenzima A carboxilasa (enzima involucrada en la síntesis de ácidos grasos).

(Cuadro 1). Así, los casos de mayor ocurrencia acontecen para herbicidas que presentan un mecanismo de acción específico, que son extremadamente activos y efectivos en controlar un amplio espectro de malezas, que son altamente persistentes y que son aplicados frecuentemente en varias temporadas de cultivo sin rotación (monocultivo). Según las características descritas anteriormente, los mecanismos de acción de los herbicidas se han clasificado según el riesgo de desarrollo de resistencia, como se indica en el Cuadro 2.

Tipos de resistencia

Los herbicidas que pertenecen a una misma familia química presentan

el mismo mecanismo de acción, sin embargo existen varias familias que difieren completamente en su estructura química pero presentan el mismo mecanismo de acción (Ej., sulfonilureas e imidazolinonas; ariloxi-fenoxi propionatos y ciclohexano-dionas). Así, la presencia de un mecanismo de resistencia en una planta puede otorgarle resistencia a uno o varios herbicidas de una misma familia, o de otras familias que actúen similarmente. A esto se le denomina *resistencia cruzada*. De mayor consideración aún es el caso en el cual los diferentes mecanismos de resistencia se acumulan a través del tiempo, lo que le otorga a la población de malezas *resistencia múltiple* a varios grupos herbicidas que presentan diferentes mecanismos

de acción.

Resistencia cruzada

La resistencia cruzada se presenta cuando el uso repetido de un herbicida resulta en la aparición de individuos de una cierta especie que son genéticamente resistentes, no sólo a ese herbicida, sino también a otros herbicidas químicamente diferentes pero que presentan el mismo mecanismo de acción, como resultado de la existencia de un mismo mecanismo de resistencia. Este tipo de resistencia se clasifica en dos categorías: a) resistencia cruzada sitio de acción, la cual ocurre entre herbicidas cuyo sitio de acción, en términos bioquímicos, es el mismo, y b) resistencia cruzada no-

Cuadro 2

Clasificación de los mecanismos de acción de los herbicidas según el riesgo de desarrollo de resistencia

Riesgo de desarrollo de resistencia	Mecanismo de acción	Familia química
Alto	Inhibidores ALS	Imidazolinonas
	Inhibidores ACCasa	Sulfonilureas
	Inhibidores de fotosíntesis en el fotosistema II	Ariloxi-fenoxi propionatos Ciclohexanodionas Triazinas, Uracilos Ureas, Amidas Nitrilos, Benzotiadiazoles
Medio	Inhibición de pigmentos	Isoxazolidinonas
	Inhibición de la unión de microtúbulos en la mitosis	Dinitroanilinas
Bajo	Inhibición de la EPSPS ¹	Glicinas
	Auxinas sintéticas	Acidos fenoxicarboxílicos
	Inhibición de la división celular	Acido benzoico Cloroacetamidas

¹5-enol piruvil shikimato-3-fosfato sintasa (enzima involucrada en la síntesis de los aminoácidos fenilalanina, tirosina y triptofano).

sitio de acción, la cual se presenta independientemente del sitio de acción debido a una elevada capacidad genética por parte de los biotipos resistentes, a diferencia de los susceptibles, para degradar metabólicamente el herbicida. La resistencia cruzada no sitio de acción también puede ser ocasionada por una menor absorción y traslocación del herbicida, lo que implica que una menor cantidad del producto llega al sitio de acción, o también se puede deber a efectos de compartimentalización al nivel de célula, lo cual significa que el herbicida pueda ser secuestrado en la vacuola.

Resistencia múltiple

La resistencia múltiple se define como la expresión, dentro de individuos o poblaciones, de más de un mecanismo de resistencia. Así, los individuos que presenten resistencia múltiple pueden poseer dos o más mecanismos de resistencia y ser resistentes a uno o varios herbicidas que presenten un mismo o diferentes mecanismos de acción. Este tipo de resistencia se presenta cuando la población de malezas se expone persistentemente a varios herbicidas selectivos, ya sean estos aplicados en mezcla o alternadamente. Este tipo de re-

sistencia es, sin duda alguna, el caso más difícil de manejar y debería ser el problema al que más atención se le debiera dar en la actualidad en el manejo de malezas con herbicidas.

Resistencia de malezas a herbicidas en Chile

En Chile, al igual que en otros países del mundo, el fenómeno de la resistencia está presente. A principios de la década de los noventa, se empezó a percibir los primeros posibles casos de resistencia en cultivos de maíz, trigo, raps (canola) y lupino, al igual que en huertos frutales. Así, agricultores de la zona central informaron el control deficiente de hierba cana (*Senecio vulgaris*) en huertos frutales tratados con simazina. De igual forma, se reportaron controles deficientes de bleo (*Amaranthus retroflexus*), quihuilla (*Chenopodium album*) y chamico (*Datura stramonium*) en cultivos de maíz tratados con atrazina. Sin embargo, hasta la fecha no se ha realizado ningún trabajo de investigación o publicación respecto a los casos anteriormente mencionados que confirmen dicha resistencia, y ellos se basan solamente en especulaciones. No hay que olvidar que la resistencia no es la única causa responsa-

ble que explica un control deficiente, ya que existen otras causas como, por ejemplo, fallas de la aplicación (equipos defectuosos, mala calibración, personal no entrenado), utilización de dosis subletales, condiciones ambientales no adecuadas durante la aplicación (estrés hídrico, lluvias posteriores a la aplicación, bajas temperaturas), estado de desarrollo de la maleza no adecuado y germinación de malezas posterior a la aplicación.

El uso de herbicidas gramínicos selectivos de postemergencia (GSPE) usados para el control de malezas gramíneas, tales como ballica (*Lolium spp.*), avenilla (*Avena fatua*) y cola de zorro (*Cynosurus echinatus*), en cultivos de cereales menores, raps y lupino en el sur del país, llevó rápidamente a la aparición de resistencia a dichos herbicidas. Dentro del grupo de los GSPE existen dos familias químicamente diferentes (Cuadro 3), pero que presentan el mismo mecanismo de acción. Ambas familias químicas son potentes inhibidores de la enzima ACCasa, la cual cataliza la primera reacción correspondiente a la biosíntesis de ácidos grasos.

Como algunos de estos herbicidas se utilizan frecuentemente en trigo y raps, se produjo en un corto período de tiempo una intensa presión de

Cuadro 3
Herbicidas GSPE que se comercializan en Chile

Familia química	Ingrediente activo	Nombre comercial
Ariloxi-fenoxi propionatos	Clodinafop propargil	TOPIK 240 EC
	Diclofop metil	ILOXAN 28 EC CASCABEL 28 EC ILOXAN PLUS
	Diclofop metil + Fenoxaprop etil	PUMA SUPER
	Fenoxaprop etil	HACHE UNO 2000 175 EC
	Fluazifop-p-butil	GALANT PLUS
	Haloxifop metil	AGIL 100 EC
	Propaquizafop	ASSURE PLUS FLECHA 9.5 EC PANTERA PLUS
	Quizalofop-p-etil	
	Quizalofop-p-tefuril	
Ciclohexanodionas	Cletodim	CENTURION 240 EC
	Tralkoxidim	GRASP 80 WG
	Setoxidim	POAST

selección de aquellos individuos (biotipos) intrínsecamente resistentes que se encontraban en la población. Así, mediante experimentos de campo realizados por N. Espinoza (INIA-Carillanca) y publicados en el 2000, se logró determinar que una población de ballica anual (*Lolium rigidum*) proveniente de la VIII Región y dos poblaciones de avenilla provenientes de la IX Región presentaban resistencia a GSPE utilizados en trigo (diclofop-metil, clodinafop-propargil y tralkoxidim) y raps (quizalofop-p-terfural, quizalofop-p-etil, haloXifop-metil y fluazifop-p-butil).

Debido a informaciones dadas por agricultores de la zona central, las cuales indicaban un control deficiente de ballica en huertos frutales tratados con glifosato, el grupo de Biología de Malezas y Estrategias de Control de la Facultad de Agronomía e Ingeniería Forestal de la Pontificia Universidad Católica de Chile, inició hace dos años un estudio para confirmar si el control deficiente obedecía o no a un posible caso de resistencia. Así, recientemente se logró detectar dos poblaciones de *Lolium multiflorum* (ballica italiana) resistentes a glifosato, provenientes de huertos frutales de la VI Región, en donde se habían aplicado en promedio 4 L pc ha⁻¹ (de algún producto comercial que contenía 0,48 kg L⁻¹ de la sal isopropilamina de glifosato) dos o tres veces al año durante los últimos diez años. Para dicho estudio, se llevaron a cabo experimentos de campo y se recolectaron semillas para realizar investigación en laboratorio y en condiciones de invernadero.

Mediante los experimentos realizados en campo se comprobó que, incluso con la dosis más alta utilizada por los agricultores (6 L pc ha⁻¹), el control de ballica era deficiente, ya que aunque se lograba controlar totalmente algunas plantas, otras no eran eficazmente controladas y se escapaban al tratamiento herbicida (Figura 2).

Para los experimentos de laboratorio se pusieron a germinar semillas, de las poblaciones en estudio, en placas de petri que contenían hojas de papel filtro saturadas con soluciones de diferentes concentraciones del herbicida, las que posteriormente fueron

Figura 2

Población de ballica tratada con 2,88 kg ia ha⁻¹ equivalente a 6,0 L pc ha⁻¹. Se puede observar claramente como los individuos susceptibles son eficazmente controlados mientras que los individuos o biotipos resistentes no presentan síntomas de daño.

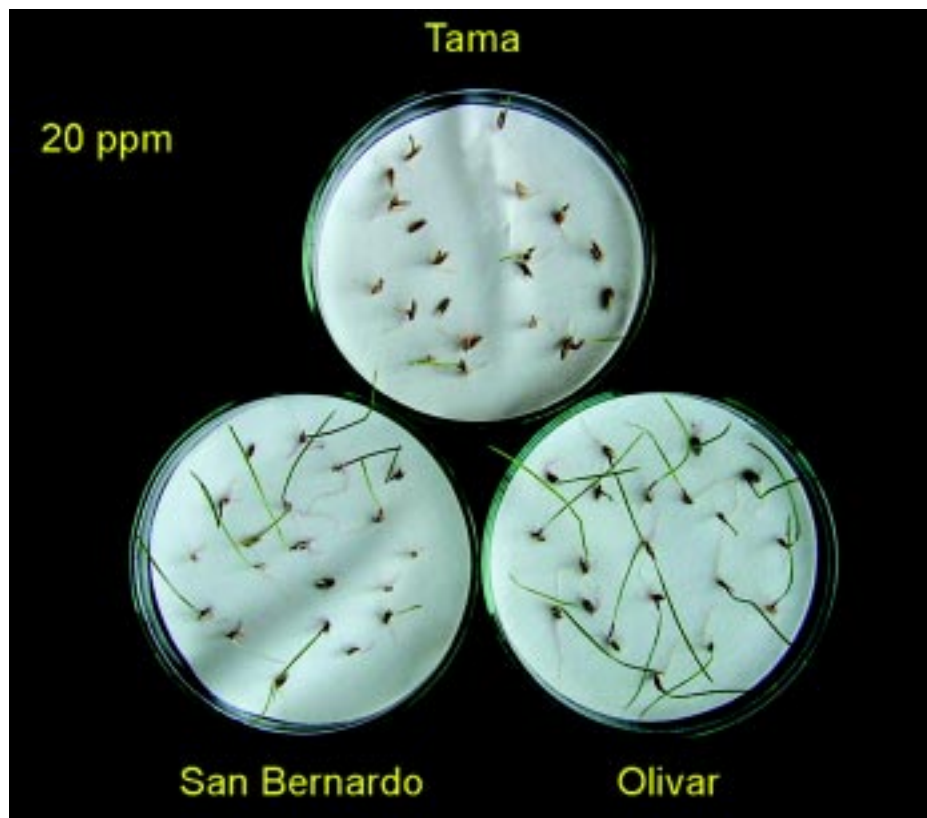


transferidas a una cámara de crecimiento a condiciones de temperatura,

luz y humedad controladas. Posteriormente se determinó la longitud prome-

Figura 3

Germinación de las poblaciones resistentes (San Bernardo y Olivar) en comparación con la población susceptible (Tama), a una concentración de 20 ppm de equivalente ácido de glifosato. Nótese la inhibición total del crecimiento del coleoptilo en la población susceptible.



dio del coleoptilo para cada concentración y biotipo. Así, se pudo determinar que la longitud del coleoptilo de las poblaciones en estudio (San Bernardo y Olivar) se vio menos afectada después del tratamiento con glifosato en comparación con la población susceptible (Tama) (Figura 3). Al ajustar las curvas (dosis-respuesta) a los datos observados (Figura 4), se pudo determinar que las poblaciones San Bernardo (SB) y Olivar (OL) requirieron una concentración cuatro y seis veces mayor para inhibir la longitud del coleoptilo en un 50% (GR_{50}) con respecto al testigo sin tratar, respectivamente, en comparación con la población Tama (TM).

Para los experimentos de invernadero, semillas de las poblaciones en estudio y de la población susceptible fueron sembradas en bandejas y mantenidas a condiciones de temperatura y luz controladas. Posteriormente éstas fueron tratadas con dosis crecientes del herbicida, para luego determinar el peso fresco promedio para cada dosis y población. De acuerdo a los resultados obtenidos, se pudo determinar que las poblaciones SB y OL requirieron de una mayor dosis para

ser controladas, con relación a la población susceptible TM (Figura 5), corroborando así los datos obtenidos en el laboratorio. Terminada la evaluación, las plantas fueron cortadas en la base y mantenidas en el invernadero para que rebrotaran. Aún a las dosis más altas (8 L pc ha^{-1}), algunas de las plantas de las poblaciones resistentes en estudio, en especial el biotipo OL, fueron capaces de rebrotar, lo que no ocurrió con la población susceptible TM.

Consideraciones finales

Está claro que en la mayoría de los sistemas actuales de cultivo, en donde predominan los monocultivos y la aplicación de herbicidas es la principal herramienta utilizada para el control de malezas, existe una alta probabilidad que se seleccionen biotipos de malezas resistentes a herbicidas. De ahí que la rotación de cultivos se considere como la principal herramienta para manejar el desarrollo de resistencia de malezas a herbicidas. Esta situación es más crítica en sistemas de labranza reducida y en plantaciones de árboles frutales y forestales, en don-

de la dependencia de los herbicidas es aún mayor. Así, la aparición de biotipos resistentes es más factible cuando se realiza la aplicación continua de un mismo herbicida, o de herbicidas que presentan un mismo mecanismo de acción, a altas dosis y sin labores de labranza u otras prácticas culturales que ayuden a disminuir la presión de selección. No obstante, los herbicidas son, y serán siendo, la principal herramienta disponible para el control de malezas debido a su economía, efectividad y gran aceptación por parte de los productores. Es por eso que, con el objeto de prolongar su vida útil, se deben realizar cambios en su utilización, ya que el desarrollo de nuevos herbicidas que presenten diferentes mecanismos de acción es cada vez menor.

El uso de dos o más herbicidas que presenten diferentes mecanismos de acción, utilizados en mezcla o en rotación, es una táctica viable que se debe utilizar para prevenir, aminorar la importancia y/o combatir la resistencia. Sin embargo, la mayoría de los productores identifica los herbicidas de acuerdo a su nombre comercial o ingrediente activo, desconociendo su mecanismo de acción. Para que la mezcla de herbicidas tenga éxito como estrategia en la prevención de la resistencia, es importante que las empresas productoras de agroquímicos estandaricen un sistema que fácilmente identifique el mecanismo de acción del herbicida. En Australia, en la actualidad es obligatorio que la etiqueta del herbicida porte un símbolo que identifique su mecanismo de acción.

Por otra parte, la mezcla de herbicidas no debe ser la única estrategia de prevención y, en cambio, el control químico se debe combinar con otras estrategias de tipo mecánico, biológico y cultural. El desarrollo de poblaciones de malezas que poseen capacidad de degradar varios herbicidas que presentan el mismo o diferentes mecanismos de acción (resistencia múltiple) es razón suficiente para implementar un Manejo Integrado de Malezas (MIM) y no sólo depender del uso de herbicidas, disminuyendo así la presión de selección.

La resistencia a herbicidas es otra demostración de la gran adapta-

Figura 5

Plantas de ballica provenientes de las poblaciones resistentes (San Bernardo y Olivar) y la población susceptible (Tama) tratadas con $1,92 \text{ kg ia ha}^{-1}$ equivalente a $4,0 \text{ L pc ha}^{-1}$. Se puede observar claramente como la población susceptible es controlada eficazmente, a diferencia de las poblaciones resistentes.

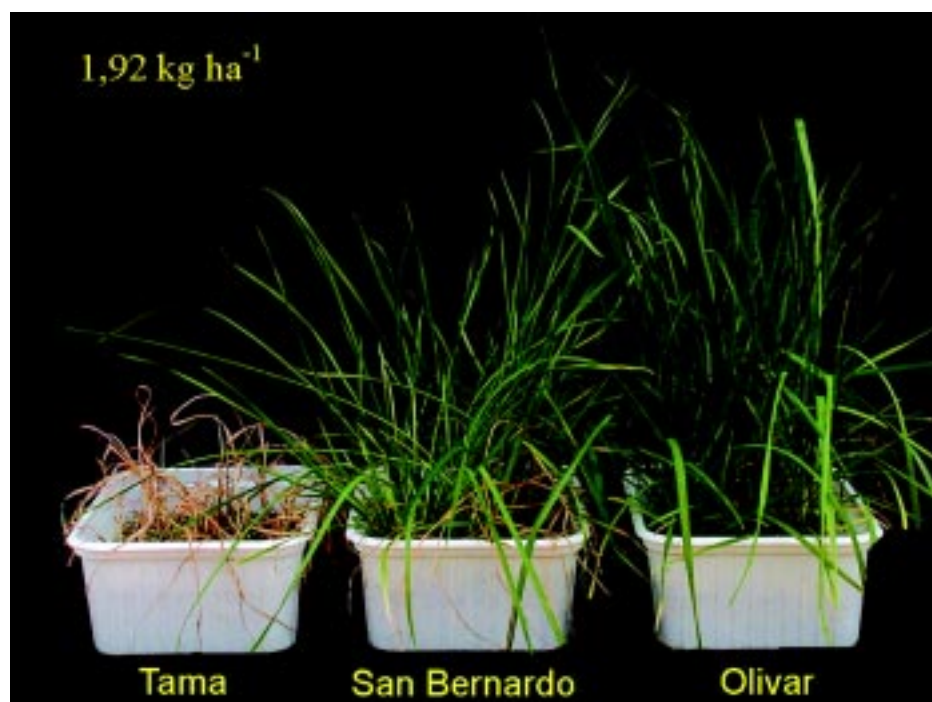
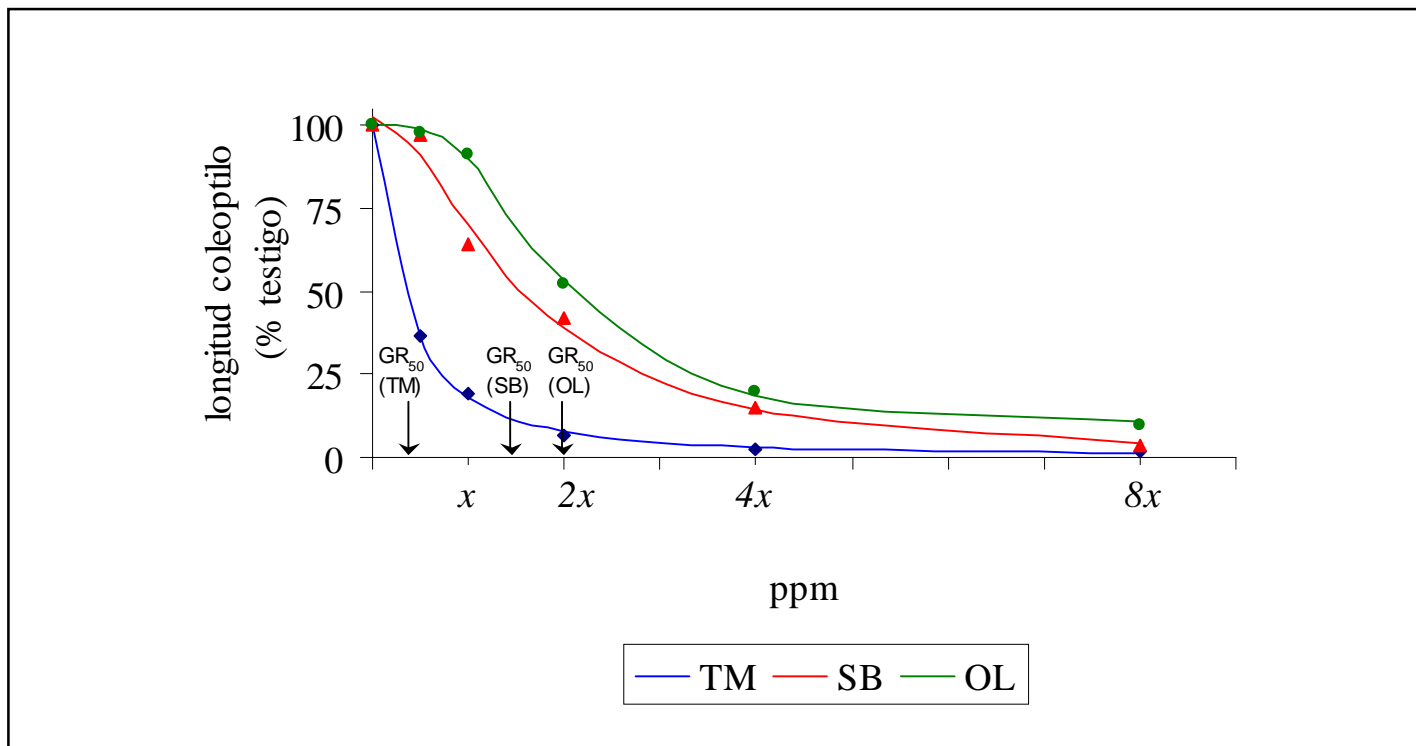


Figura 4

Efecto del glifosato sobre la longitud del coleoptilo (% testigo sin tratar) en tres poblaciones de ballica. GR_{50} es la dosis requerida para inhibir el crecimiento en un 50%.



bilidad ecológica que tienen las plantas, y en especial las malezas, las cuales son capaces de evolucionar y sobreponerse a los cambios adversos que ocurren en el ambiente. Es indudable la necesidad de cambiar los sis-

temas de producción actuales por otros que disminuyan la presión de selección ejercida sobre la población de malezas, ya que el desarrollo de la resistencia a herbicidas es ya una realidad.

Los herbicidas son un recurso valioso de gran importancia en la agricultura moderna, y todas las estrategias requeridas para prolongar su vida útil deben ser implementadas de forma inmediata. [FAF](#)



Laboratorio de Servicio de Análisis

Departamento de Zootecnia

Servicios a Productores Agropecuarios Agroindustria

Análisis Químicos (Proximal o Weende)

Análisis Microbiológicos (recuentos, tipificación)

Análisis Físicos (granulometría, punto fusión, etc)

Análisis Microscópicos (cualitativos y cuantitativos)

Análisis Biológicos (energía digestible, metabolizable-aves)

Análisis varios (para oleaginosas, productos grasos, productos lácteos, aguas)

Evaluación de Alimentos no tradicionales para Animales

Para mayor información: Facultad de Agronomía e Ingeniería Forestal
Teléfonos: (56-2) 686 4155 – 686 4104, Fax: (56-2) 686 4104,
Email: laborutri@puc.cl