

CÁTEDRA DE FISIOLÓGÍA VEGETAL
CURSO DE FISIOLÓGÍA VEGETAL 2011
REGULADORES VEGETALES Y HERBICIDAS

Ing. Agr. Daniel O. Giménez ⁽¹⁾ e Ing. Agr. José Beltrano ⁽²⁾



Ocho aplicaciones semanales consecutivas de 100 μ g de giberelinas a las puntas en crecimiento de plantas de col a la derecha, dieron por resultado la elongación y la floración temprana. Las dos plantas no tratadas de la izquierda eran vegetativas y formaron cabezas. Todas las plantas se cultivaron entre 10 y 13°C. (Fotografía, cortesía de S. H. Wittwer.)

(1) Profesor Adjunto; (2) Profesor Titular de la Cátedra de Fisiología Vegetal

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS BIOLÓGICAS
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS Y FORESTALES
UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PLATA

selectivo para malezas de hojas anchas

PREGUNTAS DE APLICACIÓN DE REGULADORES DE CRECIMIENTO

- A)** Para inducir el enraizamiento de estacas se usan auxinas, principalmente ANA, AIB, 2,4-D, etc. Indique por qué el AIA no da resultados en muchas especies?
- B)** ¿Qué reguladores rompen la dormición de las yemas de árboles? Explique en qué circunstancias aconsejaría su aplicación.
- C)** Un mejorador quiere obtener dos generaciones de lechuga en un año, en qué condiciones debe cultivar las plantas y cuándo aplicaría algún regulador? *ver página 6 → See brockles - GAS -*
- D)** Explique mecanismos de detoxificación de las plantas
- E)** Al plantar álamos en la zona del Delta, se encuentra el campo enmalezado y entre las malezas está el cebollín y el sorgo de Aleppo. ¿Qué características tiene que tener el herbicida para realizar un buen control?
- F)** Después de haber tratado las estacas con un regulador, ¿dónde las pondría y qué condiciones ambientales les daría para favorecer el enraizamiento?
- G)** En la fabricación de la cerveza se suele usar un regulador, indique cuál es, qué función tiene y cómo actúa? *GAS -*
- H)** En el caso de siembra con labranza "0" ¿qué características tiene que tener un herbicida para recomendar su aplicación en el momento de la siembra y por qué?
- I)** Indique los reguladores que se usan para producir frutos partenocárpicos y de acuerdo al tipo de frutos cuáles tienen más efectos?
- J)** Cuando se pretende hacer un barbecho de verano para acumular agua en el perfil del suelo, indique qué características deberá tener el herbicida a utilizar si dentro de las principales malezas presentes está el *Cynodon dactylon*. *total y sistémico*
- K)** ¿Qué función tienen los antídotos y por qué se los usa en aplicaciones selectivas? *no imp.*
- L)** ¿Qué se entiende por un herbicida selectivo y por un herbicida total? *2,4-D selective hoja ancha*
- M)** Para adelantar y uniformar la maduración del tomate y del morrón, ¿qué regulador se puede usar y qué precauciones se pueden tomar?
- N)** ¿Por qué los días soleados favorecen la eficiencia de los herbicidas 2,4-D y Paraquat?
- O)** Para evitar la caída de frutos que están terminando su crecimiento en la planta, se aplican auxinas en bajas concentraciones, ¿por qué?
- P)** Explique 5 causas morfológicas o fisiológicas de selectividad de un herbicida. *hoja no estomas*

USO DE REGULADORES EN CULTIVOS EXTENSIVOS, INTENSIVOS, PASTURAS Y FORESTALES

INTRODUCCIÓN

El uso de reguladores vegetales en la práctica agropecuaria y forestal ha sido empleado desde hace algunos años, con el fin de modificar procesos fisiológicos de las plantas superiores y de cultivo, ya sea regulando, deteniendo, induciendo o modulando de alguna manera los mismos.

En este trabajo se pretende realizar una reseña de los principales usos en la actualidad, de esta gran familia de productos, considerados agroquímicos del tipo reguladores y herbicidas. Por lo tanto a continuación se enumeran los distintos procesos fisiológicos que inciden directamente sobre la producción agropecuaria y forestal, en cada uno de ellos se mencionan la incidencia del uso de reguladores en la expresión de los mismos.

ENRAIZAMIENTO Y PROPAGACIÓN DE PLANTAS POR ESTACAS: (ver Introducción al estudio de hormonas y reguladores vegetales).

DORMICIÓN DE SEMILLAS Y YEMAS

En las plantas perennes de las zonas templadas, los periodos de crecimiento visible alternan con otros de poco o ningún crecimiento, mientras que en las plantas anuales se produce la muerte de toda la planta, con excepción de las semillas. Las plantas durante el crecimiento activo presentan poco o ninguna tolerancia a condiciones extremas tan desfavorables como las bajas temperaturas y heladas, altas temperaturas y sequías, en tanto que las plantas en dormición tienen una gran resistencia. Así, el establecimiento del estado de dormición, en yemas y semillas, antes de que se inicien las condiciones ambientales desfavorables, asegura por lo común la supervivencia de las plantas. A excepción de ciertas especies tropicales, casi todas las plantas pasan por un periodo de dormición.

La dormición se observa en varios órganos del vegetal, como semillas, yemas, rizomas, estolones, bulbos, etc. El reposo de yemas está determinado por un balance de hormonas, entre promotoras e inhibidoras del crecimiento (ver dormición de semillas en germinación). La longitud del día y la temperatura de fines de otoño induce una mayor síntesis de inhibidores del crecimiento, fundamentalmente ABA, esto induce la formación de yemas de "reposo" con coberturas coráceas que protegen al ápice durante el invierno. El balance es favorable hacia el ABA en la entrada del periodo de dormición, degradándose éste por acción de las bajas temperaturas a lo largo del invierno. Al fin de esta estación, con fotoperíodos más largos, se sintetizan giberelinas provocando un balance favorable a promotores del crecimiento y restableciéndose el crecimiento, de no haber quiescencia.

El fotoperíodo controla la dormición en algunos árboles, tanto el establecimiento como la ruptura; pueden controlarse con la longitud del día. Se demostró que las yemas en reposo, carentes de sus ramas de hojas, son receptoras de la luz y que el fotoperíodo puede poner fin a la dormición de las yemas. Con frecuencia las bajas temperaturas rompen la dormición de las yemas, las temperaturas por encima de las de congelación son por lo común las más favorables.

Los reguladores que se utilizan para romper la dormición de las yemas son principalmente giberelinas y citocininas, y para prolongarla son principalmente inhibidores.

Prolongación del reposo de yemas

Hay variedades de diversos cultivos que no requieren gran cantidad de días de frío, en días con un aumento de la temperatura brotan y luego cuando desciende nuevamente la temperatura,

estos brotes se necrosan. Para evitar esto se puede tratar con **inhibidores**, dependiendo del costo de aplicación, o con antigiberelinas (CCC, Phosfon-D, Alar).

Aplicaciones de GA_3 al fin del período de crecimiento (otoño anterior), en concentraciones no altas, prolonga el reposo y también reduce el número de yemas florales. Esto es consecuencia de la prolongación del período de crecimiento en longitudes de día más cortas, entrando en dormición con mayor concentración de inhibidores. Aplicaciones de Alar o CCC disminuyen el período de crecimiento, produciendo además entrenudos más cortos. Los efectos son contrapuestos al de las giberelinas: presentan mayor número de yemas florales y entra en dormición con longitudes de día más largas, con menor concentración de inhibidores. También se puede prolongar el reposo de las yemas realizando una poda tardía.

Duraznero y otros árboles frutales

Hay variedades que para brotar requieren un período prolongado de temperatura por debajo de 7° , la mayoría está entre 300 y 1000 horas. Se puede inducir la brotación solamente después de haber recibido un gran porcentaje de este requerimiento, con aspersiones de GA_3 en concentraciones de más de 1000 ppm y citocininas en concentración de 100 a 200 ppm.

Dormición y brotación en papa

En la papa, previo a la entrada en senescencia de la planta (entrega de la parte aérea), se produce el mayor crecimiento de los tubérculos y concomitantemente aumenta la acumulación de ABA en las yemas de los mismos, indicando el inicio del **período de dormición absoluta**. Este período dependerá en su longitud de las concentraciones internas de ABA, del ritmo con que este disminuya en función del tiempo y de la síntesis endógena de GA_5 que promuevan la brotación. Estos procesos están bajo control génico, por lo tanto existen variedades con características distintas en lo que respecta a la dormición. A partir de la ruptura de la dormición (de no haber **quiescencia**) se produce el crecimiento visible de las yemas, el cual dependerá de las condiciones ambientales. El mismo, por ejemplo, se puede prolongar si los tubérculos se almacenan a temperaturas entre 2 a $4^\circ C$, pero se acorta sensiblemente al aumentar la temperatura por encima de estos valores.

A esa temperatura la brotación es inhibida temporalmente, lo cual es deseable si los tubérculos deben destinarse a una nueva plantación, pero también se produce el desdoblamiento del almidón a azúcares simples lo cual desmerece la aptitud culinaria y comercial de esos tubérculos. Por lo tanto cuando los tubérculos deben almacenarse por períodos prolongados con destino al consumo fresco o a la industria, deben ser conservados a temperaturas entre 6 a $10^\circ C$, de acuerdo al destino final (Chips, deshidratados, papa bastón, para consumo fresco, etc.) a fin de evitar ese "endulzamiento"; pero a la vez se deberá evitar la brotación a esas temperaturas. Para ello se deben aplicar compuestos inhibidores de la brotación. Uno de los más ampliamente difundidos es el CIIPC que se aplica como producto comercial al 50 % sobre los tubérculos almacenados a razón de 100 ml. Tn^{-1} de tubérculos. También se puede utilizar con el mismo fin, el éster metílico del α -ANA que se aplica a razón de 25 mg. Tn^{-1} de tubérculos. La Hidrazida maleica (HM) es otro inhibidor de brotación que se aplica sobre el follaje entre 10 a 15 días, previo a la cosecha, el cual se traslada a los tubérculos e inhibe su brotación posterior. La HM se aplica a razón de 1000-2500 ppm. hasta goteo.

La **ruptura de la dormición** en papa se logró con aplicaciones de GA_3 en concentraciones de 50 a 100 ppm. y con tratamientos de citocinina entre 10 a 100 ppm.

Cebolla

Tratamientos con HM antes de la cosecha (aproximadamente 15 días) inhibe la posterior brotación de los bulbos, dado el traslado del regulador a éstos. La HM se aplica a razón de 1000-2500 ppm. hasta goteo.

Batata

Aplicaciones de CI IPC, en concentraciones similares a las de papa, reduce la brotación en raíces de batata. Una aplicación es suficiente a temperaturas de almacenamiento de 13 a 21°C, debiéndose aumentar el número de tratamientos si las temperaturas de almacenamiento son más altas.

Tabaco

Para evitar la brotación de yemas axilares de tabaco se aplican comercialmente HM en el momento del descabezado, a razón de 1000-2500 ppm. hasta goteo.

Vid

En este cultivo se recomienda la aplicación de cianamida hidrogenada (o ácido carbámico) con el fin de interrumpir la dormición invernal de yemas y estimular la brotación temprana y uniforme de las mismas. Esto hace posible un desarrollo vegetativo parejo de todos los brotes, favoreciendo las labores culturales, uniformando la posterior maduración de los frutos y aumentando, en consecuencia, el rendimiento. El producto se asperja en el follaje en concentraciones de 2,5 l/100 l de agua.

INDUCCIÓN DE LA FLORACIÓN

Ananá

En el cultivo de ananá se hacen 2 cosechas, el 1er. año del vástago principal y en el 2do. de los retoños, de los cuales se eligen 2 de los 4. Los nuevos retoños ya no darán frutos de calidad y luego de la 2da. cosecha las plantas son destruidas. En todo el cultivo la floración es despereja y puede realizarse en 10 meses. La planta puede producir frutos comerciables y de buena calidad, más o menos a los 18 meses después de la floración, realizándose la cosecha a través de varias recolecciones. La práctica del forzado mediante la aplicación de reguladores da por resultado una recolección simultánea a los 6 meses de la floración, la cual también es inducida. Pequeñas concentraciones de auxinas inducen la floración mientras que altas la inhiben. La única auxina que no es efectiva es el AIA, esto se explica dado que las enzimas, como la AIA oxidasa, y la luz la destruyen. Se utiliza la sal sódica de ANA en concentraciones de 20 ppm. El 2,4-D se usa en concentraciones entre 5 a 10 ppm. El etileno en agua da mejores resultados y se utiliza más, tratamientos con etefon también dieron buen resultados.

Coníferas

El GA₃ indujo la floración en *Cupressus arizonica* a los 88 días de germinado. En otras especies de este género también fue inducida la floración con tratamientos de GA₃ en concentraciones de 100 a 200 ppm., dos veces por semana, encontrándose al cabo de 15 días los meristemas en estado reproductivo. Varias especies del género *Thuja* también fueron inducidos por las giberelinas. En la familia de las pináceas no tuvieron éxito los tratamientos.

La *Sequoia sempervirens* que florece a los 20 años, con tratamientos hasta floración de 50 ppm, cada semana, floreció a los 4 meses. La *Sequoia gigantea*, que florece a los 70 años, con el mismo tratamiento floreció al año.

Inducción de la floración en plantas bienales

Muchas hortalizas de hoja que requieren un tratamiento en frío o días largos para florecer, responden a las giberelinas. Se indujo a florecer por medio de giberelinas a varias plantas bienales, incluyendo zanahoria, remolacha, col, lechuga, acelga, achicoria, que se cultivan a temperaturas ligeramente superiores a la temperatura crítica para la formación de flores. Los resultados indican que los requisitos de bajas temperaturas en la floración de plantas bienales, pueden reemplazarse parcial o totalmente, por medio de una o varias aspersiones foliares de giberelinas en concentraciones de 100 a 1000 ppm.

Inducción de la floración en plantas anuales de días largos (DL), cultivadas en condiciones de día corto (DC).

Ninguna planta anual de día largo dejó de florecer al cultivarse en un fotoperíodo corto, cuando se le trató debidamente con giberelinas. Las concentraciones varían de 100 a 1000 ppm y en algunos casos hay que hacer varias aplicaciones.

Tomate

Varios retardantes del crecimiento del grupo del CCC o Cycocel, al aplicarse a las raíces de plantas de tomate en concentraciones de 10^{-3} a 10^{-7} M, modifican el crecimiento y fomentan la floración temprana. Las plantas tratadas desarrollan tallos y raíces gruesas y hojas de coloración verde oscuro. Cambios similares se produjeron al exponer a alta iluminación y a bajas temperaturas las plantas, quedando los entrenudos más cortos y con menor número de entrenudos antes del primer racimo floral. Con aplicaciones de etefon en concentraciones de 100 a 500 ppm, también se adelantó la floración.

PREVENCIÓN Y RETRASO DE LA FLORACION

Arboles frutales, duraznero y otros.

Las aspersiones de giberelinas promueven el crecimiento vegetativo; pero este aumento en vigor va acompañado de un número reducido de yemas florales, un retraso de la diferenciación y producción de yemas más pequeñas. En algunas variedades se trató con GA_3 en concentraciones de 50 a 200 ppm cuando los brotes tenían un promedio de 25 cm. Al analizar las yemas de los brotes tratados se encontró que los testigos tenían 18 yemas florales y los tratados 5. El tratamiento retrasó también la floración completa de los árboles en una semana (al prolongar la dormición), además de provocar una mayor resistencia a bajas temperaturas y una perfecta fructificación, con reducida abscisión de flores y frutos. Como contrapartida, si se emplea una elevada concentración de GA_3 , no se forman yemas fructíferas. Este último efecto es beneficioso cuando se quiere inducir a un crecimiento vegetativo durante unos años para formar una buena copa, para pasar luego, a los dos años subsiguientes, a plena producción. En otros árboles frutales se está probando la aplicación de GA_3 y los resultados son similares a los obtenidos en duraznero, pero con un efecto menor.

Crisantemo

Con el fin de afectar el crecimiento del follaje, obteniendo plantas más compactas, de tallos más cortos, promover la floración e intensificar el color de las flores se utiliza Daminozide (Alar), en aspersiones al follaje dos días después del inicio de la floración, en concentraciones de 21 g de producto en 10 l de agua.

REGULACIÓN DE LA EXPRESIÓN SEXUAL

En muchas especies de la familia de las cucurbitáceas se puede regular la expresión sexual de las flores. Con auxinas y etefón (regulador liberador de etileno) se obtuvieron flores pistiladas y con giberelinas, se obtuvieron flores masculinas. Debido a la gran diversidad de las respuestas de cada uno de los reguladores, se recomienda ensayar en las variedades de uso local, antes de hacer uso de estos productos.

FRUTO: "CUAJADO", FORMACIÓN Y DESARROLLO

Inducción de partenocarpia

La partenocarpia es el desarrollo del fruto sin fertilización del óvulo. En la naturaleza ocurren dos tipos de partenocarpia: partenocarpia vegetativa: en donde los frutos se desarrollan sin polinización, en el caso del ananá, naranja "Washington Navel", el platano cultivado y el nispero oriental y algunas variedades de higo y pera. La partenocarpia estimulativa se produce en la vid "Black Corinth" en donde el cuajado del fruto resulta del estímulo de la polinización, sin fertilización posterior.

Para determinar la causa de la partenocarpia natural se comparó el contenido de auxinas de los ovarios, entre variedades partenocárpicas y de semillas, en frutos de uva, naranja y limón, encontrando que las variedades de semilla tuvieron un contenido más bajo de auxinas durante la anthesis, que las variedades partenocárpicas. Se llegó a la conclusión de que el contenido relativamente elevado de auxinas de las variedades que se desarrollan mediante la partenocarpia, permite un mayor desarrollo del fruto aún cuando no haya fertilización ni desarrollo de las semillas. En la partenocarpia estimulativa, la liberación de auxinas por parte de las enzimas del polen y el crecimiento de los tubos polínicos, es suficiente para provocar el cuajado del fruto y su posterior crecimiento.

La partenocarpia puede considerarse como etapa final de una secuencia en la que el desarrollo de los frutos se vuelve progresivamente independiente del desarrollo de las semillas. En este sentido algunos frutos dependen totalmente de sus semillas. En la frutilla, por ejemplo, la eliminación de los aquenios en cualquier etapa del desarrollo, provoca el cese del crecimiento del fruto, dado que no hay auxinas libres en el tejido del receptáculo. Al otro extremo de la escala, hay plantas como el naranjo "Washington Navel" y la uva "Corinth" que desarrollan sus frutos aún cuando no se fertilicen ni tengan semillas siendo, por tanto, completamente independiente de ellas. Algunas otras especies ocupan un lugar intermedio entre ambos extremos. En el manzano, el crecimiento del fruto requiere la presencia de semillas hasta que éstos alcanzan aproximadamente un tercio del tamaño normal, a tal punto que si presenta pocas semillas, éste abscisiona. Posteriormente el tejido del receptáculo sintetiza suficientes hormonas para el crecimiento de los frutos. Los reguladores usados para obtener partenocarpia son auxinas, giberelinas y citocininas.

Auxinas

Los mejores resultados se obtienen con 4-CPA o BNOA, siendo el AIA, por lo común, poco eficaz. Las auxinas resultan más efectivas en los frutos de muchos óvulos como lo son los higos, frutillas, cucurbitáceas, tomate, tabaco, rosas, pimientos, berenjenas y son ineficaces en el durazno, ciruela, cereza y otros frutos de carozo.

Giberelinas

Producen partenocarpia en algunos frutos donde tienen efecto las auxinas y en otros en los que éstas no son efectivas, como por ejemplo tomate, pero no obstante el fruto no alcanza su tamaño óptimo, permaneciendo pequeño. En manzano, donde las auxinas no obtuvieron buenos

resultados, con la aplicación de giberelinas, éstos han sido satisfactorios. No obstante esto hay que tener en cuenta la gran especificidad entre cultivares y giberelinas, en el momento de decidir la dosis y el momento de aplicación.

Las giberelinas también han estimulado eficazmente la partenocarpia en varios frutos de carozo, incluyendo damasco, durazno y almendra. En damasco se logran frutos del mismo tamaño que los que tuvieron polinización abierta. También se indujo partenocarpia en ciruela, aunque el tamaño final del fruto es menor. En cereza se ha logrado producir frutos de partenocarpia y también un amarre del 40% de las flores con aplicación de giberelinas en concentración de 200 a 250 ppm, en combinación con 2,4 D, 4CPA, 2,4,5 T, ANA y piclorám. Sin embargo hay que tener cuidado con la concentración, debido a las respuestas vegetativas indeseables. También se han obtenido resultados similares en variedades de semilla de vid, pero el tamaño final resulta un poco menor.

Incremento en el amarre o cuajado de frutos

Higuera

Giberelina??

Con 4 CPA se logran amarrar más frutos que con polinización cruzada, en concentraciones de 80 ppm. Los frutos partenocárpicos se desarrollaron hasta alcanzar un tamaño normal y contenían azúcares suficientes, pero carecían completamente de semilla, por lo que tienen poca aceptación comercial.

Tomate

Es posible el uso de 4 CPA cuando no hay amarre por bajas temperaturas nocturnas, en concentraciones de 50 ppm. También se usa ANO en concentraciones de 50 ppm, aplicándose una vez que se han abierto las primeras 3 ó 4 flores de un racimo. Las flores deben rociarse a intervalo de 7 a 10 días.

Aumento del volumen de granos de uvas sin semillas o con semillas

Para este fin se puede utilizar GA₃ en concentraciones de hasta 50 ppm, en floración. Este tratamiento es aconsejable sólo en variedades que producen granos pequeños, dado que en las que producen granos grandes, de por sí, estos resultan demasiado grandes y poco comerciables.

CONTROL DE LA MADURACIÓN

Retraso de la maduración de *Vitis vinifera*

El BOA provoca un retraso de la maduración, de unos cuantos días a varias semanas, en variedades de vid ya sean con o sin semilla. El compuesto debe aplicarse 4 ó 5 semanas después del amarre de los granos, en concentraciones de 5 a 50 ppm, dependiendo del retraso deseado. El compuesto ofrece posibilidades en cuanto a distribuir las fechas de cosecha o satisfacer las demandas tardías del mercado.

Fomento de la maduración del tomate y pimiento

Aplicaciones de etefón 2 semanas antes de la cosecha, en concentraciones de 1.000 a 10.000 ppm, incrementaron el número de frutos maduros a la cosecha.

El Alar ó B9 puede utilizarse a fin de incrementar el rendimiento de la planta y hacer que los frutos maduren de manera más uniforme, permitiendo así un período más corto de cosecha. El tratamiento se realiza en concentraciones de 2.500 ppm, en el estado de 1 a 4 hojas. Ambos tratamientos, el de etefón y el de Alar, incrementaron el rendimiento debido al mayor número de flores y al mayor cuajado de éstas, en cada racimo.

También tratando las plantas con Alar, en concentraciones de 5.000 ppm, una vez que haya amarrado el número deseado de frutos, se obtiene una maduración más uniforme. Tales aspersiones inhiben el crecimiento tardío de los brotes, apresuran la maduración de los frutos e impiden la formación de frutos tardíos, fomentando así la maduración uniforme y facilitando la cosecha mecánica. El apresuramiento de la maduración se debe quizás a la reducción de la competencia de las partes vegetativas por nutrientes y agua del suelo. Las plantas tratadas muestran también mayor resistencia a la deficiencia de agua y a las altas temperaturas.

En general la mayoría de los frutos responden al tratamiento con etefón, en el aceleramiento de la maduración de los mismos, sin embargo hay que tener en cuenta que este regulador puede acelerar también la abscisión de hojas y frutos, si se supera la dosis adecuada.

Promoción de la maduración de frutos retirados del árbol

En muchas variedades de frutos se suele acelerar la maduración en cámaras, y se sabe que el gas etileno es un agente efectivo, en este proceso, pero también hay otros reguladores que se pueden usar con el mismo fin. Las auxinas y el 2,4-D fomentaron la maduración de varios frutos incluyendo plátanos, manzanas y peras. Al sumergir plátanos verdes en 2,4-D en concentraciones de 200 a 1.600 ppm, éstos se tornan amarillos y se ablandaron al cabo de 72 hs., mientras que los no tratados seguían presentando dureza y un color verde profundo. Cinco días después del tratamiento los frutos tratados estaban maduros y tenían un sabor excelente. Los que no fueron tratados mostraban todavía una coloración verde ligera y estaban amargos y duros, esto se debe a que la hidrólisis del almidón procedió a un ritmo más rápido en los tratados que en los testigos. En manzanas y peras, tratamientos de 100 a 1.000 ppm producen la maduración al cabo de 10 a 14 días. Este efecto, de las auxinas, se puede explicar por la inducción de la ACC sintasa.

Al igual que el etileno, el etefón aceleró la maduración de muchos frutos en almacenamiento. El tratamiento consiste en sumergir los frutos durante algunos minutos, en una solución de etefón y luego sacarlos. El tiempo y la concentración varía de acuerdo al fruto y al grado de aceleración de la maduración que se pretende.

Retraso de la maduración de frutos en almacenamiento

Sumergir los frutos en soluciones con GA_3 durante un tiempo, hace que se mantengan verdes durante unos días. Otro método que se está practicando es eliminar la hormona natural de la maduración, el etileno, de las cámaras de almacenamiento. Esto se logra con purafil (base de permanganato alcalino de K) en un portador de silicios, que tiene la capacidad de absorber el gas etileno. El procedimiento que se usa es almacenar los frutos en bolsas de polietileno, que tienen este absorbente, el tiempo deseado y cuando llega el momento oportuno se sacan las bolsas. Los frutos así tratados demoran más tiempo, incluso después del tratamiento, en mostrar el aumento climatérico.

ABSCISIÓN

Control hormonal de la abscisión de las hojas en cultivos agrícolas

En algodón para poder obtener el máximo beneficio de la cosechadora de husillos, debe reducirse la humedad de las hojas o inducirse su caída antes de la cosecha. La cantidad de follaje puede reducirse mediante el empleo ya sea de desfoliadores o desecadores. Los desfoliadores inducen la caída de las hojas y deben aplicarse entre 7 a 14 días antes de la cosecha, a fin de que pueda completarse el proceso de abscisión que induce. En ocasiones las hojas, tallos e incluso ramas de las plantas mueren rápidamente debido a la acción de los desecadores, provocando que la zona de abscisión disponga de muy poco tiempo para desarrollarse, permaneciendo de este modo las hojas unidas a las plantas. Los desecadores requieren de 1 a 3 días para actuar, antes de poder

iniciarse la cosecha. La ventaja que brindan los desecadores sobre los desfoliadores es que pueden aplicarse en una fecha posterior y así se gana un tiempo adicional, durante el cual las hojas siguen funcionando, contribuyendo al mejoramiento de las semillas y la calidad de las fibras.

El paraquat es un compuesto cuya utilización se recomienda como desfoliador o desecador. Actúa con gran rapidez en condiciones cálidas y soleadas. Se produce una decoloración de las hojas a las pocas horas de aplicación, que va seguida, dentro de las 24 hs. siguientes, de una coloración café oscuro. Al utilizarlo como desecador, el compuesto se aplica generalmente cuando el 80 ó 95% de las bellotas han abierto y las restantes que deben cosecharse, están maduras. Cuando se aplica como desfoliador, el paraquat se combina con otro desfoliador. La aplicación se hace cuando el 60 ó 70% de las bellotas hayan abierto y las restantes que deben recogerse, estén maduras. Como desecante se usan 300 g. del producto activo/ha.

Aclareo químico de flores y frutos

El aclareo de la vid y de los frutos de ciertas especies y variedades de árboles frutales, es una práctica comercial necesaria. Esta práctica, sobre todo en manzana, elimina o alivia la fructificación alternada, realzando el volumen, color, y calidad de los frutos. En uva da por resultado racimos menos compactos, que tienen menor probabilidad de provocar la proliferación de hongos y bacterias. El aclareo a mano es uno de los costos más elevados en la producción de manzana. El aclareo de algunos frutales también se requiere para evitar una caída excesiva, desde un mes antes a la cosecha y equilibrar la carga de la cosecha de frutos en proporción con el crecimiento vegetativo del árbol, incrementando concomitantemente el volumen de cada fruto.

Manzana

El ANA y ANAm se utilizan en post-floración, desde la caída de los pétalos hasta 17 días después. En las variedades de maduración temprana se utiliza solamente hasta 10 días después y en los de maduración tardía, hasta 17 días después. Las mejores respuestas se obtienen cuando los frutos tienen de 5 a 13 mm de diámetro. El inconveniente del ANA es que puede producir epinastia en la planta. Este regulador no tiene efecto auxínico en la abscisión, sino que produce el aborto de la semilla.

El Carbaril o Sevin puede utilizarse hasta 25 días después de la caída de los pétalos. Se cree que interviene en el desplazamiento de compuestos químicos importantes para el fruto, alterando el crecimiento y luego provocando la abscisión de éste. Es recomendable si no se produjo un buen aclareo en una primera aplicación, hacer una segunda aplicación después de evaluar los resultados de la primera.

Durazno

En esta especie no se han obtenido tan buenos resultados como en manzana, siendo el DNOC el regulador más eficaz. La principal objeción es que cuando se aplica, todavía existe el riesgo de que ocurran haladas tardías. Debe asperjarse cuando abren el 60 a 90% de los botones florales y se necesita además exactitud en el tiempo de aplicación, debido a que si se retrasan las aspersiones hasta la floración completa o ligeramente después, se obtiene un menor aclareo. Se utilizan concentraciones de 1.000 a 2.000 ppm, dependiendo del cultivar.

El etefón en concentraciones de 30 a 300 ppm ha dado buenos resultados cuando ha pasado la floración completa y hasta 4 semanas después, pero hay que tener cuidado en que variedad se usa, porque puede provocar gomosis o enanismo, en algunas de ellas. También puede aplicarse GAs en diciembre o enero cuando se están diferenciando las yemas. Los efectos de éstas son una menor cantidad de flores y un retraso de la brotación.

Damasco

Los frutos grandes son de más valor que los pequeños y cualquier práctica que permita incrementar el volumen de los frutos, resultaría conveniente, aún cuando provoque una reducción moderada del rendimiento. Se usa DNOC, desde el 60 ó 75% de floración hasta floración completa. Aplicaciones en otros frutales no dan resultados o no son necesarias.

Vid

Es más complicado que en otros frutales ya que en floración se encuentra con las hojas expandidas y los brotes ya son grandes. En algunas variedades han dado resultado el ANA en concentraciones de 5 ppm, pero con 10 ppm se produjo un aclareo excesivo. Los mejores resultados se han obtenido con GAs antes de floración y durante ésta, con concentraciones de 1 a 10 ppm, produciendo un menor amarre de granos y una elongación de los pedicelos, lo que produce un aflojamiento de los racimos.

Prevención de la caída de frutos antes de la cosecha

Con frecuencia los frutos maduros de manzana, pera y otros frutales se caen inmediatamente antes de la cosecha. Los frutos caídos se dañan frecuentemente y por tanto resultan menos valiosos. El uso de reguladores previene esta situación.

Manzana

Los compuestos más usados son auxinas como ANA, 2,4-D y 2,4,5 T. El ANA se aplica en concentraciones de 20 ppm y antes de comenzada la caída. Tiene efecto 2 ó 3 días después de asperjado y dura de 3 a 4 semanas. Conviene hacer de 2 a 3 aplicaciones, pero no tratar a los 2 ó 3 días antes de la cosecha. También se aplica 2,4,5 TP. La caída comienza a la 5ta. o 7ma. Semana, pero tiene efecto a los 7 o 12 días.

Pera

Se utiliza ANA en concentraciones de 10 ppm. Estos árboles no deben tratarse con 2,4,5 TP porque producen daños al follaje y los frutos. El Alar también se aplica en concentraciones de 1.000 ppm y puede hacerse en cualquier época del cultivo.

Cítricos

En estos frutales se usa el 2,4-D, que tiene un período de efectividad de 3 a 4 meses y resulta eficaz una semana después de su aplicación. No debe aplicarse menos de 10 días antes de la cosecha. La concentración debe ser baja, ya que puede actuar como herbicida. Las recomendaciones de uso, según variedades, son:

Naranja Washington Navel	de 8 a 16 ppm
Naranja Valenciana	de 8 ppm
Toronja	de 16 a 24 ppm
Limón	de 4 ppm

Inducción de la abscisión en frutos

Se utilizan reguladores cuando se hacen cosechas mecánicas, para no tener que dañar las plantas con vibraciones muy fuertes. El producto que mejor resultados dio y el que más se utiliza es el etefón en cereza y guinda, en concentraciones de 500 a 1.000 ppm., aplicándose 1 ó 2 semanas

antes de la cosecha. En manzana, durazno, pera, oliva, ciruela, citrus y pasas de corinto, las aplicaciones se hacen antes de la cosecha, en concentraciones de 500 a 2.000 ppm.

Efectos de abscisión posterior a la cosecha

Uno de los problemas más graves del manejo de la uva es la caída de los granos del racimo durante el transporte y el almacenamiento. El tratamiento que mejor resultado dio hasta ahora es el de ANA, en concentraciones de 50 a 100 ppm, una semana antes de la cosecha. Este tratamiento controla la caída, tanto con temperaturas frías como con temperatura ambiente arriba de 21 °C.

SENESCENCIAS:

El proceso de senescencia de plantas, hojas, flores y frutos, ya fue tratado en el capítulo de Desarrollo. Las citocininas, los retardantes del crecimiento (antigiberelinas) y la auxinas (2,4-D), son los compuestos que más frecuentemente se aplican para retrasar la senescencia vegetal. Las giberelinas también se usan, pero su uso es muy limitado, principalmente en frutos cítricos.

Retraso de la senescencia de las verduras

Lechuga y otras verduras de hoja.

Al igual que la mayoría de los vegetales verdes, la lechuga demuestra su envejecimiento con un amarilleo progresivo de sus hojas. Después de la cosecha el amarilleo es signo de descomposición degenerativo de los tejidos y por lo común, va seguido de la formación de puntos de putrefacción y otras enfermedades que afectan la lámina foliar. Todo esto hace que el producto cosechado pierda un gran porcentaje de peso y también valor económico, desde el corte en la quinta hasta la mesa del consumidor. Se ha observado que las aplicaciones pre-cosecha de BA retrasan la senescencia varios días, de 3 a 5, más que el testigo. También se encontraron buenos resultados al tratar las lechugas, una vez cortadas, en el mercado. También los inhibidores como CCC y Alar, en concentraciones de 10 a 100 ppm, remojando las hojas, han producido un retraso en la senescencia, y en algunas variedades con resultados más espectaculares que con BA. También se obtuvieron resultados parecidos con col, coliflor, espárragos, brócoli, espinaca, perejil, zanahoria y otras verduras

Apio

Aplicaciones de BA en concentraciones de 10 ppm, en inmersión posterior a la cosecha de tallos recién cortados, prolonga la duración de la frescura, la coloración de las hojas y la aceptabilidad en el mercado, durante 2 semanas más que los no tratados. La conservación no tiene que ser a altas temperatura, siendo recomendable que éstas sean menores a 16°C.

Col de bruselas

En experiencias consistentes en la sumersión de las cabezas en el momento de la cosecha, en soluciones de BA, en concentraciones de 10 ppm, al cabo de 20 días de almacenamiento a 21°C, el producto permaneció intacto en un 90%, mientras que el testigo no tratado no estaba comerciable.

Retraso de la senescencia de los frutos

Cereza y frutillas

Estas frutas mantienen un valor comercial por la coloración verde de los pedicelos y el caliz, lo cual se logra prolongar por tratamiento en concentraciones de 10 ppm de BA. Estos tratamientos también reducen la pérdida de peso durante el almacenamiento.

Naranja Navel y otros cítricos.

Cuando la naranja "Washington Navel" se acerca a la madurez, el color de la corteza pasa de verde a anaranjado, porque se disminuye la cantidad de clorofila y aumenta el contenido de pigmentos carotenoides. Durante ese período la cáscara se ablanda al principio con rapidez y luego a un ritmo más lento. La coloración y ablandamiento preceden a la maduración de los frutos, por lo tanto la maduración de la corteza comienza antes de la cosecha y prosigue en tanto el fruto permanece en el árbol. En algunos casos esto se prolonga algunos meses. Una corteza blanda hace al fruto susceptible a varios desórdenes fisiológicos que más tarde resultan evidentes en la temporada de recolección y reducen la calidad en almacenamiento y el valor comercial del fruto. Algunos de los desórdenes de la cáscara que se pueden desarrollar durante la senescencia de la misma son manchas, puntos de agua, mayor susceptibilidad a la descomposición, hinchamiento y acumulación de exudados pegajosos. Tales desórdenes pueden evitarse o aliviarse mediante la aplicación de giberelinas, que retrasan la senescencia y así mantienen una cáscara más firme. Las concentraciones van de 5 a 20 ppm. y el momento óptimo de aplicación es cuando el color verde del fruto ha desaparecido en un 80%.

Prolongación de la vida en almacenamiento de las flores cortadas

Son numerosos los compuestos que se han utilizado para mantener las flores cortadas, principalmente las que inhiben la senescencia y la síntesis de etileno. En algunos casos también han dado buenos resultados el ácido salicílico, la HM y las antigiberelinas.

CONTROL DEL TAMAÑO Y FENÓMENOS RELATIVOS

Incremento en la producción en caña de azúcar

En Hawai se probaron muchos productos pero el que mejor resultado dio fue el GA_3 , el cual incrementó la longitud de los tallos y el tonelaje de caña de azúcar en la cosecha. Los rendimientos aumentaron hasta un 25% mediante aspersiones repetidas de giberelinas, aplicándolo en dos oportunidades: primero cuando la caña tenía 2 m. y la segunda aplicación 3 o 4 semanas después. Los mejores resultados se obtuvieron cuando se pospuso la cosecha al menos 3 meses después de la segunda aspersión, con el fin de permitir la maduración adecuada. Del fitómero de la caña, el entrenudo tiene más cantidad de azúcar que el nudo y las giberelinas aumentó la longitud del entrenudo en concentraciones de 100 a 2.500 ppm.

Inducción en la elongación de peciolo de apio

La aplicación de giberelina incrementa la longitud de los peciolo de apio provocando el aumento del rendimiento. Los mejores resultados se obtuvieron en variedades de tallos cortos que se adaptan a la producción en estaciones frías. La aplicación se hace 4 semanas antes de la cosecha, en concentraciones de GA_3 de 25 a 100 ppm. Aplicaciones más tempranas provocan la floración, por lo tanto no deben realizarse.

Mayor rendimiento de látex en los árboles caucheros (*Hebea brasiliensis*)

El 2,4,5T aumenta la producción en algunas de las etapas de la planta al cabo de 30 años de vida. Los mejores rendimientos se obtuvieron con la aplicación de etefón al 10% en aceite de

palma, sobre una franja de corteza de 4 a 6,5 cm situada directamente bajo el corte desangrado. El flujo de látex o el rendimiento de caucho seco aumenta en un 100% o más.

Inicio de desarrollo de bulbos de cebolla

La iniciación del bulbo comienza cuando la longitud del día es de 12 a 16 horas. En la iniciación se produce una elongación de las células de la base de las hojas y los asimilados se trasladan a esos tejidos. El etefón estimula la formación de bulbos en fotoperíodos no inductivos.

La aplicación se hace cuando las plántulas tienen de 4 a 5 hojas verdaderas, en concentraciones de 2.000 a 5.000 ppm y provoca un aumento en la formación del bulbo y una maduración acelerada.

Aumento de los ángulos de bifurcación en los árboles frutales

Las ramas primarias que forman ángulos agudos con los troncos de los árboles frutales producen bifurcaciones estructuralmente débiles, que con frecuencia se rompen bajo el peso normal de la cosecha, reduciendo así la productividad del árbol. Estas bifurcaciones son susceptibles también a los daños invernales (formación de hielo) y a las enfermedades. Actualmente se tiende a la formación de árboles frutales para un mejor aprovechamiento de la luz y plantas más bajas. Las ramas con ángulos abiertos tienen uniones con el tronco principal más fuertes y tolerantes a fracturas y enfermedades.

Manzano

Se ha utilizado TIBA en aspersiones foliares, en concentraciones de 30 a 50 ppm, cuando la planta tiene 1 año de edad. El resultado fue un leve retraso en el crecimiento terminal y se obtuvieron ramas primarias con ángulos de 61°. También se probaron mezclas de giberelinas y citocininas, aplicadas en pasta con lanolina en la yema que se quería hacer una rama primaria y se encontró un mayor ángulo hasta 65° y un mayor aumento del crecimiento de estas ramas: las concentraciones fueron de 0,01% de giberelina y 0,02% de benciladamina.

Cítricos

Se corta la yema apical de plantas de un año y se tratan con TIBA, en concentraciones de 500 ppm., obteniéndose ramas mucho más abiertas para seleccionar en la poda de formación.

Reducción del tamaño de las plantas

Con frecuencia conviene minimizar la elongación de la planta (entrenados más cortos), aunque a menudo puede convenir un tamaño general reducido del vegetal. Con frecuencia los retardantes del crecimiento de las plantas (CCC, Phosfon-D, ALAR) pueden controlar el índice de elongación vegetativo. Reiteradamente otros inhibidores como HM, TIBA, resultan también eficaces. Estos compuestos tienen mucho uso en países desarrollados y se lo utiliza para todo tipo de plantas ornamentales ya sean florales o leñosas.

Árboles frutales

Controlar el tamaño de los árboles frutales ha despertado el interés de los investigadores y fruticultores durante varias décadas. El enanismo mediante portainjertos ha sido el medio principal de producción de árboles pequeños, pero en la actualidad los compuestos químicos ofrecen un segundo método apropiado para controlar el tamaño de los árboles. El Alar resulta muy prometedor en controlar el crecimiento de árboles de manzano, pera, cereza o durazno. Los primeros ensayos se

hicieron en 1963. Se aplicaron 3 aspersiones de Alar en concentraciones de 500 a 2.000 ppm con 10 días de diferencia, 15 a 17 días después de la floración completa. La mayoría de los tratamientos redujo considerablemente el crecimiento de los brotes y con 2.000 ppm el tamaño fue un 50% menor que el del testigo. También provocó la formación temprana de yemas terminales. En general los entrenudos tenían entre la mitad y 2/3 de la longitud de los no tratados, también mostraban hojas más grandes y más gruesas, el diámetro de las ramas fue mayor.

Haciendo un análisis anatómico de las hojas, éstas presentaban más largas las células en empalizada y una distribución más laxa de las células en el tejido esponjoso del mesófilo y en sí la hoja tenía una coloración verde más profunda, dado por una mayor cantidad de clorofila por unidad de superficie de tejido fresco.

Pese a esto el E medido en CO₂ absorbido por unidad de superficie y por unidad de tiempo fue menor, excepto cuando comenzó el envejecimiento de la hoja. Esto puede deberse a un retraso de la senectud provocado por el Alar.

En general para obtener el mayor retraso del crecimiento, las aspersiones deben aplicarse lo bastante pronto en la temporada para que resulten efectivos durante el período de crecimiento terminal. Una o dos semanas después de la aspersión se manifiesta la reducción del crecimiento. La cantidad de inhibición del crecimiento de una variedad dada se determina en su mayor parte por la concentración y el número de aplicaciones.

Arboles de sombra y otros árboles grandes.

Para la reducción del tamaño se utiliza HM en concentraciones de 0,2 a 0,8% cuando ha comenzado el crecimiento y las hojas tienen 3/4 de su tamaño normal.

Control del encamado en cereales finos

La acción de CCC aplicado en concentraciones de 4 a 10 Kg. por Ha. dio por resultado un aumento en la cosecha, debido a la recolección de todas las espigas. El CCC reduce la longitud de los entrenudos y las cañas son más gruesas. La mayoría de los trigos cuando hay mucho N₂ en el suelo y agua en abundancia, se encaman por efecto del viento y las lluvias. En centeno y cebada se obtuvieron resultados similares.

Aumento de crecimiento en pasturas

Se ha logrado aumentar el rendimiento de una pastura de *Lotus tenuis* con aplicación foliar de GA₃ y PO₄H₂K, lo que modificó el hábito de crecimiento de *Lotus*, sin modificar a las gramíneas.

INCREMENTO DE LA RESISTENCIA DE LAS PLANTAS A FACTORES ADVERSOS COMO SEQUIA, HELADAS, TEMPERATURA, ETC.

Se encontró que las antigiberelinas aumentaban la resistencia a la sequía en trigo, cebada, centeno, vid, poroto, manzana, girasol; todo esto se comprobó en macetas, falta el estudio de dosis a campo. También aumentaban la resistencia a bajas temperaturas y en algunos casos a la salinidad del suelo. Las hojas de plantas tratadas presentaron menor número de estomas, menor superficie interna del mesófilo, lo que hace aumentar la resistencia del mesófilo, y cutícula más gruesa.

Abreviaturas usadas en el texto con su correspondiente principio activo.

2,4 D	2,4 dicloro fenoxiacético
2,4,5 T	2,4,5 triclora fenoxiacético
4 CPA	4-cloro fenoxiacético
ABA	ácido abscísico
AIA	ácido indol acético
ALAR o B9	ácido N,N-dimetilaminosuccinámico
ANA	ácido naftalenacético
ANAm	ácido naftalenacetámid
ANO	ácido naftoxiacético
BA	benciladenina <i>es una citoquinina</i>
BNOA	ácido β naftoxiacético
BOA	ácido benzotiazol-2-oxiacético
CCC o CYCOCEL	cloruro de (2-cloroetil) trimetilamonio
CIIPC	m-clorocarbolinato de isopropilo
DIMETIFIN	2,3-dihidro-5,6-dimetil-1,4-ditiin-1,1,4,4-tetraóxido
DNOC	4,6-dinitro-o-cresol
ETEPHON O ETHREL	ácido (2-cloroetil) fosfónico
HM	hidrázida maleica
PICLORAN	ácido 4-amino-3,5,6-tricloropicolínico
TIBA	ácido 2,3,5-triodobenzoico

AVG aminoetoxi vinil Glicina = *inhibe la síntesis de etileno.*

(inhib. la ACC sintasa)

AOA ácido amino oxiacético *isau.*

Bases Fisiológicas de la Acción de los Herbicidas

Este apunte está destinado a los alumnos que están terminando de cursar Fisiología Vegetal. No se incluyen esquemas o fotos de órganos o tejidos vegetales, los cuales deben consultarse en los apuntes o libros de materias ya aprobadas o cursadas. Las fórmulas, propiedades físicas y químicas de los herbicidas deben consultarse en los libros recomendados.

INDICE

Introducción.	2
Características de las malezas.	2
Métodos de control.	3
Herbicidas.	3
Clasificación de herbicidas.	4
Absorción.	5
Adherencia y permanencia de los herbicidas en el suelo.	6
Traslado.	7
Destoxificación.	7
Mecanismos de acción:	8
1) Interfieren en el proceso fotosintético.	8
2) Interfieren en el proceso respiratorio.	10
3) Alteran la integridad de las membranas.	10
4) Interfieren en la división celular.	10
5) Compuestos de acción auxínica.	10
6) Afectan enzimas claves de la síntesis de aminoácidos.	11
Cuadro de mecanismos de acción.	
Momentos de aplicación.	11
Factores morfológicos y fisiológicos de la selectividad.	12
"Antídotos"	13
Mecanismos de selectividad de los cultivos transgénicos	13
Lectura de "cabecera" recomendada.	14

Agradecimiento: Al Profesor Emérito Ing. Agr. Edgardo R. Montaldi las sugerencias y correcciones hechas al manuscrito.

Bases Fisiológicas de la Acción de los Herbicidas

Introducción

La presencia de malezas en pasturas, cultivos, montes frutales o bosques forestales provoca perjuicios por la disminución de la producción y por las erogaciones que se tienen que hacer para controlarlas.

El productor sabe que combatiéndolas contribuye a un mejor rendimiento, tanto cuantitativo como cualitativo, en cultivos extensivos o intensivos (hortícola, florícolas, montes frutales) y asegura la implantación de bosques forestales. Aquel que descuida su control pronto ve invadido sus cultivos o sus potreros por plantas que compiten con las cultivadas o que desalojan a las buenas forrajeras; sus campos se desvalorizan, su producción disminuye, los montes y bosques implantados no progresan, sus semillas y ganado pierden calidad y precio.

Por lo tanto, es de interés para el productor, como para el Ingeniero Agrónomo o Ingeniero Forestal, conocer la biología de las malezas para utilizar el método apropiado en el momento más adecuado para su erradicación o control.

Características de las malezas

Los principales daños que ocasionan las malezas en la producción son causados porque compiten con el cultivo por luz, agua, nutrientes minerales y espacio físico y pueden presentar fenómenos alelopáticos, además, obstaculizar a las cosechadoras o sus semillas formar parte de lo producido. Otras malezas pueden resultar tóxicas para el ganado como *Solanum glaucophyllum* (duraznillo blanco) o producen olores indeseables a subproductos lácteos como *Artemisia verlotorum*, etc.

La competencia por el agua o nutrientes minerales es fácil de entender, ya que estos elementos no siempre se encuentran en exceso en el suelo y hay ocasiones donde se tiene que regar o fertilizar para aumentar el rendimiento (con sus respectivos costos). La presencia de malezas ocasiona un doble perjuicio en estos casos, ya que cuando son absorbidos por las mismas no se encuentran a disposición del cultivo. También existe competencia por agua, aun sin la presencia del cultivo, esto se da cuando el productor hace un barbecho en un potrero para acumular agua en el perfil del suelo, en este caso deben ser controladas, ya que las malezas "bombean" el agua por transpiración, no estando disponible para el cultivo en los momentos críticos del mismo.

Fenómenos alelopáticos o alelopatía se presentan por la presencia de sustancias que son liberadas por las plantas, durante su crecimiento o por su descomposición, que inhiben el crecimiento o la germinación de semillas de plantas de su especie o de otras. Se han encontrado más de 100 sustancias liberadas por eucalyptus, también presentan fenómenos alelopáticos: *Jodina rhombifolia* "sombra de toro", *Cynodon dactylon*, sorgo, girasol, maíz, casuarina, pinos, cupresus, etc.

El rastrojo de sorgo granífero presenta alelopatía que inhibe el crecimiento del cultivo posterior. Este hecho se comprobó en cultivos de trigo, los cuales se retrasan comparados con los que no tienen al sorgo como cultivo antecesor. Las primeras explicaciones del fenómeno se inclinaron en pensar que el sorgo por su abundante sistema radicular dejaba más desprovisto de agua el suelo, pero esto se desestimó cuando el cultivo de sorgo llega a la zona del sudeste de la Prov. de Bs. As., donde las lluvias son abundantes durante todo el ciclo de cultivo de trigo, y también los trigos

que tenían al sorgo como cultivo antecesor en el potrero, presentaban un retraso en su crecimiento en los primeros momentos del cultivo.

X Las malezas presentan características que aseguran su invasión y permanencia, haciendo que en muchas de ellas resulte difícil su erradicación. Su invasión la pueden hacer por semillas que se dispersan por varias vías (anemófila, hidrófila y zoófila) pudiendo permanecer dormidas y viables por varios años, germinando en forma escalonada o cuando se realiza una labranza. También pueden presentar órganos vegetativos de multiplicación e invasión como rizomas, (sorgo de Alepo), estolones y rizomas *Cynodon dactylon* "gramilla", bulbos *Cyperus rotundus* "cebollín", etc. Otra característica es su adaptación a condiciones adversas tanto edáficas como climáticas.

El Diccionario Botánico P. Font Quer las define así: "se denomina maleza a cada una de las especies que invaden los cultivos y son difíciles de extirpar"; en el Manual de Malezas (Mazorcca 1976) "son plantas que llegan a ser perjudiciales o indeseables en determinado lugar y en cierto tiempo"; pero también, cabe una definición más subjetiva desde el punto de vista del productor (teóricos del Ing. Agr. Enrique M. Sívori) "son plantas que se encuentran en un lugar que no se quiere que esté en ese momento". Como ejemplo de la subjetividad podemos mencionar a *Cynodon dactylon* "gramilla", esta especie es usada como forrajera en zonas cálidas y áridas y en otras zonas como fijadora de Dunas; en varias oportunidades se ha dado que se siembra girasol un año y al otro resulta maleza del trigo u otros cereales de invierno. Otro ejemplo es cuando el productor hace en sus potreros rotación de ganadería a agricultura: desea que esté presente la "cebadilla criolla" para alimentación de su ganado, luego resulta ser maleza cuando realiza agricultura, y al volver a ganadería la necesita por ser la principal forrajera de invierno en los buenos campos de la Pampa Húmeda.

Métodos de control

Teniendo en cuenta el cultivo, la especie de maleza presente, la época y la zona se puede considerar dos tipos de control.

Métodos preventivos: Tienen en cuenta evitar la implantación de la maleza. Utilizando semillas puras y clasificadas, maquinarias limpias, controlando la tierra que ingresa con plantas frutales, forestales u ornamentales y vigilando el ganado que viene de zonas enmalezadas.

Métodos de control: Cuando ya está instalada la maleza, minimizan la competencia con el cultivo, reduciendo su población.

Algunos de los procedimientos usuales de control son: rotación de cultivos, la realización de barbechos, tanto en invierno como en verano, el aprovechamiento racional de las pasturas, las labores mecánicas antes o después de la siembra, como aradas, rastreadas, escardillado y desmalezadoras especiales. Los métodos biológicos que utilizan parásitos o insectos específicos, las quemadas y la aplicación de herbicidas. Sobre este último se centrará el tratamiento del tema, comenzando por definir qué es un herbicida y cuáles son las causas que determinan la selectividad de los mismos, su absorción, traslado, mecanismos de acción y persistencia en las plantas y en el suelo. Estas características de cada herbicida se encuentran en el Guía de Productos Fitosanitarios y en el Handbook de Herbicidas.

En los métodos biológicos siempre se corre el riesgo de la no-especificidad, aunque también lo es con el uso de herbicidas, pero su influencia no queda circunscrito solamente a la planta aplicada y a la persistencia en el suelo. En algunos

casos la especificidad del patógeno hacia la maleza, esta dada por uno o pocos genes, los que son factibles de sufrir mutaciones, esto aumenta el peligro potencial de su uso. En el Handbook de Herbicidas suplemento 1998 ha salido la comercialización de esporas de hongos específicos para algunas malezas.

Herbicidas

Son productos químicos que en concentraciones fitotóxicas se utilizan para matar las plantas, inhibir el crecimiento o la germinación de semillas. Cualquiera de estos tres efectos le permiten al cultivo ganarle en la competencia a las malezas.

El empleo de herbicidas empezó a tomar importancia a través del descubrimiento de la acción herbicida de los reguladores del crecimiento, cuando se trata con ANA un cultivo de avena y se observó que mataba la "mostaza silvestre" *Sinapsis arvensis*, en Inglaterra en 1940 (este descubrimiento se guardó como secreto de guerra). Después de la Segunda Guerra Mundial se desarrollaron comercialmente reguladores como herbicidas.

Clasificación de los herbicidas

- Por su acción sobre distintas especies o cultivares

a) Selectivos

Selectividad es la acción fitotóxica diferencial que posee un herbicida por lo que afecta a las malezas sin afectar al cultivo. La selectividad puede estar dada por su penetración, traslado, modo de acción, permanencia en la planta (desintoxicación), como por su forma de aplicación o concentración.

b) Totales

También conocidos como no selectivos. Se incluyen en este grupo a los esterilizantes de suelo temporales o permanentes. Un herbicida selectivo aplicado en altas concentraciones se comporta como total.

- Por su traslado en la planta

a) De contacto

No se trasladan en la planta y sólo afectan o matan los tejidos donde se aplican.

b) Sistémico

Penetran y se trasladan en la planta pudiendo producir desarreglos metabólicos, en el lugar de aplicación o lejos en otros tejidos.

Apoplásticos: Son absorbidos por hojas, tallo o raíz y se trasladan por el apoplasto.

Simplásticos: Son absorbidos por hojas, tallo o raíz y se trasladan por el simplasto.

Aposimplásticos: se trasladan por las dos vías.

- Por la oportunidad en que se aplican

a) de pre-siembra: se aplican antes de la siembra o plantación.

- b) de pre-emergencia: se aplican después de la siembra, pero antes que emerjan las plántulas.
- c) de post-emergencia: Se aplican después que emerge el cultivo.

- Por el modo de aplicación

Se puede aplicar en el suelo con incorporación parcial o total en algunos de los momentos del cultivo (pre-siembra, pre-emergencia y post-emergencia) y de aplicación en el follaje pudiendo ser de contacto o sistémico en el estado de post-emergencia del cultivo.

El modo de aplicación también puede ser un factor de selectividad por ejemplo: haciendo aplicación entre surcos, mojando sólo a las malezas sin tocar al cultivo, o usando equipos de soga embebidos con "glifosato" (herbicida sistémico no selectivo) tocando a las malezas más altas que el cultivo.

ABSORCIÓN

La absorción de los herbicidas como de cualquier otra sustancia por la planta, se hace por el apoplasto o por el simplasto.

El **apoplasto** es un sistema de paredes celulares y espacios intercelulares interconectados que incluyen los elementos saturados de agua o aire del xilema.

El **simplasto** constituye la parte restante de la planta, es un sistema de protoplasmas interconectados, unidos de una célula a otra por medio de plasmodesmos que excluyen a las vacuolas. El apoplasto protege al simplasto y cualquier sustancia química que entre al simplasto, deberá atravesar antes al apoplasto. Los herbicidas dañan o matan a las plantas, por su actividad sobre el simplasto.

Absorción por el Follaje

El herbicida retenido sobre la superficie foliar para penetrar la hoja debe atravesar una serie de barreras. Se halla primero una capa de cera epicuticular cuyo carácter, composición y espesor varía con la especie, la edad y las condiciones de crecimiento, sigue la cutícula propiamente dicha, que es una capa de cutina, que cubre las paredes celulares epidérmicas exteriores y se compone de alcoholes y ácidos grasos polimerizados de cadena larga, luego le sigue la laminilla media constituida por sustancias pépticas, luego la pared celular y finalmente el plasmalemma. La cutícula está atravesada por canales que se denominan ectodesmos, que conectan el plasmalemma con la superficie foliar. Los ectodesmos se encuentran con mayor densidad en las nervaduras y en las células oclusivas de las estomas. Estos constituyen una vía muy importante de penetración de los herbicidas a la hoja, atribuyéndose la alta correlación observada entre la densidad de estomas y la facilidad de penetración de herbicidas, al doble hecho de la falta de cera en las células oclusivas y la elevada densidad de ectodesmos que poseen.

La apropiada absorción de un herbicida depende de su capacidad para atravesar la cutícula, la laminilla media y la pared celular. Los compuestos solubles en grasas penetran con facilidad en la cutícula, el agua y los solutos polares lo hacen con facilidad en las porciones pépticas y celulósicas, herbicidas en formulaciones en forma de ésteres solubles en grasas pueden entrar a las hojas a través de la epidermis, aún cuando no haya estomas presentes. También en cierta forma la

cutícula es permeable a las moléculas polares como son los iones de compuestos Clorofenoxi, Dalapón, HM (Hidrácida Máléica) y Glifosato.

La penetración de la hoja por parte de moléculas polares se ve facilitada considerablemente por la alta humedad, lo cual indica que la entrada ocurre a través de un medio acuoso. Un alto contenido hídrico de la hoja, como consecuencia de la alta humedad en el suelo y en la atmósfera, permite al sistema de agua de las células de la hoja quedar casi contiguo a la superficie exterior de la cutícula, proporcionando una trayectoria acuosa a partir de ésta, hasta el simplasto.

La penetración de herbicidas puede producirse a través de los estomas, si es que ya han abierto al momento del tratamiento. Puesto que por lo común las soluciones acuosas puras no entran en los estomas, se requiere un agente humectante que haga disminuir la tensión superficial, de esta manera ya no se forman gotas sobre la cutícula sino una película que atraviesa el ostiolo, cubre toda la cavidad sub-estomática y se extiende a lo largo de los espacios intercelulares humedeciendo las paredes de las células del mesófilo y llega hasta el haz de células de los tejidos conductores. Si existen resquebrajaduras en la cutícula, los agentes humectantes facilitan la penetración.

Absorción por Tallos Herbáceos
Con frecuencia la aplicación de herbicidas a los tallos verdes y succulentos de las plantas pueden ser tan eficaces o más que las aplicaciones foliares. Razon de esto puede ser que se desoxifiquen menos; Otro motivo es que aparte del transporte simplástico puede penetrar el xilema y seguir la corriente transpiratoria y llegar más rápido a los sitios de acción.

Absorción por Tallos Leñosos

Por lo común la corteza de los tallos leñosos presenta una barrera firme contra la penetración de los herbicidas. Existe gran variación entre tipos de corteza. Algunos tienen grietas que dejan expuestas cantidades considerables de tejido cortical no suberizado; en otros tipos la corteza no tiene fisuras ni grietas y pueden estar o no atravesadas por lenticelas suberosas.

Las aspersiones acuosas no sirven por lo común, para obtener una buena penetración, por lo tanto se hace una formulación soluble en aceite. Comúnmente se aplica 2,4,5 T al 5% u otros fenoxi, disolviéndolos en gasoil, debe aplicarse en altas concentraciones para afectar todas las yemas presentes y evitar así nuevos rebrotes.

A veces conviene aplicar el herbicida a una superficie cortada en torno al tronco (sacando una cuña en bisel). Una solución acuosa o un portador de aceite del herbicida se aplica a los cortes y se desplaza con rapidez por los sistemas conductores del árbol o arbusto. Las soluciones de 2,4 D como de 2,4,5 T, son extremadamente eficaces cuando se aplican de ese modo, lo mismo que el Picloram que se traslada por aposimplasto.

Absorción de Herbicidas por las Raíces

La absorción por las raíces sigue el mismo mecanismo que el agua y las sales minerales por tal motivo no se tratará en este apunte.

La entrada de 2,4 D por las raíces es rápida, la del HM. y el Dalapón es muy lento, pero la velocidad de traslado dentro de la planta es diferente (simplasto el 2,4 D y aposimplasto los otros) el 2,4 D es el último en llegar a las hojas.

Adherencia y Permanencia de los Herbicidas en el suelo

Para el caso de herbicidas aplicados al suelo, la cantidad de producto activo que llega al sitio de adsorción dependerá de la solubilidad del herbicida al agua, la interacción con la materia orgánica y coloidal del suelo, la velocidad de lixiviación y el ritmo de inactivación por descomposición química y microbiana. Se demostró que por su actividad microbiológica el 2,4 D se destruye rápidamente en el suelo y al cabo de 2 a 4 semanas ya no quedan trazos del producto activo.

La adsorción y lixiviación son factores importantes para reducir la concentración disponible en la solución del suelo, lo que hace disminuir el índice de entrada del compuesto a las raíces.

La descomposición química, que incluye procesos como la oxidación, reducción, hidrólisis e hidratación, destruye algunos herbicidas en el suelo, por ejemplo: el Dalapón sufre una hidrólisis lenta en presencia de agua, que lo hace inactivo; en estado físico de adsorción en micelas, pueden sufrir más fácilmente alteraciones químicas. El Glifosato es adsorbido por las micelas del suelo y los microorganismos la degradan con facilidad. Tiene una vida media de 60 días en el suelo, dependiendo del tipo de suelo. Cuando el suelo está caliente, grandes cantidades de productos volátiles se pierden por evaporación, esto pasa con ésteres del 2,4 D y sus gases pueden derivar en el aire y dañar a cultivos susceptibles.

La solubilidad en agua y capacidad de lixiviación puede utilizarse como mecanismo de selectividad de acuerdo a la ubicación de las raíces. Esto ocurre con herbicidas de una misma familia química como las ureas sustituidas. El Fenurón, muy soluble en agua, se utiliza para eliminar plantas perennes con sistemas radicales profundos mientras que el Diurno y el Neburón, poco solubles, son utilizados para aplicaciones de pre-emergencia cuando se quiere eliminar malezas que germinan cerca de la superficie, sin afectar el cultivo sembrado a mayor profundidad.

TRASLADO

Las vías por las que se mueven los herbicidas en las plantas son las mismas protas que lo hacen los nutrientes y los azúcares, es decir por el apoplasto (paredes celulares y xilema) o el simplasto (protoplasto y floema). Hay herbicidas que se mueven sólo por el simplasto, los ejemplos típicos son el 2,4 D y otros del tipo auxínico, su movilidad se ve favorecida por el flujo de fotosintatos pero no es muy rápida. Las Triazinas y las Ureas sustituidas se mueven por el apoplasto. El Dalapón lo hace por el xilema o el floema, al igual que el Glifosato, el Picloram y los Clorobenzoicos.

DESTOXIFICACION

Además de ser absorbidos y trasladarse hasta el sitio de acción, los herbicidas deben alcanzar cantidades tóxicas de producto activo en el sitio de acción de las células para producir la muerte de la planta. Que se alcance o no esa concentración depende de los factores ya mencionados y de las modificaciones que sufran las sustancias dentro de la planta.

Después de entrar en las plantas la mayoría de los herbicidas se metabolizan o descomponen en sustancias no tóxicas y de esta forma se reduce la cantidad de producto activo. La pérdida de la actividad como herbicida dentro de la planta se

X conoce como **destoxificación**: esto puede ocurrir por varias formas, alteraciones en la molécula activa que la transforman en inactivas, por rotura de ligaduras, desprendimiento de átomos, agregado de nuevos átomos o grupos, hidrólisis, reducción, oxidación, etc. Con otros compuestos pueden formar sustancia ligadas, al igual que las auxinas, otras hormonas y reguladores en la planta. Pueden ser adsorbidos en coloides y también se pueden acumular en las vacuolas. Si cierta especie o variedad se destoxifica más fácilmente que otra, tendrá una base firme de selectividad del herbicida en cuestión.

X El 2,4,5 T resulta más tóxico en pepino que el 2,4 D debido a que esta especie destoxifica más rápidamente el 2,4 D que el 2,4,5 T.

El maíz puede hidroxilar a la Atrazina y otras Triazinas, para formar un derivado que se conjuga con el glutatión, protegiéndose así contra la acción letal del herbicida; sin embargo las plantas susceptibles no pueden modificar al compuesto que se acumula hasta alcanzar niveles tóxicos, por tal motivo se utiliza la Simazina en cultivos de maíz para matar cualquier otra planta.

X El Glifosato se degrada en las plantas a ácido amino metil fosfonio, pero tan lentamente que esta destoxificación no alcanza a evitar los daños.

Los "antídotos" utilizados, que figuran en el Handbook de herbicidas, inducen (en forma diferencial) la síntesis del tripeptido glutatión el cual se conjuga con el herbicida inactivándolo o la modificación de las moléculas, en ambos casos ya no tienen efecto tóxico.

MECANISMOS DE ACCION (ver cuadro)

No existen en las plantas estructuras o procesos vitales especiales para la acción de un herbicida. Contrariamente, en todos aquellos casos de los que se tiene conocimiento, la acción tóxica de un herbicida se vincula siempre a una interferencia sobre uno o más de los procesos fisiológicos normales de la planta. El estudio del modo de acción de los herbicidas, implica el análisis de la secuencia de respuesta anatómica y morfológicas, así como las fisiológicas y las bioquímicas que finalmente conducen a la acción fitotóxica. Estos estudios comienzan con la absorción o penetración, transporte, sitio o mecanismo de acción, que es la acción perjudicial a nivel celular, de carácter biofísico o bioquímico, capaz de terminar en la muerte de la planta. La interacción de estos factores con el herbicida y el medio, determinan la acción específica y selectiva de un producto químico sobre una población vegetal.

La actividad de un herbicida puede ocurrir a varios niveles en la planta. Algunas reacciones pueden ser muy generales como por ejemplo: la disolución de las membranas o la cutícula como ocurre con los aceites, otras reacciones son muy específicas a nivel subcelular y bioquímico.

El entendimiento del modo de acción de los herbicidas es difícil, pues es muy complejo. Existen más de 180 compuestos, la información existente de la mayoría de los mismos es fragmentaria y está muy lejos de ser satisfactoria; pero en algunos casos integrando estudios de tipo morfológicos, microestructural, bioquímico y fisiológico se ha llegado a entender el cuadro de acción casi completo de unos pocos compuestos. Frecuentemente se ha observado que un herbicida puede interferir en más de un proceso fisiológico, lo que hace difícil discurrir cuál es su mecanismo de acción primario.

Estos conocimientos podrían agruparse en seis grandes categorías:

1) Interfieren en el proceso fotosintético

a- Desviadores o aceptores de electrones

La acción primaria de estos compuestos es aumentar la cantidad de radicales libres y su acción secundaria es la oxidación de lípidos y pigmentos.

Son aceptores de electrones tanto de la fotosíntesis como de la respiración. La acción de estos compuestos es más intensa en presencia de la luz y no ocurre en ausencia de oxígeno. Se reducen y luego ceden los electrones al

X agua formando HO[•] (radicales libres), se reducen y oxidan constantemente y no se degradan en la planta, no se trasladan y no tienen selectividad. Aplicados al atardecer manifiesta un lento traslado por el apoplasto.

Estos compuestos pertenecen al grupo de los dipiridilos, son sales solubles en agua, no volátiles que se inactivan casi instantáneamente en el suelo, lo cual permite sembrar inmediatamente después de la aplicación. Se utilizan como desecantes foliares y en labranza cero. Ej.: Paraquat y Diquat.

b- Inhibidores de transporte de electrones:

A Actúan en la fase lumínica de la fotosíntesis, inhibiendo el transporte de electrones del fotosistema II al I. Bloquean la unión de la plastoquinona B (Q_B) con la Proteína D1 del fotosistema II. Producen un aumento de la fotooxidación y destrucción de pigmentos. Si la concentración de estos compuestos es elevada inhiben la fotólisis del agua. No se produce ATP ni ferredoxina reducida ni NADPH, lo cual provoca pérdida de la integridad de las membranas y disminución en la actividad metabólica. Se inhibe la división celular y la reducción de nitratos y sulfatos.

TRIAZINAS

Son fácilmente absorbidas por las raíces, se trasladan por el apoplasto y se acumulan en los meristemas apicales. Son insolubles en agua y muy poco solubles en solventes orgánicos. Pueden utilizarse como herbicidas de acción total. El maíz tiene tolerancia, por lo que puede utilizarse como selectivo para este cultivo (remoción del Cl por hidrólisis y conjugación con glutatión). Ej.: Simazina, Atrazina, Prometón, etc.

UREAS SUSTITUIDAS

Poseen el mismo mecanismo de acción que las triazinas. Pueden utilizarse como herbicidas totales o selectivos de acuerdo a las dosis. Ej.: Monorón, Diurno, Neburón, DCMU, Linurón, Fenurón, Fluormetón, etc.

URACILOS

Poseen igual mecanismo de acción que el anterior. Ej.: Bromacil, Terbacil, Lenacil.

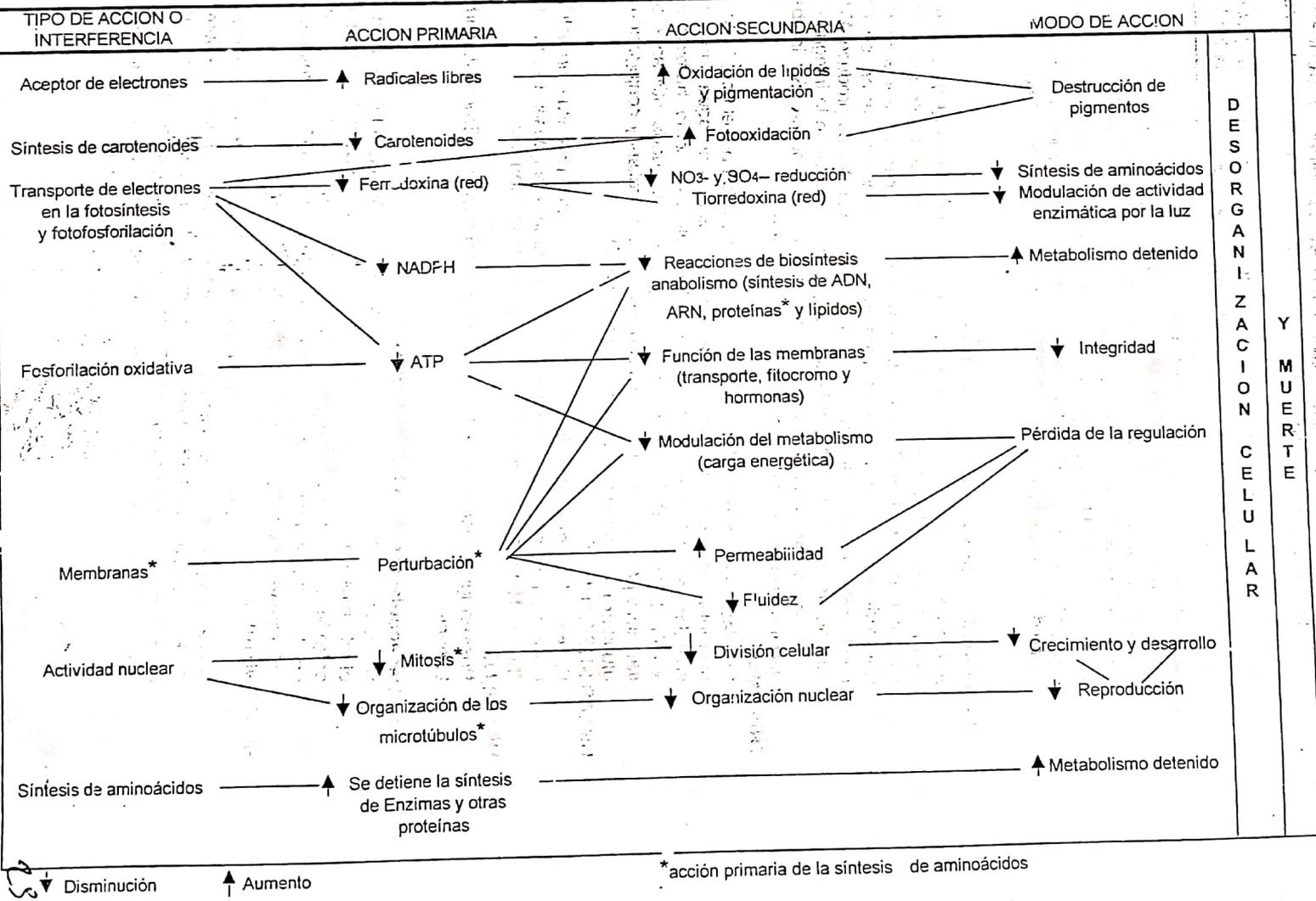
c- Desacoplantes de la fotofosforilación:

X No inhiben la fotosíntesis pero sí la fotofosforilación. La célula, el tejido y la planta mueren por falta de ATP. Hacen que desaparezca la diferencia de pH entre las membranas tilacoidales y estroma del cloroplasto o interna y matriz de la mitocondrias, por lo tanto no actúan las ATP sintetasas. Ej.: detergentes que rompen membranas y amonio que neutraliza cargas.

BENZONITRILLO

Por ejemplo el Diclobenil, que inhibe la germinación de las semillas y la división celular en los meristemas. Es absorbido por las raíces y tegumentos de las semillas trasladándose lentamente por el apoplasto. Se utiliza en tratamientos de post-emergencia. Ej.: Bromoximil, Ioxinil, Diclobenil. Otros desacoplantes son el Amonio, las Aminas Simples y la Perfluidona.

Mecanismos de acción



↓ Disminución ↑ Aumento

*acción primaria de la síntesis de aminoácidos

d- Inhibidores de la ATP sintetasa:

No se desarrollaron productos comerciales.

e- Síntesis de carotenoides e indirectamente por el desarrollo de los cloroplastos: Disminuyen la síntesis de carotenoides provocando el aumento de la fotooxidación, produciendo la destrucción de pigmentos clorofilianos, la desorganización celular y finalmente la muerte de la planta.

AMINOTRIAZOLES

Son de absorción lenta y de buen traslado. Inhiben la formación de clorofila y carotenoides. Ej.: Amitrol.

PIRIDAZINONA

Se absorbe por las raíces y afecta la biosíntesis de carotenoides y el transporte de electrones en la fotofase de la fotosíntesis. Ej.: Metilfluorazona.

2) Alteran el transporte de electrones y la fosforilación oxidativa en las mitocondrias.

Con menor o mayor efecto todos los que actúan 1b, 1c, y también con menor actividad 1a Fenilcarbamatos y Nitrofenoles, estos últimos el Dinosé y Nitrofen, producen la necrosis de los tejidos.

Los desacoplantes provocan que la actividad respiratoria aumente por la alta concentración de ADP, lo que lleva al consumo de todos los sustratos posibles del proceso respiratorio, azúcares, lípidos, y por último aminoácidos y proteínas, llevando a la muerte de la planta.

3) Alteran la composición, permeabilidad e integridad de las membranas.

Producen una disminución en las funciones de las membranas, el transporte, la acción del fitocromo y las hormonas. Al perder su integridad se pierde el control metabólico a causa de la mayor permeabilidad, como consecuencia hay una disminución de las reacciones de biosíntesis (síntesis de ADN, ARN, proteínas y lípidos) y se detienen el metabolismo.

Existen algunos compuestos de efecto directo, como la Piridazinona y los Tiocarbamatos, Sethoxydim, Alachlor. Otros compuestos afectan la síntesis de lípidos y también la fosforilación, por ej.: Perfluidona, Ioxinil, Bromoxinil, Triazinas, Nitrofenoles.

4) Interfieren en la división celular, producen aberraciones mitóticas, vacuolización y alargamiento celular.

Disminuyen la mitosis, la meiosis y la división celular, consecuentemente disminuyen el crecimiento, actúan sobre la organización de los microtúbulos y la reproducción. Ej.: Fenilcarbamatos (CI IPC, IPC), Dinitroanilinas, H.M.

DINITROANILINAS

Son absorbidas por las raíces y los tallos. Se trasladan en forma lenta por vía apoplástica y se acumulan en áreas con alto contenido en lípidos. Inhiben la actividad de algunas enzimas y causan desuniformidad en la diferenciación del xilema. Poseen una moderada persistencia en el suelo. Se utilizan para el control de gramíneas y latifoliadas en pre-siembra. Ej.: Trifluralina.

5) Compuestos de acción auxínica:

FENOXIACÉTICOS.

Hay varios productos usados, son compuestos auxínicos, pero a diferencia de AIA, estos son muy estables en los tejidos, lo que responde

probablemente a la ausencia de sistemas enzimáticos específicos capaces de degradar esa sustancia.

El efecto de los herbicidas, deriva del cambio que se produce en el balance de reguladores que excede la capacidad de control de la planta. Se supone que actúa a nivel de los ácidos nucleicos a través de una activación indiscriminada de genes, hay una rápida síntesis de proteínas provocando un metabolismo incontrolado.

Los compuestos clorofenoxi hacen que los tejidos de la planta vuelvan al estado meristemático, condición que se observa frecuentemente en tallos de plantas tratadas y en ocasiones la proliferación bloquea los tejidos conductores. Se forman callos o tumores en toda la planta, también se observa epi e hiponastía en hojas y tallos. Estos efectos provocan casi siempre la muerte de la planta.

La selectividad de los fenoxi acéticos que se usan para eliminar dicotiledóneas en cultivos de gramíneas, se debe en parte a diferencias de absorción y a la diferente capacidad de traslado y poder de destoxificación.

Por lo común, las formulaciones de ésteres de 2,4 D son más tóxicas que las sales, debido a que las primeras penetran con mayor facilidad en las hojas y otras superficies de las plantas, por lo tanto los ésteres se aplican en menor concentración.

Se puede aplicar a cualquier parte de la planta, pero en el suelo se descomponen fácilmente, su transporte es por vía simplasto y es favorecido por el flujo de fotosintatos. Su movilidad en la planta no es rápida y decrece en este orden: 2,4 D; MCPA; 2,4,5 T; el 2,4 DB es muy poco móvil.

CLOROBENZOICO

Provoca los mismos efectos que los clorofenoxi, tienen propiedades parecidas a éstos pero son más estables en el suelo, se usan en aplicaciones al suelo y foliar, se trasladan rápidamente por vía aposimplasto.

PICLORAM (Tordon)

Induce los mismos efectos fisiológicos que los clorofenoxi. Se recomienda para el control de especies perennes, herbáceas o leñosas, su aplicación es al suelo o foliar, tiene una alta movilidad en la planta y lo hace por vía aposimplasto. Es selectivo para gramíneas y tiene poca actividad sobre crucíferas. Los residuos persisten mucho en el suelo y pueden perjudicar al cultivo siguiente si es sensible al producto.

6) Afectan enzimas específicas de la síntesis de aminoácidos.

Son compuestos químicos que inhiben alguna enzima clave (alostéricamente) del metabolismo de aminoácidos, como por ejemplo: Glifosato, inhibe la síntesis de aminoácidos aromáticos. Glufosinato, que inhibe alostericamente a la glutamina sintetasa (GS), enzima que actúa en la asimilación del amonio a aminoácido. Varios herbicidas nuevos inhiben la enzima aceto lactosintasa (ALS) enzima clave en la síntesis de isoleucina, leucina y valina, (Sulfonilurea etc.).

MOMENTOS DE APLICACIÓN

Las condiciones climáticas tienen que ser aquellas que favorecen una alta actividad metabólica, de esta forma los efectos se producen rápidamente resultando más efectivos, disminuyendo además la factibilidad de destoxificación. La luminosidad favorece el traslado del herbicida por el floema conjuntamente con los

fotoasimilados, como vimos para el 2,4 D y otros que lo hacen por el simplasto. La radiación también favorece a los herbicidas que actúan en la fotosíntesis y los que son aceptores de electrones. La humedad favorece la hidratación de la cutícula y de esta forma la penetración de herbicidas con grupos polares; también el flujo transpiratorio y traslado de los herbicidas que lo hacen por el apoplasto. La temperatura aumenta el metabolismo. Algunos herbicidas por su volatilidad no se pueden aplicar por encima de cierta temperatura.

Las lluvias lixivian el producto tanto de la hoja como del suelo. El primer herbicida que se estudió la absorción con ^{14}C fue el 2,4 D determinándose que después de 6 horas de aplicado, si las condiciones de humedad son favorables, ya penetró en las hojas. El Handbook de Herbicidas indica el tiempo de absorción de la mayoría de los herbicidas.

Con respecto al viento, se encuentra reglamentado cuando se puede aplicar, considerando además la distancia a otros cultivos, de acuerdo a su velocidad y al equipo utilizado (terrestre o aéreo).

En post-emergencia el momento de aplicación debe coincidir con la menor sensibilidad de la especie cultivada, con la mayor sensibilidad de la maleza que se quiera destruir. El trigo, la mayor susceptibilidad al 2,4 D la presenta en estado fenológico de plántula y después que pasa al estado reproductivo (doble lomo y encañazón), el estado de menor sensibilidad al herbicida es el de macollaje, en el cual se recomienda su aplicación.

FACTORES MORFOLÓGICOS Y FISIOLÓGICOS DE LA SELECTIVIDAD

Por selectividad se entiende al hecho de que algunos herbicidas pueden dañar o matar algunas especies y no afectar a otras, las causas de la selectividad pueden ser por factores morfológicos, fisiológicos o por el modo u oportunidad de aplicación, aquí sólo trataremos las dos primeras.

Posición de las hojas y las yemas

Las hojas en forma planófilas están más expuestas que las erectófilas. De esta forma reciben más gotas por unidad de superficie folial, o sea más producto activo. También esa disposición hace que las gotas queden retenidas, no se desplacen y caiga (que es lo que pasa en las erectófilas), más si tienen en su superficie ceras. Las pubescencias también ayudan a que caigan o no estén en contacto con la cutícula.

Los puntos de crecimiento de las plantas de hojas anchas, se encuentran situadas en las puntas de los brotes o en las axilas de las hojas, donde se los humedece con facilidad en las aspersiones. En cambio en las gramíneas y otras monocotiledóneas están protegidos por las hojas superiores; esto hay que tenerlo en cuenta con los herbicidas de contacto y con los que se destoxifican durante el traslado.

Absorción

Por lo común los compuestos se absorben por las raíces o las hojas. El índice de absorción depende de la etapa de desarrollo de la planta. La cutícula o la superficie cerosa es más gruesa en las hojas viejas que en las jóvenes y las plantas de sombra tienen una cutícula más delgada que las de sol.

El espesor de la cutícula varía también entre especies, lo mismo que la capa cerosa, constituyen una barrera importante contra la absorción de compuestos. Plantas de cutícula delgada absorben fácilmente el compuesto y pueden morir,

mientras que las que tienen gruesa cutícula pueden absorber cantidades pequeñas y sobrevivir.

En ocasiones, el número y tamaño de los estomas ejerce efectos importantes en la cantidad de producto activo absorbido. Las especies vegetales difieren en cuanto al número de estomas por unidad de superficie foliar y en su ubicación, en algunas especies están sólo en la superficie inferior, pero en otros se encuentran tanto en la inferior como en la superior. En ciertas plantas la penetración a través de los estomas resulta importante sólo cuando se utilizan aceites o agentes humectantes.

Traslado

Para que un herbicida tenga efecto, debe trasladarse al sitio de acción que para muchos son los meristemas. La velocidad de traslado varía de herbicida en herbicida y de especie a especie, un herbicida puede tener mayor velocidad de traslado en una especie que en otra y de esta forma ser más tóxico; aquí tienen también importancia los mecanismos de detoxificación de cada planta hacia el herbicida. En general el índice y la cantidad de translocación del 2,4 D dentro de las especies susceptibles es mayor que el que ocurre en las especies resistentes.

Conversión de productos inactivos en activos

El 2,4 DB no tiene acción herbicida en las plantas, pero por β -oxidación se transforma en 2,4 D. En algunas leguminosas (alfalfa y otras) la enzima que produce la β -oxidación es poco activa o tiene menor actividad y no se transforma tanto 2,4 DB en 2,4 D, resultando tolerante al herbicida.

Destoxificación

Este es un importante mecanismo de selectividad ya explicado.

"Antídotos"

Una nueva técnica química que presenta un futuro promisorio es el uso de "antídotos". Son compuestos capaces de proteger un cultivo de la acción perjudicial de un herbicida, permitiendo en cambio la acción fitotóxica sobre las malezas.

Hay varios compuestos químicos que se comercializan junto con el herbicida, los cuales activan la síntesis de glutatión y su conjugación con el herbicida, perdiendo de esta forma su actividad tóxica, de manera diferencial con el cultivo y no con las malezas. Ej.: MON-13900 induce la síntesis de glutatión en cultivos de maíz, sorgo y otras gramíneas conjugándose con varios herbicidas, el CGA-123407 en arroz. R-29148 para aplicaciones en suelo en cultivo de maíz, antídoto del herbicida EPTC (inhibe la síntesis de lípidos).

En nuestro país se encuentran dos productos comerciales (tiocarbamatos) con su antídoto Dichormid (N,N dialil, dicloro acetil amida), el cual activa la síntesis de glutatión, se aplican en presiembra incorporados al suelo: "Butilato + Antídoto" en cultivos de alfalfa, algodón girasol y maíz. "EPTC + Antídoto" en cultivos de caña de azúcar, maíz y papa.

Otros inducen la síntesis de enzimas que detoxifican a los herbicidas como el Flurazole (se desconoce el mecanismo) en cultivos de sorgo, antídoto a los herbicidas Alachlor y Acetochlor (inhiben la síntesis de membranas).

CGA-185072 induce la hidroxilación del herbicida CGA-184.927 y su posterior conjugación con la glucosa. Protege a los cultivos de trigo, centeno y triticale. HOE-70542 en cultivos de trigo, centeno y triticale, acelera la detoxificación del herbicida Fenoxaprop, el que actúa inhibiendo la enzima clave del metabolismo de los lípidos Acetil Co A Carboxilasa (ACCase).

MECANISMOS DE SELECTIVIDAD DE LOS CULTIVOS TRANSGENICOS UTILIZADOS EN LA ACTUALIDAD.

Se han encontrado mecanismos de detoxificación de algunos herbicidas y se transfirieron los genes que los codifican desde bacterias a especies cultivadas, los que resultan tolerantes a los mismos, afectando al resto de las plantas tratadas.

BROMOXIMIL

Los cultivos trasgénicos son algodón, tabaco, canola y trébol rojo. El tipo de acción del herbicida es en la Fase lumínica de la fotosíntesis en el Fotosistema II, se une a la Proteína D₁ impidiendo la unión de la Plastoquinona B (Q_B) cortando el flujo de electrones, la tolerancia se logra al transferir el gen de una bacteria (bxn) que degrada al grupo nitrilo impidiendo la unión con la Proteína D₁.

GLUFOSINATO

Los cultivos trasgénicos son algodón, arroz, maíz, soja, remolacha azucarera y canola. El herbicida actúa inhibiendo la glutamina sintetasa, esta enzima convierte al glutamato más amonio en glutamina, acumulándose amonio en la célula, el cual es un desacoplante de la fotosíntesis y de la respiración, matando a la planta por falta de ATP. La tolerancia está dada por un gen que codifica una enzima que acetila al Glufosinato, impidiendo que inhiba alostericamente a la glutamina sintetasa, convirtiéndolo en no tóxico.

GLIFOSATO

Los cultivos trasgénicos son algodón, maíz, soja, remolacha azucarera y canola. En otras especies todavía no se logra una variedad comercial, ellas son: tomate, zanahoria, achicoria y petunia. El herbicida es no selectivo, se traslada por aposimlasto y actúa inhibiendo la síntesis de aminoácidos aromáticos (triptofano, tirosina y fenil alanina) porque inhibe a la enzima **enolpiruvilshinkimato fosfato sintetasa (EPSPS)**. Esta enzima se sintetiza en el citosol y actúa en el cloroplasto (ver unidad temática de Nutrición Mineral: Asimilación del Nitrógeno) La tolerancia está dada por un gen simple dominante que codifica la enzima EPSPS (segrega en forma mendeliana) transferido a través de un plasmido de *Escherichia coli* obtenido de la cepa CP4 de *Agrobacterium* con una secuencia codificadora del péptido de transito al cloroplasto (CTP) tomada de la enzima EPSPS de *Petunia*. Por lo que los cultivos trasgénicos RR tienen dos isoenzimas para la síntesis de los aminoácidos aromáticos en el cloroplasto, de las cuales una es inhibida por el Glifosato y la otra transferida de *Agrobacterium* no.

SULFONYLUREA

Los cultivos trasgénicos son algodón y soja. Actúa inhibiendo la aceto lactosintasa (ALS) enzima clave en la síntesis de los aminoácidos isoleucina, leucina y valina. La tolerancia esta dada por una detoxificación que modifica la unión del herbicida con la enzima ALS, impidiendo que la inhiba alostericamente.

SETHOXYDIM

El cultivo trasgénico es maíz. El herbicida inhibe la acetil coenzima A carboxilasa (ACCCase) que es la primera enzima en la ruta metabólica de los fosfolípidos de las membranas. La tolerancia está dada por una activación de los mecanismos de detoxificación que modifica la unión del herbicida con la enzima.