

Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales

UNLP



TRABAJO FINAL DUO

Modalidad: Trabajo de Investigación

**Comparación de la sensibilidad a herbicidas de cinco variedades de trigo
candeal (Triticum durum)**

ALUMNOS:

Francisco Pardo

DNI:35986439

Nro de Legajo: 27205/6

C. electrónico: *franciscopardo91@hotmail.com*

Teléfono: 221-3569436

Carlos González

DNI: 37165292

Nro de Legajo: 27223/8

C. electrónico: *carlosgonzalezmc@gmail.com*

Teléfono: 221-6580139

Director: Mg.Sci. Alejandra Carbone

Co - director: Dr. Marcos Yannicari

Fecha de entrega: 30 septiembre 2019

Índice

Resumen	3
Introducción	4
Producción en la República Argentina:	4
Usos del trigo candeal:	7
Manejo de malezas en el cultivo de trigo candeal:	88
Hipotesis	1010
Objetivos	1010
Objetivo general	1010
Objetivo específico	1010
Materiales y Métodos	1111
Bioensayo de dosis-respuesta en germinación	1414
Resultados y discusión	18
Respuesta de las variedades de trigo candeal a Pinoxaden	1818
Iodosulfuron - Mesosulfuron + Metsulfuron	1821
Pyroxsulam	25
Flucarbazone	27
Dicamba	3030
Picloram	3333
Conclusión	36
Consideraciones Finales	37
Bibliografía	38

Resumen

El trigo candeal constituye una interesante alternativa al trigo pan siendo su manejo de malezas un impedimento para la adopción del mismo. El trigo duro responde de manera diferencial a herbicidas post-emergentes comparado al trigo pan, siendo frecuentemente usados en post-emergencia los del tipo auxínicos, inhibidores de ALS y ACCasa, quienes muestran mayor fitotoxicidad sobre trigo candeal. El objetivo de este trabajo fue comparar la sensibilidad de cinco variedades de trigo candeal a diferentes herbicidas selectivos en pruebas de germinación y crecimiento plumular en condiciones controladas. El ensayo se realizó con las variedades Facón, Quillén, Cariló y las líneas experimentales 731 y 735 (Chacra Experimental Barrow). Los herbicidas estudiados fueron pinoxaden, iodosulfuron-mesosulfuron+metsulfuron, pyroxsulam, flucarbazone, dicamba y picloram. Se sembraron 60 semillas de cada cultivar en bandejas y se colocó papel de filtro humedecido con 40 ml de: 0-0,01- 0,1-1 y 10 μ M. Se evaluó periódicamente porcentaje de germinación (PG) y crecimiento plumular (CP). Los datos fueron analizados por ANOVA y diferencias entre medias por Tukey ($p \leq 0,05$). Los resultados indican que todas las variedades presentaron mayor sensibilidad al CP con respecto al PG al ser sometidas a las diferentes dosis de herbicidas. Facón manifestó los menores registros de PG y CP frente a todos los herbicidas y dosis evaluadas siendo 735 quien manifestó los mayores valores. Las restantes variedades tuvieron comportamiento intermedio, con variaciones entre tratamientos y herbicidas. Los herbicidas auxínicos, presentaron patrón similar afectando CP, estimulando a concentraciones medias e inhibiendo con la dosis máxima. Los resultados obtenidos manifiestan respuesta diferencial de las variedades frente a distintos herbicidas selectivos. Las variaciones intra-específicas permitirían obtener evidencias para sentar bases de estrategias de manejo tendientes a minimizar los riesgos de fitotoxicidad sobre el cultivo.

Introducción

El trigo (*Triticum sp.*) pertenece a la familia de las gramíneas (Poaceae) y en la producción mundial es el tercer cereal de importancia, detrás del maíz y el arroz. Es el cereal más ampliamente consumido en occidente desde la antigüedad. Con una producción mundial de 725 millones de toneladas, la mayor contribución es realizada por países que forman la Unión Europea (principalmente Francia y Alemania), seguido en importancia por China, India, Rusia y USA. La totalidad de hectáreas sembradas en el mundo fue de 219.000.000 ha en el período 2014-2015 (Seghezzo, 2015).

El trigo candeal o trigo duro (*Triticum durum* Desf.) es un cereal originario de Medio Oriente y algunos trabajos sostienen que ha sido uno de los progenitores del trigo pan. A nivel mundial, el trigo candeal se siembra en 18,5 millones de hectáreas, alcanzando una producción anual de 35 a 40 millones de toneladas. El principal país productor es Canadá, responsable de más del 50% de la producción de trigo candeal, sin embargo Europa y Estados Unidos son los mayores exportadores, quienes destinan ese *commodity* al norte de África, Venezuela y Japón (Seghezzo, 2015).

Producción en la República Argentina:

En Argentina, la variedad de trigo más cultivada es la de trigo pan (*Triticum aestivum* L.). Por las condiciones agroecológicas diferenciales, la región triguera se extiende desde los 25° de Lat. Sur hasta los 40°, y de este a oeste abarca de los 58° a los 66° de Long. Oeste. La zona triguera tradicional está limitada al norte por la isoterma de 13°C de julio mientras que en el sur lo es por la de 7°C.

Pueden identificarse las siguientes subregiones trigueras de acuerdo a las características locales de suelo y clima (Figura 1).

- Subregión I: comprende el centro de Santa Fé y el departamento cordobés de San Justo. En el extremo sur de la región se halla la mayor concentración del cultivo, asociada con la alternativa trigo-soja 2ª.
- Subregión II Norte: comprende un sector del NE de la provincia de Buenos Aires, el Sur de Santa Fé y los departamentos de Unión y Marcos Juárez de Córdoba.
- Subregión II Sur: es una región netamente bonaerense.
- Subregión III: comprende la provincia de Entre Ríos.
- Subregión IV: se ubica en el sudeste de la provincia de Buenos Aires, integrada por los partidos que van desde General Pueyrredón hasta Tres Arroyos.
- Subregión V Norte: comprende casi la totalidad de la provincia de Córdoba, con excepción de los departamentos de General Roca (V Sur), Marcos Juárez y Unión (II Norte) y San Justo (I). Incluye también el norte de San Luis y el sur de Santiago del Estero.
- Subregión V Sur: ocupa 16 departamentos de La Pampa, uno de Córdoba (General Roca) y 15 del oeste y sur bonaerense.



Figura 1. Regiones de cultivo de trigo pan en Argentina.

El trigo candeal fue introducido en Argentina, en la provincia de Buenos Aires, por inmigrantes italianos en la década de 1920/30 (Molfese et al., 2017). Actualmente, la

principal región productora de trigo candeal comprende el sur de la provincia de Buenos Aires donde se genera el 85% de la producción nacional. No obstante, con la incorporación de áreas de cultivo bajo riego en la provincia de San Luis y 10.000 hectáreas en Tucumán, se ha logrado que este cereal deje de ser considerado como estrictamente regional (Seghezzo, 2015).

La superficie sembrada en los últimos años es de 85 mil hectáreas aproximadamente, alcanzando 280 mil toneladas de producto por año (Ministerio de Agroindustria de la Nación, 2018). Según estimaciones recientes, alrededor del 5% de la superficie destinada a cultivos de invierno en el área de influencia de la Chacra Experimental Integrada Barrow (partidos de Adolfo G. Chaves, Tres Arroyos, Cnel. Dorrego y San Cayetano), se sembró con trigo candeal en la campaña 2018/2019. Tal estimación indica que en esa superficie se sembraron 34 mil hectáreas con este cultivo (Manso y Zamora, 2019).

El área de cultivo se divide en tres subregiones:

-Sudeste con centro en Balcarce y Miramar (1 y 2), correspondiente al área papera, con suelos de mayor fertilidad natural. Esta es la subregión con mayor potencial de rendimiento pero con serios riesgos sanitarios (fusariosis, escudete negro) y con problemas de calidad de grano, principalmente lavado, debido a las abundantes lluvias y la consiguiente mayor humedad.

-Centrosur con centro en La Dulce y Barrow (3 y 4), zona mixta-cerealera, es el área más tradicional del cultivo de trigo candeal. Presenta una gran heterogeneidad de suelos.

-Sudoeste con centro en Cabildo y Bordenave (5 y 6), de características más frías y secas, con una fuerte presencia de cultivos de granos finos. En las últimas dos subregiones, si bien los rendimientos son menores que la subregión Sudeste, también

es menor el riesgo fitosanitario y por ende se puede lograr buena calidad comercial e industrial.

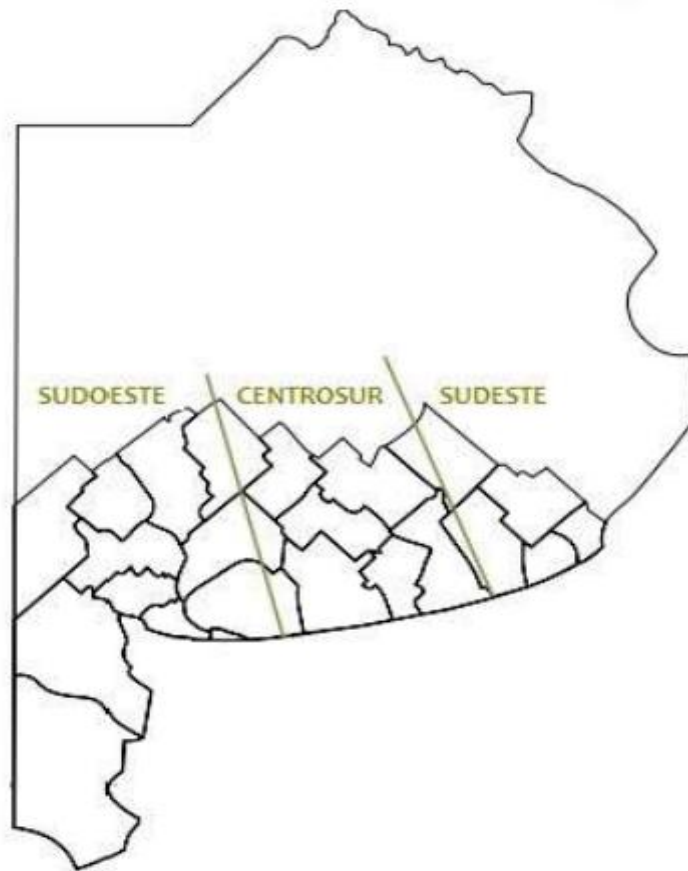


Figura 2. Subregiones bonaerenses de trigo candeal.

Usos del trigo candeal:

La producción del trigo candeal se destina fundamentalmente a la obtención de harinas y sémolas para la elaboración de fideos frescos y secos, principalmente porque presenta el doble de pigmento amarillo que el trigo pan, constituyendo una característica apreciada en los fideos. El grano de trigo candeal posee endosperma con mayor contenido de sémola, requiriendo menor cantidad de agua para su amasado y evitando de esta manera que los fideos elaborados no se desintegran

durante la cocción, fundamentalmente porque poseen mayor estabilidad (Seghezzo, 2015).

Prácticamente todo el trigo candeal de calidad se destina a molienda interna, llegando a una capacidad de procesamiento de 280 mil toneladas de grano (Federación Argentina de la Industria Molinera, 2016), siendo el principal insumo para la elaboración de pastas secas Premium (100% trigo candeal). Las pastas secas cobran importancia debido a que son productos transables que poseen un enorme potencial para agregar valor y abastecer mercados masivos en el exterior (Lezcano, 2011).

Manejo de malezas en el cultivo de trigo candeal:

Si bien gran parte de los productores del sur bonaerense reconocen al trigo candeal como una interesante alternativa al trigo pan, el manejo de malezas resulta sensiblemente diferente en ambos casos y a menudo se establece como un impedimento para la adopción del cultivo. A nivel mundial, la información sobre la aplicación de herbicidas en trigo pan es mayor al conocimiento disponible respecto a su uso en trigo candeal (Delchev y Georgiev, 2015). Sumado a esto, varias evidencias demuestran que el trigo candeal responde de manera diferencial a herbicidas post-emergentes comparado a trigo pan (McMullan y Nalewaja, 1991; Soltani et al., 2011). A su vez, dentro de los posibles herbicidas empleados en trigo candeal, se han detectado diferencias de tolerancia entre cultivares tanto en materiales argentinos como en experiencias extranjeras (Lemerle et al., 1981; López et al., 2001).

Los herbicidas frecuentemente usados en post-emergencia de trigo son agrupados en herbicidas auxínicos (2,4-D, MCPA, dicamba, fluroxipir, y picloram, principalmente), utilizados para el control de un amplio grupo de especies dicotiledóneas; herbicidas inhibidores de la enzima ACC-asa (acetolactatosintetasa) como metsulfuron, iodosulfuron-mesosulfuron, clorsulfuron, prosulfuron-triasulfuron y triazolopimidina

como pyroxsulam, de amplio espectro de control hacia dicotiledóneas y gramíneas, dependiendo del principio activo; y herbicidas inhibidores de la enzima acetil-Coa carboxilasacomo fenoxaprop, pinoxaden, clodinafop, diclofop, empleados como graminicidas.

Sin embargo, estos principios activos suelen mostrar mayor fitotoxicidad sobre trigo candeal respecto a trigo pan. Las dosis aplicadas, las condiciones ambientales y la sensibilidad intra-específica interaccionarían provocando distintos niveles de daño sobre el cultivo de trigo candeal.

De los grupos de herbicidas mencionados, en experiencias en la EEA INTA Bordenave, aquellos hormonales en mezclas con sulfonilureas han provocado fitotoxicidad entre el 20 y 30 % en las variedades más sensibles y luego de 10 días de realizadas las aplicaciones. Sin embargo, el cultivo luego retoma el crecimiento sin mostrar síntomas significativos de daño luego de 30 días ni afectar el rendimiento (López et al., 2001).

Por su parte, Yanniccari et al. (2017) evaluaron la tolerancia - fitotoxicidad de diferentes herbicidas post-emergentes no auxínicos, registrados para trigo pan sobre distintas variedades de trigo candeal en un ensayo realizado a campo en la CEI Barrow. Trabajando con las variedades de candeal Bonaerense INTA (BI) Cariló, BI Facón y BI Quillén, los resultados obtenidos concluyen que los materiales estudiados presentan tolerancia levemente diferencial a los herbicidas post-emergentes evaluados. En tales condiciones BI Facón se mostró como la variedad más sensible y los herbicidas más fitotóxicos resultaron ser metsulfuron, flucarbazone, terbutrina, carfentrazone y diflufenican provocando niveles de daño entre 20 y 40 %. Sin embargo, tales efectos fueron revertidos y no impactaron en el rendimiento.

En función de los antecedentes mencionados, en este trabajo se evaluó la sensibilidad de cinco variedades comerciales de trigo candeal en pruebas de germinación y crecimiento inicial, en condiciones controladas con seis herbicidas diferentes. La

detección de esta variación intra-específica permitiría obtener evidencias que adviertan la existencia de variedades más y menos tolerantes a determinados herbicidas y, por lo tanto, sentar las bases de estrategias de manejo tendientes a minimizar los riesgos de fitotoxicidad sobre el cultivo.

Hipotesis

Las variedades de trigo candeal muestran variación en la sensibilidad a herbicidas selectivos.

Objetivos

Objetivo general

Comparar la sensibilidad a herbicidas post-emergentes de cinco variedades comerciales de trigo candeal en pruebas de germinación y crecimiento plumular.

Objetivo específico

Comparar la germinación y energía germinativa de cinco variedades de trigo candeal pre-tratados con diferentes herbicidas.

Determinar el impacto de diferentes herbicidas sobre variables de crecimiento detectando aquellos principios activos que provocan mayor toxicidad en las plántulas.

Materiales y Métodos

El ensayo se realizó en una cámara de crecimiento situada en el INFIVE (CONICET - Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, UNLP), donde se compararon cinco materiales de trigo candeal. Tres de ellas, BI Facón, BI Quillén y BI Cariló, son variedades ampliamente cultivadas en la región SE de la provincia de Buenos Aires y dos líneas experimentales 731 y 735 que se lanzarán al mercado en la campaña 2019/2020 bajo el nombre de BI Galpón (731) y BI Charito (735) producto del programa de mejoramiento de la Chacra Experimental Integrada Barrow.

Las características de las variedades de trigo candeal utilizadas son las siguientes:

-Bonaerense INTA Facón: Cultivar de ciclo corto. Fecha óptima de siembra (FOS): desde principios de julio a mediados de agosto (óptimo mediados de julio a principios de agosto). Para el período de siembra mencionado se recomienda entre 300 y 350 pl/m². Presenta buen a moderado comportamiento frente a las royas y manchas foliares siendo susceptible a fusariosis. Posee destacada calidad industrial. Grano chico a mediano, alto contenido de pigmento amarillo y buena calidad de proteínas. Buena a muy buena aptitud fideera. Buena alternativa en ciclo corto (Larsen, 2014).

-Bonaerense INTA Cariló: Cultivar de ciclo intermedio. Para siembras desde fines de junio a fines de julio (óptimo principio a mediados de julio). Muy buen comportamiento frente a las royas, bueno a moderado respecto a septoriosis, susceptible a mancha amarilla y fusariosis. Grano de buen color, textura vítrea, con bajo peso hectolítrico. Su buen comportamiento molinero, calidad de proteínas y alto contenido de pigmento amarillo, le confieren buena aptitud semolera y fideera (Larsen, 2014).

-Bonaerense INTA Quillén: Cultivar de ciclo vegetativo intermedio, similar a Bonaerense INTA Cariló. FOS: 15-20 de junio al 15 de julio. Para la FOS se recomiendan densidades de 250-300 pl/m². Grano pequeño a mediano. Peso

hectolítrico superior a Bonaerense INTA Cariló. Alto contenido de pigmento amarillo. Excelente calidad de proteínas y aptitud semolera y fideera. Grano pequeño a mediano (Larsen, 2014).

-Bonaerense INTA Charito: Ciclo vegetativo corto, similar a Bonaerense INTA Facón. FOS: oscila desde mediados a fines de julio (Para la Subregión triguera IV). Bonaerense INTA Charito ha mostrado excelente comportamiento en siembras tardías (agosto). Para la FOS se recomiendan densidades de 300 pl/m². Presenta comportamiento frente a roya amarilla muy destacado, similar a Bonaerense INTA Facón. Excelente comportamiento frente a roya anaranjada y del tallo. Manchas foliares necróticas (septorios, mancha amarilla, etc.) similar a las variedades difundidas. Destacado rendimiento en Kg/ha. Grano pequeño a mediano. Muy buen peso hectolítrico. Contenido de pigmento amarillo superior al promedio de testigos de similar ciclo vegetativo. Buena calidad de proteínas, aptitud semolera y fideera (Larsen, 2018).

-Bonaerense INTA Galpón: Ciclo vegetativo corto. FOS: desde mediados a fines de julio (para la Subregión triguera IV). Ha mostrado buen comportamiento en siembras tardías (agosto). Para la FOS se recomiendan densidades de 300 pl/m². Muy buen comportamiento frente a roya anaranjada y del tallo. Manchas foliares necróticas (septorios, mancha amarilla, etc.) similar a las variedades difundidas. Rendimientos medios a altos. Grano mediano a grande. Buen peso hectolítrico. Alto contenido de proteína en grano. Contenido de pigmento amarillo superior al promedio de testigos de similar ciclo vegetativo. Muy buena calidad de proteínas. Muy buena aptitud semolera y fideera (Larsen, 2014).

Los herbicidas empleados y las principales características se describen a continuación (CASAFE, 2017).

Pinoxaden: Es un herbicida conocido como graminicida ya que es selectivo para trigo y cebada, comúnmente empleado para el control de *Lolium spp.* y *Avena fatua*. Siendo un herbicida post-emergente, una vez absorbido se transporta rápidamente a zonas de crecimiento inhibiendo a la enzima acetil-CoAcarboxilasa (ACCase) afectando la síntesis de lípidos. Los daños causados no son evidentes hasta varios días después de la aplicación, cuando las plantas sensibles van cambiando de coloración progresivamente, se necrosan y finalmente mueren. La dosis recomendada oscila entre 300-600 ml de producto comercial (Axial®) por hectárea.

Iodosulfuron-mesosulfuron + metsulfuron: Estos tres principios activos se encuentran combinados en el producto comercial Hussar® Plus para el control de amplio espectro de malezas dicotiledóneas y gramíneas en trigo y cebada. Si bien es un herbicida post-emergente, presenta acción residual corta inhibiendo nuevas emergencias de malezas blanco. El sitio de acción de estas tres sulfonil-ureas es la inhibición de la enzima acetolactatosintetasa (ALS), responsable de la síntesis de aminoácidos de cadena corta ramificada. Sus efectos se reflejan en la detención del crecimiento y posterior clorosis, conduciendo a la muerte de la planta. La dosis recomendada oscila entre 220 y 240 cm³ + 5 g de producto comercial (iodosulfuron – mesosulfuron + metsulfuron) por hectárea.

Pyroxsulam: Es un principio activo empleado para el control de un amplio espectro de malezas (gramíneas y dicotiledóneas) en post-emergencia del cultivo de trigo. Al igual que el producto anterior, es un inhibidor de la ALS y muestra acción residual corta, pero pertenece a la familia química de las triazolopirimidinas. La dosis recomendada del producto comercial (Merit® Pack) es de 400 cm³ ha⁻¹ en mezcla con metsulfuron a 6,7 g ha⁻¹.

Flucarbazone: Es un herbicida registrado para el control de *Avena fatua* y *Lolium spp.* Como post-emergente de trigo, inhibe la acción de ALS pero representa a otra familia química (triazolina) distinta a los principios activos precedentes y muestra cierta residualidad. La dosis recomendada de producto comercial (Everest®) se ajusta en rangos de 60 a 100 g ha⁻¹.

Dicamba: Es un herbicida auxínico de la familia de los ácidos benzoicos, utilizado para el control de amplio espectro de dicotiledóneas en post-emergencia de cereales y barbechos químicos. Su acción se asocia al desbalance hormonal que provocan los herbicidas auxínicos impactando en la desregulación de genes que afectan distintos procesos fisiológicos. Ante la resistencia/tolerancia de malezas a herbicidas inhibidores de la ALS y/o glifosato, su uso se ha incrementado. Presenta una residualidad media y a menudo se aplica en mezcla con inhibidores de la ALS como metsulfuron ó prosulfuron, triasulfuron. Se encuentran productos de numerosas marcas comerciales cuyo rango de dosis depende del cultivo y la concentración en cada formulación.

Picloram: Al igual que el principio activo precedente, este principio es un herbicida auxínico pero pertenece a la familia de los ácidos picolínicos, empleado para el control de ciertas dicotiledóneas en cultivos de gramíneas. Frecuentemente se usa en mezcla con inhibidores de la ALS (metsulfuron) ampliando el espectro de control ó con otros herbicidas auxínicos (2,4 D) con los que presenta sinergismo. Existen varias marcas comerciales y la dosis recomendada varía según el producto y cultivo.

Bioensayo de dosis-respuesta en germinación

Se colocaron 60 semillas de cada uno de los cultivares mencionados en bandejas plásticas de germinación de 30 por 20 cm de capacidad con tapa. En la base de las

mismas se dispuso un papel de filtro absorbente, humedecido al inicio del ensayo con 40 ml de las soluciones/suspensiones que se mencionan a continuación:

Tratamiento 1 (T1): Control o Testigo (agua),

Tratamiento 2 (T2): dilución 1/1000 de solución madre ($0,01\mu\text{M}$),

Tratamiento 3 (T3): dilución 1/100 de solución madre ($0,1\mu\text{M}$),

Tratamiento 4 (T4): dilución 1/10 de solución madre ($1\mu\text{M}$),

Tratamiento 5 (T5): solución madre (SM) ($10\mu\text{M}$).



Figura 3. Bandeja germinadora con los cinco materiales ensayados en este trabajo. De izquierda a derecha: Facón, Cariló, Quillén, 731 (Galpón) y 735 (Charito) para cada una de las dosis evaluadas de cada herbicida.

La preparación de las soluciones madre de los herbicidas fue la siguiente:

Pinoxaden (10uM): 8 ul de producto en 100 ml de agua.

Iodosulfuron-mesosulfuron (10uM)*: 10,5 ul de producto en 100 ml de agua.

Pyroxsulam (10uM)*: 9,6 ul de producto en 100 ml de agua.

Flucarbazone (10uM): 0,6 mg de producto en 100 ml de agua.

Dicamba (100uM): 3,9 ul de producto en 100 ml de agua.

Picloram (100uM): 9 ul de producto en 100 ml de agua.

Una vez que el material se sembró en las bandejas se colocó en cámara de crecimiento a temperatura de 28°C (condiciones controladas) y se evaluaron en forma periódica las siguientes variables:

- **Porcentaje de germinación (PG)**: número de semillas germinadas respecto a un total de 100 semillas luego de 5 días de incubación. Se consideró “semilla germinada” aquella cuya radícula supere 1 mm de largo.

- **Vigor de germinación o energía germinativa**, a partir del registro diario de germinación se determinó para cada variedad y herbicida, las horas que demoró en germinar el 50 % de las semillas sembradas.

- **Crecimiento plumular**, a los 5 días desde la siembra (DDS) se realizó la determinación de la longitud de la plúmula en el total de plántulas por variedad y por tratamiento. Dicho parámetro se evaluó con cinta métrica milimetrada.

Se realizaron **observaciones visuales y registros fotográficos periódicos** y al finalizar el ensayo se colocó material con síntomas de fitotoxicidad en frascos con FAA (formol-ácido acético- alcohol) para su conservación y posterior análisis bajo lupa y/o microscopio.

Los datos obtenidos fueron empleados para la construcción de curvas de dosis-respuesta mediante regresiones no lineales, empleando el modelo log-logístico de Streibig (1988). Se estima en cada caso la concentración de inhibición media y se

contrastarán a través de una prueba de F ($p < 0,05$) para detectar diferencias entre variedades. Se realizó un análisis factorial Anova por cada herbicida, cuyos factores fueron los siguientes: Variedad, Dosis y Tiempo.

Resultados y discusión

Respuesta de las variedades de trigo candeal a Pinoxaden

Las variedades tratadas con pinoxaden no presentaron una inhibición diferencial de la germinación, incluso al comparar el tratamiento testigo (sin herbicida) con la máxima dosis evaluada (10 μM). Los intervalos de confianza (95%) del testigo de cada variedad no muestran diferencias significativas entre los tratamientos herbicidas, a excepción de la línea 735 que evidenció un estímulo en el porcentaje de germinación (hormesis) producto del efecto de 0,1 μM pinoxaden (Figura 4).

Yannicari et al., (2017) señaló respuesta diferencial intra-específica a diferentes herbicidas, si bien este autor no evaluó el pinoxaden, se observó que este herbicida se comporta diferencialmente en el proceso de germinación y crecimiento inicial de plántulas con la variedad Facón como la menos sensible.

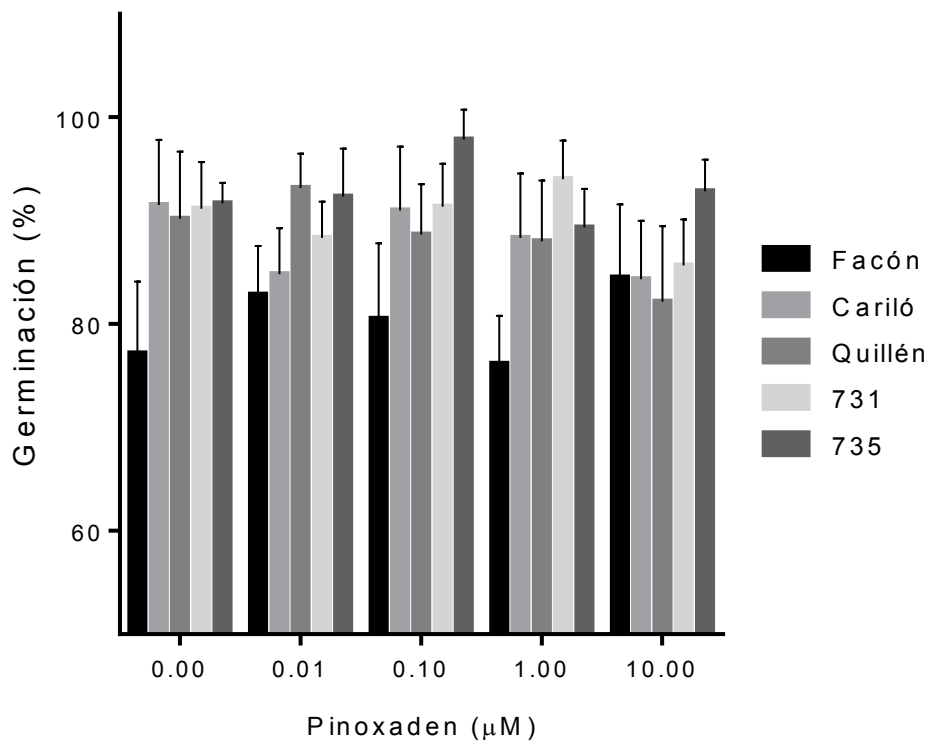


Figura 4. Porcentaje de germinación de los materiales de trigo candeal sometidos a diferentes concentraciones de pinoxaden. Se presentan los valores promedio y las barras de dispersión indican el intervalo de confianza (95%).

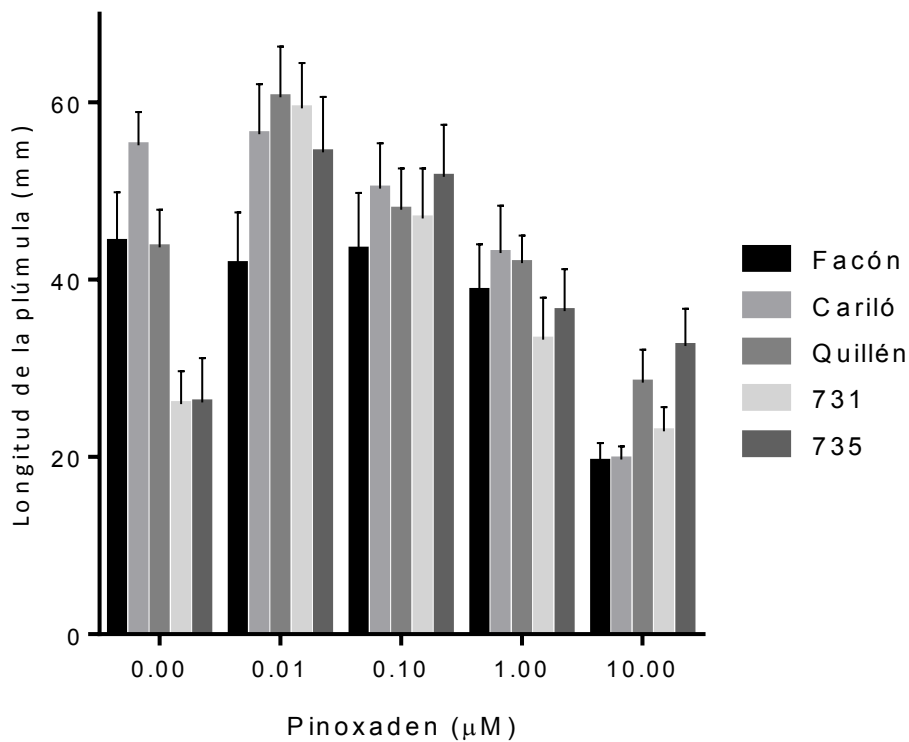


Figura 5. Crecimiento plumular de los materiales de trigo candeal sometidos a diferentes concentraciones de pinoxaden luego de cinco días. Se presentan los valores promedios y las barras de dispersión indican el intervalo de confianza (95%).

Las variedades presentaron distintas respuestas en cuanto al crecimiento plumular bajo las concentraciones evaluadas. Facón se mostró afectada significativamente cuando se sometió a la mayor dosis de pinoxaden. Allí, el herbicida inhibió el crecimiento plumular en un 50% respecto al tratamiento testigo. El crecimiento de Cariló fue significativamente afectado a la dosis de 1 y 10 μM, sin embargo, el nivel relativo de inhibición a la máxima dosis evaluada fue similar al detectado en Facón. Por otra parte, Quillén y las líneas 731 y 735 evidenciaron un estímulo en el crecimiento producto del empleo de dosis de entre 0,01 y 1 μM pero a la máxima dosis de pinoxaden no presentaron una reducción significativa del crecimiento (731 y 735, comparado al resto de las variedades mostraron una menor longitud plumular bajo el

tratamiento testigo, pero la dosis máxima de pinoxaden no impactó en el crecimiento plumular) óla inhibición relativa al tratamiento testigo rondó el 30% (Quillén) (Figura 5).

Si bien Facón presentó una longitud de plúmula menor respecto a Cariló, ambos se comportaron de manera similar en cuanto a respuesta variación de concentración, mientras que Quillén, 731 y 735 lo hicieron en conjunto de manera diferente. Se encontró que pinoxaden afecta la longitud de plúmula a medida que se fue incrementando la dosis, siendo los más afectados Facón y Cariló.



Figura 6. Comparación del testigo y 10 µM de pinoxaden al sexto día de ser colocadas en las bandejas germinadoras. De izquierda a derecha: Facón, Cariló, Quillén, 731 y 735.

Iodosulfuron - Mesosulfuron + Metsulfuron

No se observaron diferencias significativas en el porcentaje de germinación de las diferentes variedades tratadas con las distintas dosis de iodosulfuron-mesosulfuron +

metsulfuron. Asimismo, el porcentaje de germinación no respondió al incremento de la dosis de herbicida dentro del rango evaluado (Figura 7).

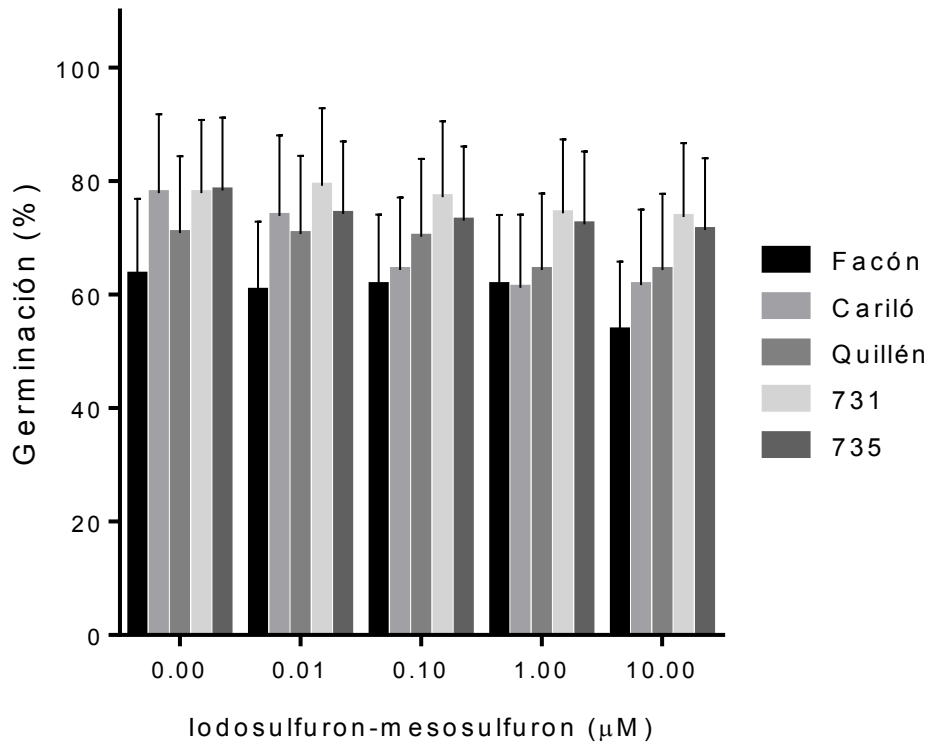


Figura 7. Porcentaje de germinación de los materiales de trigo candeal sometidos a diferentes concentraciones de iodosulfuron–mesosulfuron + metsulfuron. Se presentan los valores promedio y las barras de dispersión indican el intervalo de confianza (95%).

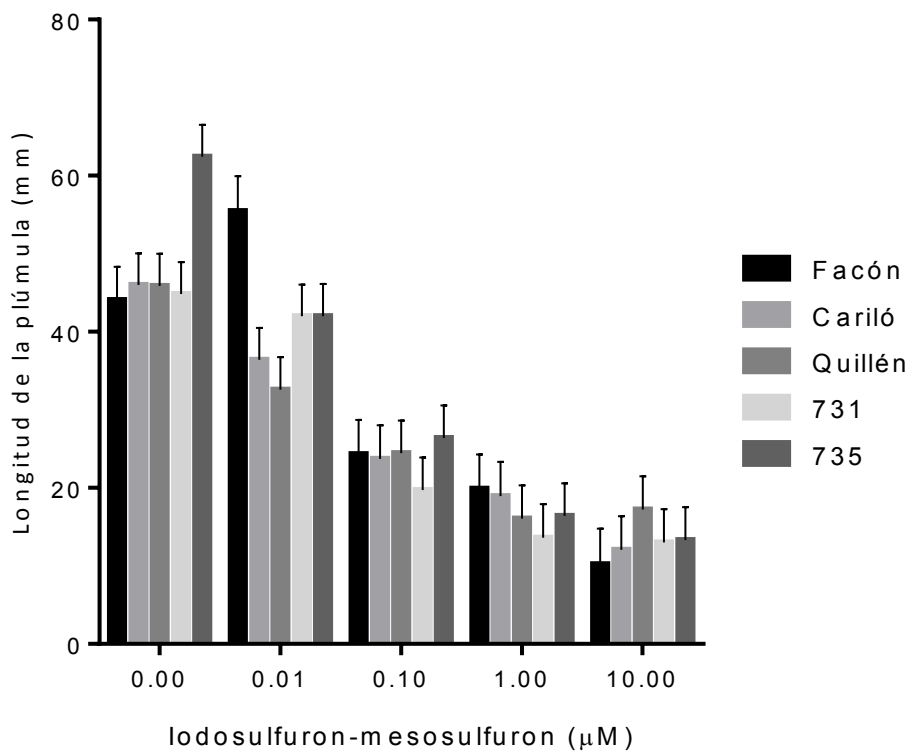


Figura 8. Crecimiento plumular de los materiales de trigo candeal sometidos a diferentes concentraciones de iodosulfuron-mesosulfuron + metsulfuron luego de cinco días. Se presentan los valores promedios y las barras de dispersión indican el intervalo de confianza (95%).

Todas las variedades presentaron una respuesta en la longitud media de la plúmula ante el incremento en la concentración del herbicida. Solamente la variedad Facón mostró un efecto de estímulo a la mínima dosis de herbicida pero a dosis superiores respondió de forma similar al resto de las variedades. No se encontraron diferencias significativas entre variedades, sólo en términos relativos al testigo, la línea 735 mostró mayor inhibición pero no por un efecto supresivo mayor del herbicida frente a las demás variedades, si no por una respuesta de crecimiento superior bajo el tratamiento testigo sin herbicida (Figura 8).

Se podría considerar que todas las variedades evaluadas fueron afectadas por las dosis de iodosulfuron-mesosulfuron + metsulfuron siendo 735 la que mostraría mayor

sensibilidad a este herbicida. En tal sentido, López et al. (2011) hallaron diferencias intraespecíficas en la respuesta de variedades de trigo candeal frente a sulfonilureas, advirtiendo en experimentos de campo, diferentes efectos fitotóxicos dependiendo del material considerado. En el mismo sentido, variedades de trigo candeal cultivadas en Italia han mostrado diferente sensibilidad a iodosulfuron-mesosulfuron, donde el herbicida provocó daños fitotóxicos reflejados en una leve clorosis generalizada en todas las variedades pero retraso en el desarrollo sólo en el 60% de los materiales probados (Fabbri et al., 2014).



Figura 9. Comparación del testigo y 10 µM de Iodosulfuron - mesosulfuron + metsulfuron al sexto día de ser colocadas en las bandejas germinadoras. De izquierda a derecha: Facón, Cariló, Quillén, 731 y 735.

Pyroxsulam

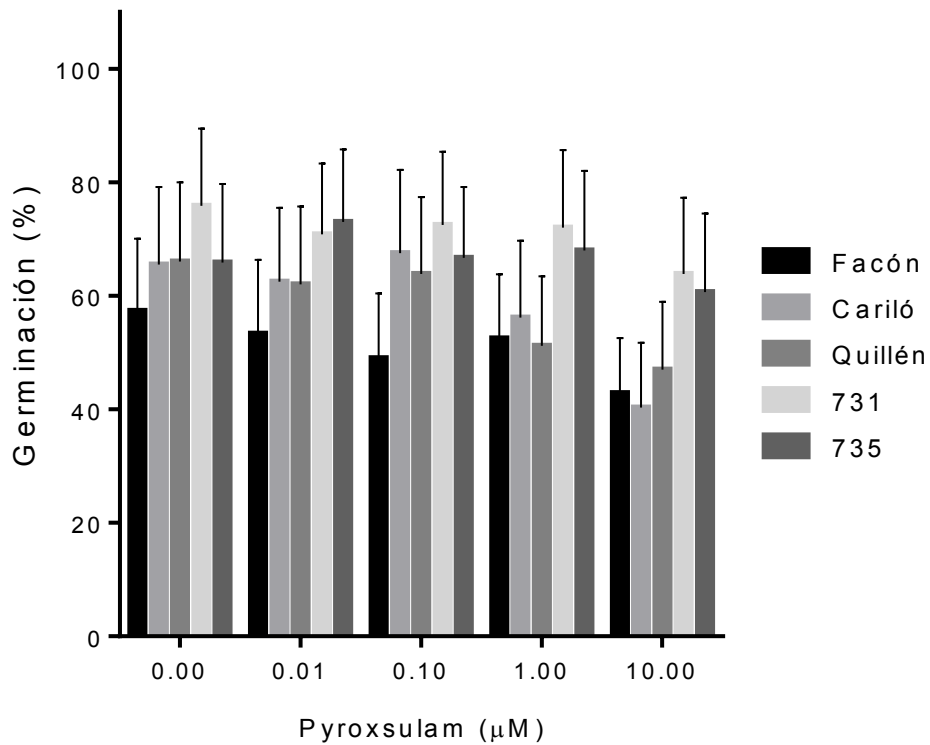


Figura 10. Porcentaje de germinación de los materiales de trigo candeal sometidos a diferentes concentraciones de pyroxsulam. Se presentan los valores promedio y las barras de dispersión indican el intervalo de confianza (95%).

Las variedades evaluadas no fueron afectadas significativamente en el porcentaje medio de germinación en respuesta a las dosis de pyroxsulam. Al comparar los intervalos de confianza, tampoco se advirtieron diferencias entre materiales (Figura 10).

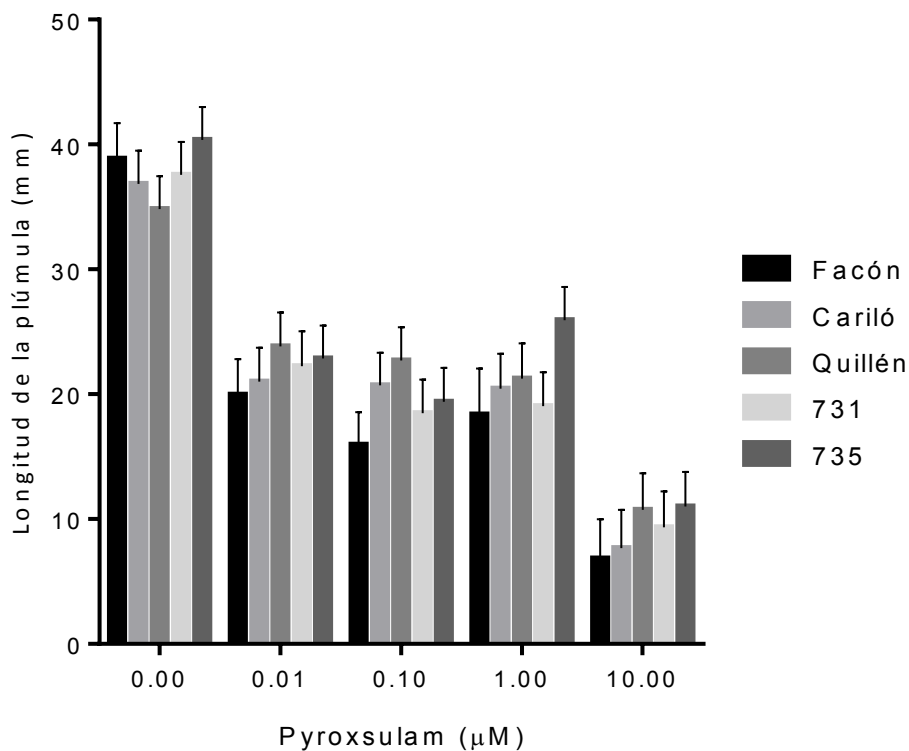


Figura 11. Crecimiento plumular de los materiales de trigo candeal sometidos a diferentes concentraciones de pyroxsulam luego de 5 días. Se presentan los valores promedio y las barras de dispersión indican el intervalo de confianza (95%).

Sin embargo, todas las variedades manifestaron una disminución significativa en la longitud media de la plúmula entre el tratamiento testigo y las diferentes dosis evaluadas. Facón resultó ser la variedad más afectada por el herbicida, la longitud plumular promedio de este material fue de 38 mm sin herbicida y 6 mm a la máxima dosis de pyroxsulam. En tanto la línea 735 mostró la menor respuesta al herbicida, donde la longitud promedio de la plúmula fue de 40 mm sin herbicida y 11 mm a la máxima dosis. Las demás variedades mostraron un comportamiento intermedio entre Facón y 735 sin diferir significativamente entre ellos (Figura 11).

Existen antecedentes que demuestran la variación intraespecífica de trigo pan (*Triticum aestivum*) respecto a la sensibilidad a pyroxsulam. Dependiendo de la dosis, el nivel de inhibición de la enzima ALS (blanco de acción de pyroxsulam) ha

presentado diferencias entre variedades de trigo pan (Li et al., 2017). En consistencia a los resultados presentados en esta tesis, las diferencias entre variedades se reducen cuando las dosis de pyroxsulam son menores a cierto nivel.

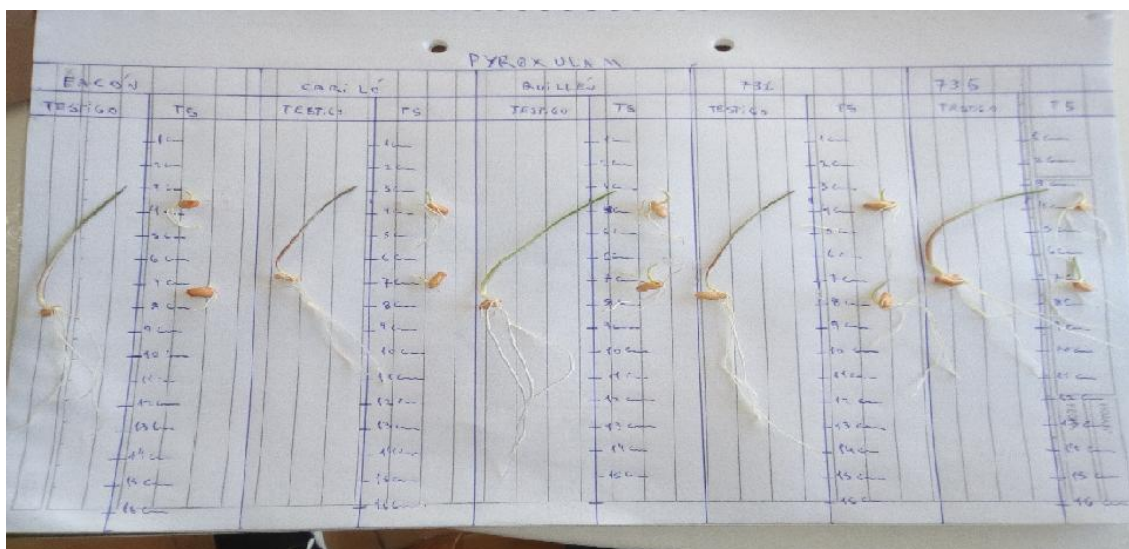


Figura 12. Comparación del testigo y 10 µM de pyroxsulam al sexto día de ser colocadas en bandejas germinadoras. De izquierda a derecha: Facón, Cariló, Quillén, 731 y 735.

Flucarbazone

De las variedades tratadas con flucarbazone, Facón y Cariló fueron las que manifestaron una disminución significativa en el porcentaje medio de germinación. Ambas variedades mostraron una respuesta de estímulo entre 0,01 y 0,1 µM y fueron inhibidas en el crecimiento a dosis mayores. Quillén y 735 también mostraron un efecto de estímulo sobre la germinación a dosis bajas de herbicida, sin embargo 731 no evidenció hormesis en ese sentido (Figura 13).

Las variedades más afectadas con el aumento de la concentración fueron Cariló y Facón, seguida de 731 y en menor medida Quillén. 735 mostró un incremento en el

porcentaje de germinación manifestando la menor sensibilidad a este herbicida (Figura 13).

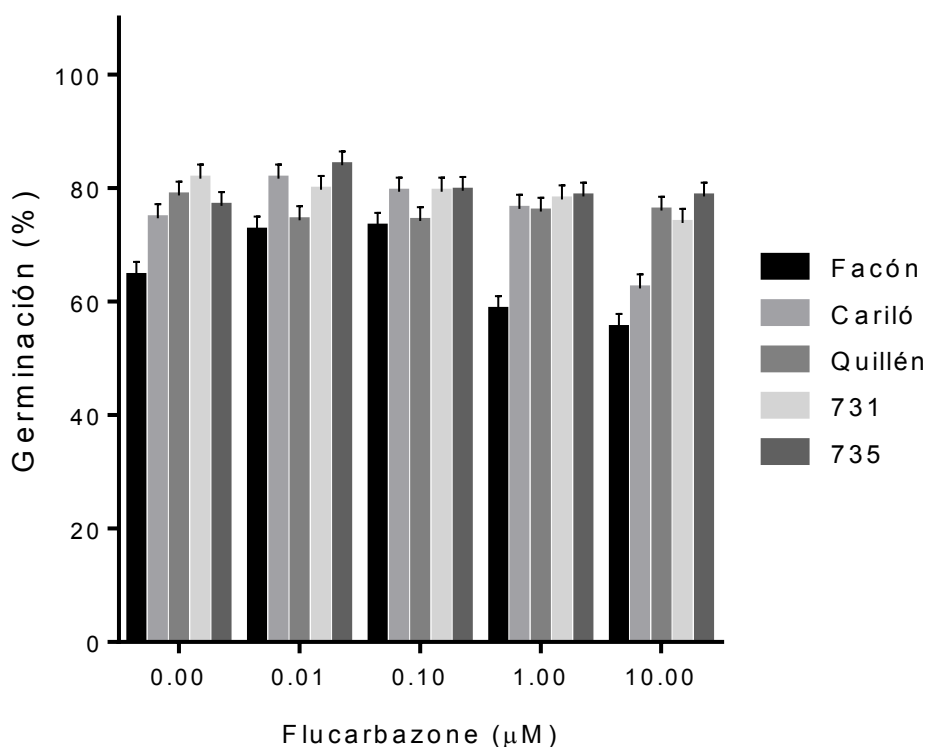


Figura 13. Porcentaje de germinación de los materiales de trigo candeal sometidos a diferentes concentraciones de flucarbazone. Se presentan los valores promedio y las barras de dispersión indican el intervalo de confianza (95%).

A diferencia de los demás herbicidas inhibidores de la ALS evaluados, flucarbazone resultó ser el más agresivo frente a la capacidad de inhibir la germinación del trigo candeal. Este producto inhibe la acción de la ALS pero representa a otra familia química (triazolina) distinta a los principios activos precedentes, y muestra cierta residualidad. El comportamiento distintivo frente al resto de los herbicidas podría estar dado como consecuencia de la característica anterior mencionada.

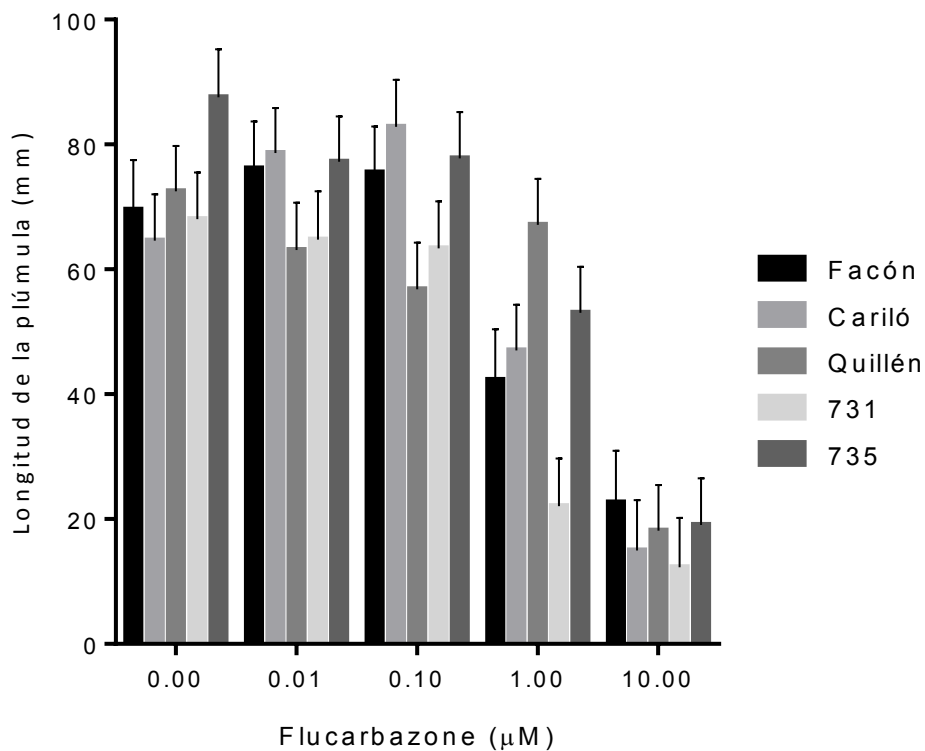


Figura 14. Crecimiento plumular de los materiales de trigo candeal sometidos a diferentes concentraciones de Flucarbazone luego de 5 días. Se presentan los valores promedio y las barras de dispersión indican el intervalo de confianza (95%).

Todas las variedades presentaron disminución significativa en la longitud media de plúmula con el aumento de la concentración de flucarbazone. No obstante, a la dosis de 1 μM se advirtió el mayor contraste entre las variedades evaluadas. Allí Quillén y 735 fueron los materiales menos sensibles al herbicida y 731 resultó ser la línea más sensible a pyroxsulam, en tanto Facón y Cariló mostraron una respuesta intermedia entre ambos grupos (Figura 14).



Figura 15. Comparación del testigo y 10 µM de flucarbazone al sexto día de ser colocadas en bandejas germinadoras. De izquierda a derecha: Facón, Cariló, Quillén, 731 y 735.

Dicamba

Al considerar el efecto de dicamba sobre la germinación, más allá de un efecto de estímulo detectado entre las menores dosis de herbicida, los materiales evaluados no mostraron diferencias significativas entre sí en respuesta a dicamba (Figura 16).

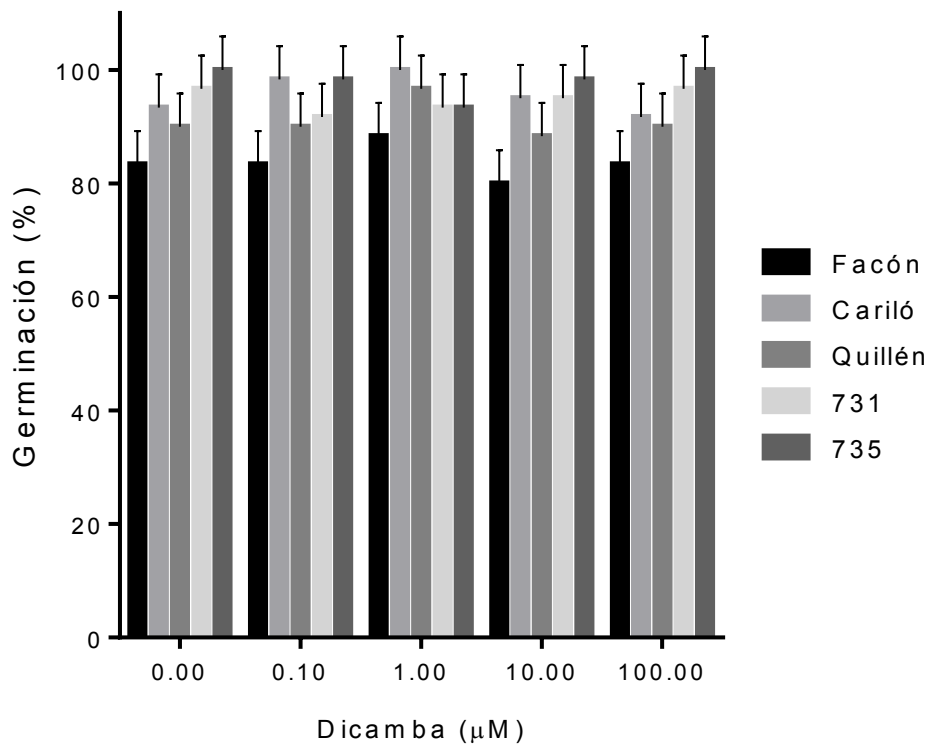


Figura 16. Porcentaje de germinación de los materiales de trigo candeal sometidos a diferentes concentraciones de dicamba. Se presentan los valores promedio y las barras de dispersión indican el intervalo de confianza (95%).

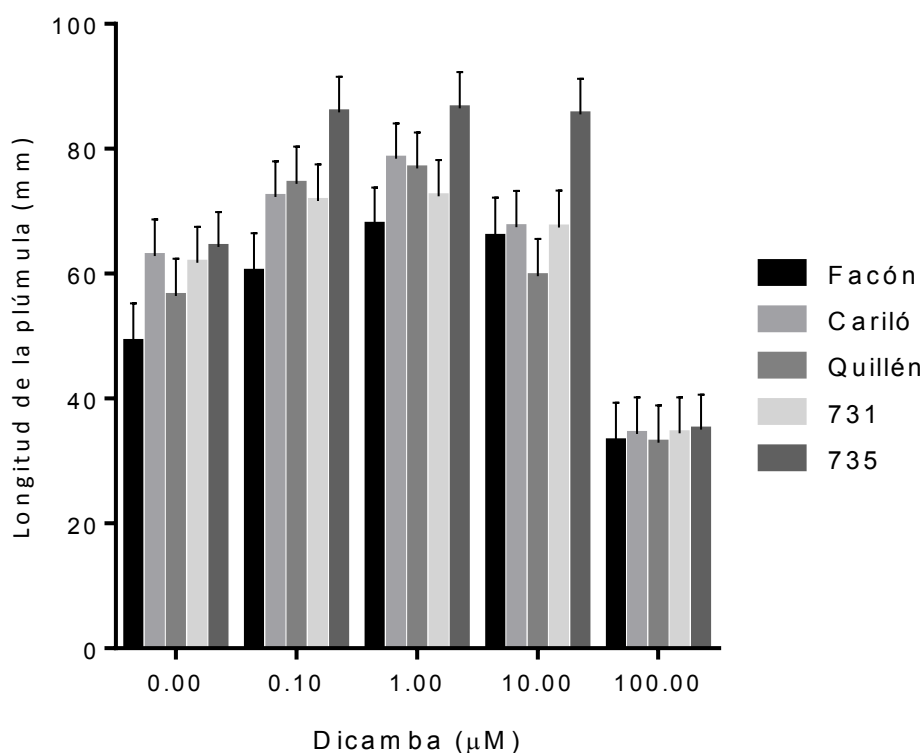


Figura 17. Crecimiento plumular de los materiales de trigo candeal sometidos a diferentes concentraciones de Dicamba luego de 5 días. Se presentan los valores promedio y las barras de dispersión indican el intervalo de confianza (95%).

Todas las variedades presentaron un comportamiento similar en cuanto a la longitud media de la plúmula, hallándose una respuesta de hórmesis a las dosis de dicamba <math><100 \mu\text{M}</math>. En tal sentido, la línea 735 fue la que mostró un estímulo relativo mayor en respuesta al herbicida. Sin embargo, a la máxima dosis empleada los materiales no presentaron diferencias significativas entre sí (Figura 17).

Una particularidad observada fue la inhibición del crecimiento de raíces en todas las variedades ensayadas frente a la dosis más elevada. Esto se debe a que cada órgano vegetal presenta sensibilidad diferente a las auxinas, siendo las raíces las más sensibles, luego las yemas y por últimos los tallos (Azcon-Bieto y Talón, 2008). Fueron observadas la formación de callos en la zona radicular, manifestando algunos síntomas de reducción de crecimiento de las mismas a dosis $\geq 10 \mu\text{M}$.

Otro síntoma observado en todas las variedades evaluadas, fue el mayor crecimiento en longitud del coleoptile respecto a la primera hoja verdadera. Estas malformaciones se asocian al mecanismo de acción hormonal que presenta este herbicida (Grossman, 2010).



Figura 18. Comparación del testigo y $10 \mu\text{M}$ de dicamba al sexto día de ser colocadas en las bandejas germinadoras. De izquierda a derecha: Facón, Cariló, Quillén, 731 y

735.

Picloram

Igual a lo detectado con dicamba, el porcentaje medio de germinación de las variedades tratadas no mostró sensibilidad a picloram más allá de respuestas de estímulo a ciertas dosis (Figura 19).

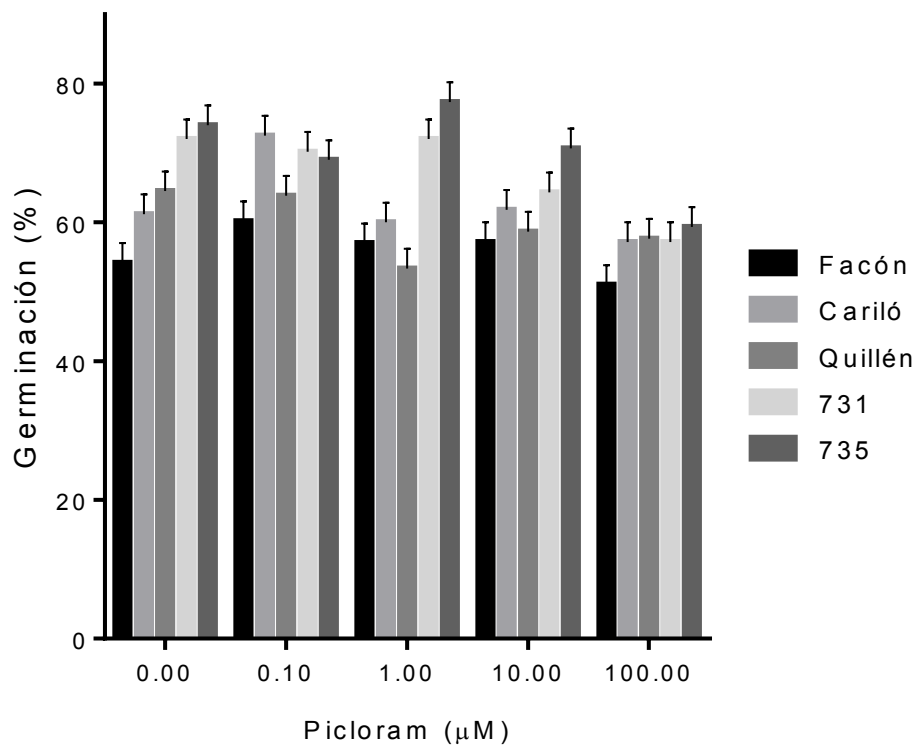


Figura 19. Porcentaje de germinación de los materiales de trigo candeal sometidos a diferentes concentraciones de picloram. Se presentan los valores promedio y las barras de dispersión indican el intervalo de confianza (95%).

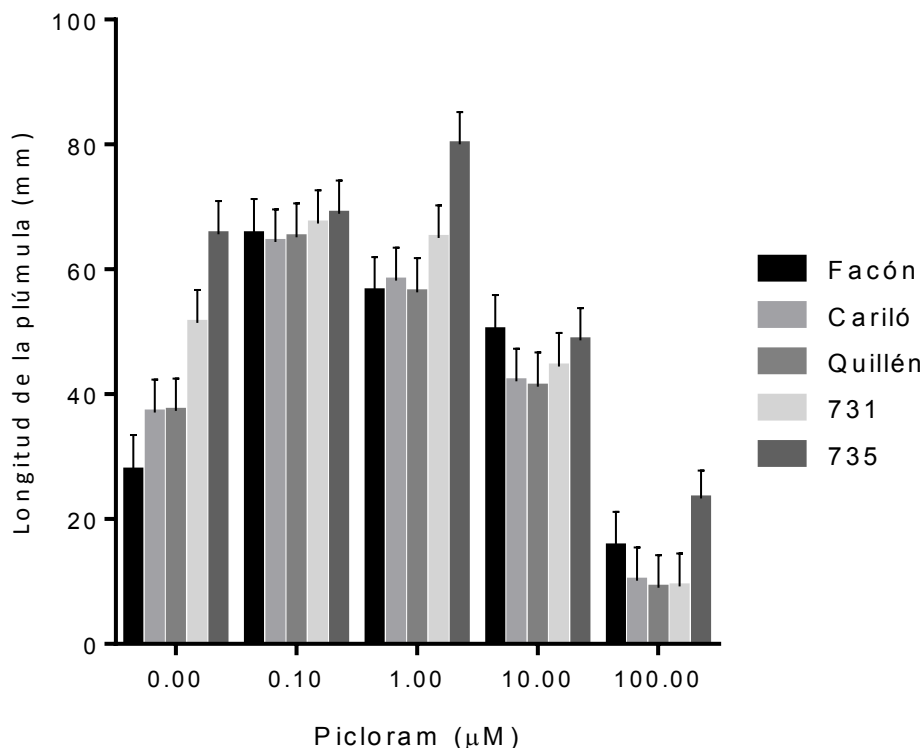


Figura 20. Crecimiento plumular de los materiales de trigo candeal sometidos a diferentes concentraciones de picloram luego de 5 días. Se presentan los valores promedio y las barras de dispersión indican el intervalo de confianza (95%).

Tal respuesta de estímulo también se reflejó en el crecimiento plumular, las variedades Facón, Cariló, Quillén y 731 incrementaron la longitud media plumulara 0,1 µM respecto al testigo sin herbicida. En tanto, la línea 735 evidenció hormesis a las dosis de picloram de 0,1 y 1 µM.

Todas las variedades, excepto 735, se comportaron de manera similar a partir de 0,1 µM inclusive, mostrando una disminución en longitud de plántula a medida que aumenta la concentración. La línea 735 manifestó una inhibición del crecimiento plumular a ≥ 10 µM. La variedad más sensible fue 731 seguida por Cariló y Quillén, mostrando Facón la menor disminución de longitud comparando Testigo y la dosis más elevada.

De manera similar a lo referido en los tratamientos con dicamba, fue observada inhibición del crecimiento de raíces en el tratamiento de 10 y 100 μM para todas las variedades evaluadas. Allí se advirtió la formación de callos en la región del meristema radicular. Asimismo, fue observado en todas las variedades que el crecimiento en longitud del coleoptile fue superior al de la primera hoja verdadera. Estas malformaciones se asocian al mecanismo de acción hormonal que presenta este herbicida (Grossman, 2010).

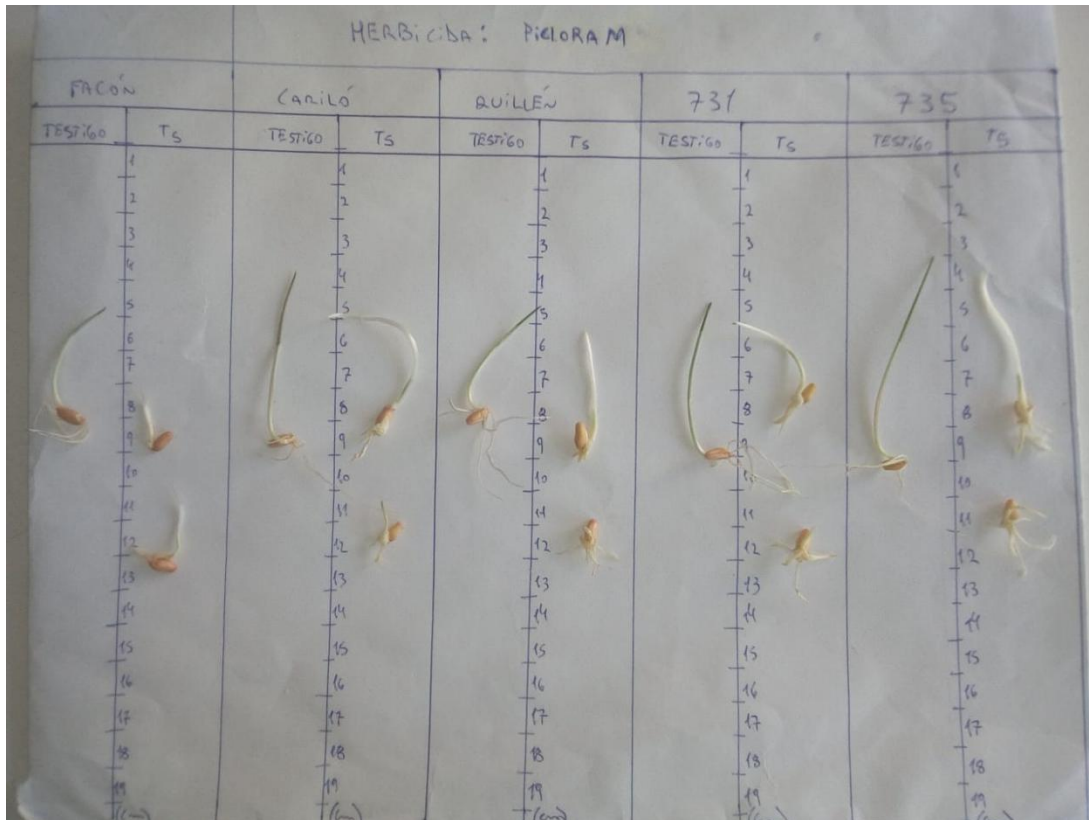


Figura 21. Comparación del testigo y 10 μM de picloram al sexto día de ser colocadas en bandejas germinadoras. De izquierda a derecha: Facón, Cariló, Quillén, 731 y 735.

Tabla 1. Grado de sensibilidad en el Porcentaje de germinación y longitud media plumular en las variedades Facón, Cariló, Quillén, 731 y 735 embebidas en Pinoxadem, Iodosulfuron-mesosulfuron + metsulfuron, Pyroxsulam, Flucarbazone, Dicambay Picloram.*

	Facon		Carilo		Quillen		731		735	
	% Ger.	Long Pl (mm)	% Ger.	Long Pl (mm)	% Ger.	Long Pl (mm)	% Ger.	Long Pl (mm)	% Ger.	Long Pl (mm)
Pinoxaden	Baja	Alta	Alta	Alta	Alta	Media	Media	Media	Baja	Baja
Iod-Mes+Met	Media	Alta	Alta	Alta	Media	Alta	Baja	Alta	Baja	Alta
Pyroxsulam	Media	Alta	Alta	Alta	Alta	Media	Baja	Alta	Baja	Media
Flucarbazone	Alta	Alta	Alta	Alta	Media	Alta	Media	Alta	Baja	Alta
Dicamba	Baja	Alta	Media	Alta	Baja	Alta	Baja	Alta	Baja	Alta
Picloram	Baja	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta

*Para la confección de la siguiente tabla se tuvo en cuenta el criterio de que todas las variedades manifestaron sensibilidad a las dosis evaluadas frente a todos los herbicidas. Por tal motivo, se estableció de manera arbitraria la escala de respuesta Alta, Media y Baja en función del grado de respuesta a las distintas concentraciones en ambas variables analizadas (Porcentaje de germinación y Longitud del crecimiento plumular).

Conclusión

En base a los resultados obtenidos y analizados en este trabajo se concluye que las diferentes variedades de trigo candeal muestran variabilidad en la tolerancia a los distintos herbicidas selectivos, por lo tanto, se acepta la hipótesis planteada.

En general, todas las variedades presentaron mayor sensibilidad a la longitud media del crecimiento plumular con respecto al porcentaje medio de germinación al ser sometidas a las diferentes dosis de los herbicidas evaluados.

La variedad Facón manifestó los menores registros de porcentaje de germinación y longitud plumular frente a todos los herbicidas y dosis evaluados. La variedad 735 (Charito) fue la que presentó los mayores registros en los parámetros mencionados. Las restantes variedades (Cariló, Quillén y 731 (Galpón) tuvieron un comportamiento intermedio, con variaciones entre tratamientos y herbicidas.

Los herbicidas auxínicos (dicamba y picloram), presentaron un patrón similar de comportamiento en cuanto a la longitud media plumular, viéndose incrementada con las concentraciones medias y muy disminuidas con la máxima dosis. Fue observada una evidente inhibición del crecimiento radicular, con alteraciones en la división de los tejidos meristemáticos alterando el normal crecimiento de la raíz.

Los restantes herbicidas (pinoxaden, iodosulfuron-mesosulfuron + metsulfuron, pyroxsulam y flucarbazone) produjeron disminución en la germinación y crecimiento plumular con el incremento de la concentración. Los resultados obtenidos en este trabajo manifiestan la respuesta diferencial de las variedades de trigo candeal estudiadas frente a distintos herbicidas selectivos, coincidiendo con lo informado por otros autores.

Consideraciones Finales

La información obtenida en este trabajo resulta valiosa para conocer el comportamiento de diferentes variedades de trigo candeal frente a diversos herbicidas selectivos ampliamente utilizados en el cultivo de trigo pan y cebada. En este sentido, es importante conocer la respuesta del trigo candeal en la germinación y estadíos

iniciales de crecimiento para poder evaluar diferentes estrategias de manejo de malezas sin ocasionar efectos fitotóxicos en el cultivo.

Dado que estos resultados fueron obtenidos en condiciones controladas de temperatura y humedad, se sugiere que sean realizados ensayos futuros en condiciones naturales para poder trasladar dicha información a condiciones de campo. En estas condiciones se obtendría la información precisa del comportamiento de las variedades de candeal ante las diferentes dosis de herbicidas a evaluar considerando la interacción suelo- herbicida- semilla.

Bibliografía

-Azcon-Bieto J. y Talón, M. 2008. Fundamentos de Fisiología Vegetal. 2º edición. McGraw-Hill-Interamericana de España, S.A.U. Capitulo 19: Auxinas. Echeverría, M.; Bravo, J. y Bañón Arnao, M. Pp: 377-398.

-CASAFE. 2017. Manual Fitosanitario.<https://www.manualfitosanitario.com/>. Ultimo acceso: 20 mayo 2019.

-Delchev, G. y Georgiev, M. 2015. Achievements and problems in the weed control in common wheat (*Triticum aestivum* L.) and durum wheat (*Triticum durum* Desf). Agricultural Science and Technology.<http://agriscitech.eu/achievements-and-problems-in-the-weed-control-in-common-wheat-triticum-aestivum-l-and-durum-wheat-triticum-durum-desf/>. Ultimo acceso: 20 de mayo de 2019.

-Fabbri, M.; Polo, A.; Vecchi, S. y Geminiani, E. 2014. Verifica della selettività varietale e dell'efficacia erbicida di diserbanti applicati in post-emergenza su frumenti duri. Atti Giornati Fitopatologiche 1:383-390.

-Federación Argentina de la Industria Molinera, 2016. <https://www.faim.org.ar/>. Ultimo acceso: 20 de mayo de 2019.

-Grossmann, K. 2010. Auxin herbicides: current status of mechanism and mode of action. Pest Management Science 66: 113-120.

-Larsen, A. 2014. Inta Barrow, Chacra Experimental Integrada Barrow Tres Arroyos. <http://www.argentrigo.org.ar/2014/semanadetrigo/tresarroyos/PresentacionIngAgrAdelinaLarsen.pdf>. Ultimo acceso: 24 de septiembre de 2019.

<https://inta.gob.ar/variedades/bonaerense-inta-facon> Ultimo acceso: 25 de septiembre de 2019.

<https://inta.gob.ar/variedades/bonaerense-inta-carilo> Ultimo acceso: 25 de septiembre de 2019.

https://inta.gob.ar/sites/default/files/inta_-_folleto_candear_bi_charito_final.pdf Ultimo acceso: 24 de septiembre de 2019.

https://inta.gob.ar/sites/default/files/inta_-_folleto_candear_bi_quillen_final.pdf Ultimo acceso: 24 de septiembre de 2019.

https://inta.gob.ar/sites/default/files/inta_-_folleto_candear_bi_galpon_final.pdf Ultimo acceso: 24 de septiembre de 2019.

-Lemerle, D.; Hinkley, R. y Fisher, J. 1981. Tolerance of durum wheat varieties to post-emergence wild oat herbicides. Proceedings of the Sixth Australian Weeds Conference, Gold Coast City, Australia, 13-18 September 1981. Ed. :Wilson, B.; Swarbrick, J. Vol 1. Pp.123-126.

-Lezcano, E. 2011. Cadena de la harina de trigo. Alimentos Argentinos. Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca. Pp.1-12.

-Li, Y.; Dong, X.; He, S.; Hu, J. y Yang, D. 2017. Effects of Pyroxulam on acetolactatesynthetase activity of main wheat varieties in Xinjiang. *Acta Agriculturae Boreali-occidentalis sínica*. Disponible: http://en.cnki.com.cn/Article_en/CJFDTotal-XBNX201704012.htm. Ultimo acceso: septiembre 2019.

-López, R.; Catullo, J. y Istilart, C. 2001. Control de malezas. Trigo Candeal, manual técnico. Revista INTA, Ed. INTA. Chacra Experimental Integrada Barrow.

-Manso, L. y Zamora, M. 2019. La superficie sembrada con cultivos de cosecha fina en la región de Barrow. Ruralnet. Conectando al campo. 26/09/2019. Disponible: <https://ruralnet.com.ar/la-superficie-sembrada-con-cultivos-de-cosecha-fina-en-la-region-de-barrow/>. Ultimo acceso: septiembre 2019.

-McMullan, P. y Nalewaja, J. 1991. Triallate absorption and metabolism in relationship to tolerance in wheat (*Triticumaestivum durum*). *Canadian Journal of Plant Science* 71(4):1081-1088.

<https://www.nrcresearchpress.com/doi/abs/10.4141/cjps91-150#.XOvUQYhKjIU> Ultimo acceso: mayo 2019.

-Ministerio de Agroindustria de la Nación. Argentina. Datos Abiertos, Estimaciones de la producción.

Disponible en: <https://datos.magyp.gob.ar/reportes.php?reporte=Estimaciones>. Acceso: 15 de mayo de 2018.

-Molfese, E.; Astiz, V. y Seghezzo, M.L. 2017. Evaluación de la calidad del trigo candeal (*Triticum turgidum* L. subsp. *durum*) en los programas de mejoramiento de Argentina. *Revista RIA INTA*. ISSN 1669-2314.

<http://ria.inta.gob.ar/trabajos/evaluacion-de-la-calidad-del-trigo-candeal-triticum-turgidum-l-subsp-durum-en-los-programas>.

-Seghezzo M. 2015. Calidad en trigo candeal. Laboratorio de calidad industrial de granos. Chacra experimental integrada Barrow, INTA. Ediciones INTA.

-Soltani, N.; Shropshire, C. y Sikkema, P. 2011. Sensitivity of durum wheat (*Triticum turgidum*) to various postemergence herbicides. *Agricultural Sciences* 2: 451-456. <http://file.scirp.org/Html/8601.html>.

-Yannicari, M.; Larsen, A. y Istitart, C. 2017. Evaluación de herbicidas post-emergentes en variedades de trigo candeal. Actualización Técnica de cultivos de cosecha fina 2016/17 – INTA - CEI Barrow. Pp: 105-107.