



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN

“Evaluación del efecto de 9 herbicidas en el cultivo de trigo y cebada, bajo un sistema de agricultura de conservación en la región del Batán, Estado de México”.

TESIS

Que para obtener el título de:

Ingeniera Agrícola

P R E S E N T A

Angélica Cardiel Alanís

DIRECTORA DE TESIS

Dra. Gloria de los Ángeles Zita Padilla



Cuautitlán Izcalli, Estado de México, 2017.



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Índice general.

1. Introducción.....	7
2. Marco de referencia.	10
2.1. La agricultura de conservación como estrategia para hacer frente al cambio climático. ...	10
2.2 Descripción del sistema de producción agrícola de conservación.	13
2.2.1. Principios de un sistema de agricultura de conservación.	13
2.2.2. Comparación entre las principales características de un sistema de producción de conservación y un sistema convencional.	19
2.3. El trigo y la cebada.	20
2.3.1. Centro de origen.	20
2.3.2. Variedades de interés agrícola.	24
2.3.3. Importancia económica mundial y nacional.	25
2.3.3.1. Oferta, demanda y consumo <i>per cápita</i>	25
2.3.3.2. Industria alimentaria del trigo.....	31
2.4. Manejo agronómico bajo un sistema de conservación y bajo condiciones convencionales.	33
2.4.1. Factores del clima favorables para la producción de trigo y cebada.	34
2.4.2. Preparación del terreno.	35
2.4.3. Densidad de siembra.....	36
2.4.4. Riego.....	36

2.4.5. Fertilización.....	36
2.4.6. Labores culturales y manejo de maleza.....	37
2.5. Control de maleza bajo un sistema de agricultura de conservación.....	39
2.5.1. Característica de la maleza ideal.....	39
2.5.2. Dinámica de la maleza dentro de un sistema agrícola de conservación.....	40
2.5.3. Métodos de control de la maleza.....	43
2.5.4. Control químico de la maleza.....	44
3. Objetivo.....	47
4. Materiales y métodos.....	47
5. Resultados.....	53
6. Discusión.....	62
7. Conclusión.....	67
8. Bibliografía.....	84

Índice de Figuras.

Figura 1. Principales procesos de degradación en los suelos de México.....	15
Figura 2. Nivel de degradación de los suelos en México.....	16
Figura 3. Uso del suelo y vegetación en México.....	16
Figura 4. Centros de origen de plantas cultivadas según Vavilov.....	20
Figura 5a y 5b. Descripción anatómica e histológica del grano de trigo.....	22
Figura 6. Estructura anatómica foliar de las gramíneas.....	23

Figura 7. Inflorescencia tipo espiga y su unidad floral.....	23
Figura 8. Acomodo de espiguillas en la inflorescencia.....	24
Figura 9. Demanda del tipo de trigo según la industria destino	32
Figura 10. Clasificación de los herbicidas.....	44
Figura 11. Esquema del diseño en parcela experimental.....	50
Figura12. Esquema del muestreo de maleza -Tamaño de la muestra y submuestra dentro de cada unidad experimental	53
Figura 13. Porcentaje de control en plantas arvenses gramíneas en el cultivo de trigo	55
Figura 14. Biomasa total en kg*ha ⁻¹ de especies arvenses gramíneas en el cultivo de trigo	55
Figura 15. Promedio de granos de trigo por espiga.....	57
Figura 16. Porcentaje de control de plantas arvenses gramíneas en el cultivo de cebada.....	59
Figura 17. Promedio de granos de cebada contenidos en cada espiga	61

Índice de tablas.

Tabla 1. Precios convenidos por contrato para el pago del grano en el ciclo O/I.	29
Tabla 2. Precios convenidos por contrato para el pago del grano en el ciclo P/V	30
Tabla 3 y 4. Complejo de maleza presente en el cultivo de trigo.....	38
Tabla 5. Definición de tratamientos.	49
Tabla 6. Análisis de varianza para el contenido de biomasa de maleza gramínea en el cultivo de trigo	56
Tabla 7. Comparación de medias para el contenido de biomasa en el cultivo de trigo.....	56

Tabla 8. Análisis de varianza para el número de granos de trigo*espiga ⁻¹	57
Tabla 9. Comparación de medias para el número de granos*espiga ⁻¹	58
Tabla 10. Análisis de varianza para el número de granos de cebada*espiga ⁻¹	60
Tabla 11. Comparación de medias para el número de granos de cebada por espiga.....	60

RESUMEN

Se realizó una investigación sobre la efectividad de 9 herbicidas sobre la maleza gramínea en cultivos de trigo y cebada bajo un sistema de mínima labranza. Los herbicidas probados tienen 4 diferentes mecanismos de acción: inhibición de la enzima acetil-coenzima A-carboxilasa (ACCasa), inhibición de la enzima acetolactato sintasa (ALS), inhibición del crecimiento radicular y secuestro de electrones en el fotosistema II.

Para realizar la evaluación de los herbicidas se consideraron 2 aspectos: el primero, determinado por el nivel de control que se tuvo sobre la maleza en cada unidad experimental, reflejado en el número de plantas gramíneas arvenses prevalecientes por unidad de superficie (densidad) y el contenido de biomasa de las mismas; y el segundo, por el impacto que tuvieron los herbicidas y la maleza, sobre las características componentes del rendimiento de los cultivos (número de espigas* m^{-2} , número de granos*espiga $^{-1}$, rendimiento en $kg*ha^{-1}$ y peso hectolítrico). El arreglo experimental consistió en un diseño completamente al azar con 10 tratamientos y 2 repeticiones.

Tras el análisis de las variables de respuesta, se pudo observar que los herbicidas probados en las parcelas de trigo, en cuanto a las variables relacionadas con el control de la maleza gramínea (densidad y contenido de biomasa), mostraron diferencia significativa en el contenido de biomasa, no así en la reducción de la densidad. En cuanto al contenido de biomasa de la maleza, el mayor contenido lo tuvieron las malezas presentes en las parcelas testigo (sin aplicación herbicida), con $0.52 kg*ha^{-1}$, y el menor contenido de biomasa fue registrado en las parcelas donde se aplicó clodinafop + pinoxaden ($0.031 kg*ha^{-1}$). El mayor porcentaje de reducción del número de plantas* ha^{-1} fue de 86%, que se obtuvo con aplicaciones de pendimentalina, que es un inhibidor del crecimiento radicular.

En el cultivo de cebada, el mayor porcentaje de reducción de la densidad de maleza gramínea se obtuvo con fenoxaprop-etil; y en cuanto al contenido de biomasa de las especies arvenses gramíneas sobrevivientes, el más alto fue de $12.82 kg*ha^{-1}$ correspondiente a las parcelas asperjadas con clodinafop, y el más bajo se presentó en la maleza presente en las parcelas tratadas con pendimentalina ($5.68 kg*ha^{-1}$).

En cuanto a las variables de rendimiento y sus componentes, se observó una diferencia altamente significativa para la formación de granos*espiga $^{-1}$ en ambos cultivos; en las parcelas de trigo,

donde se aplicó flucarbazone sodio, se formaron en promedio 28 granos*espiga⁻¹, en el otro extremo se encuentra el promedio registrado en las parcelas tratadas con piroxulam, donde se formaron en promedio 19 granos*espiga⁻¹. En cebada el promedio más alto de granos*espiga⁻¹ (29 unidades) se obtuvo con iodosulfurón + mesosulfurón y el más bajo con flucarbazone sodio (11 granos*espiga⁻¹).

1. Introducción

El presente trabajo parte de la producción agrícola de trigo y cebada dentro de un sistema de conservación (mínima labranza), éste se caracteriza por llevar al mínimo el movimiento del suelo, al no considerar las labores de preparación, que en un sistema tradicional o convencional se realizan previas a la siembra. Aunado a lo anterior, como parte de la estrategia de conservación, este sistema requiere de mantener una cobertura permanente de residuos orgánicos en el suelo y elimina la idea del monocultivo, para dar lugar a rotaciones de cultivo en cada ciclo agrícola.

Las ventajas de un sistema de estas características, se puede definir a través de 3 ejes: productivo, económico y ambiental; si bien se trata de un sistema que proporciona ventajas que se pueden apreciar de manera integral, para los fines que pretende el análisis realizado a lo largo de esta investigación, se enfatizará la atención hacia el último, y cómo es que la agricultura de conservación enfocada en la producción de trigo y cebada, se constituye como una rentable y sustentable solución para reducir el CO₂ presente en la atmósfera. Para ello, es necesario hacer un comparativo entre un sistema productivo convencional y uno de conservación para los cultivos de trigo y cebada, resaltando sus más importantes ventajas y desventajas (Banco Mundial, 2012; Blanco G., 2014; Asfaw, 2016).

Para comenzar, es necesario contextualizar la necesidad de la conversión de un sistema de producción a otro.

Desde la revolución verde, la producción de cereales en todo el mundo se distinguió por desarrollarse bajo condiciones extensivas basadas en la mecanización y manejo de paquetes tecnológicos, que incluyen: semilla con cierto potencial genético, fertilización y empleo de

métodos físicos, pero sobre todo químicos, para el control de plagas, enfermedades y maleza. El cultivo de trigo y cebada no fueron la excepción, la mecanización del proceso contempla desde la preparación del suelo para llevarlo a condiciones adecuadas para la siembra, la aplicación de los distintos plaguicidas y fertilizantes, hasta la cosecha mecanizada; permitiendo así, trabajar grandes superficies, y a la vez, obtener reducciones importantes en los costos unitarios, incrementando la eficiencia de trabajo, y como consecuencia, trayendo mejores dividendos a los productores que tuvieron la oportunidad de hacer ese tipo de inversión y trabajar bajo dicho sistema.

Sin embargo, el panorama se distingue más complejo, cuando de manera paralela se hace una evaluación del impacto que generó el establecimiento de monocultivos dentro de sistemas agrícolas convencionales, ya que se puede percibir y constatar la alteración de uno de los factores más importantes del agroecosistema en cuestión, el suelo, en sus 3 fases componentes: químico, físico y biológico. El uso de maquinaria por largos periodos de tiempo ha resultado en pérdidas en la estructura y fertilidad del suelo. Esto ha provocado la alteración de las relaciones intra e interespecíficas entre poblaciones y comunidades de los microorganismos, mesofauna y demás organismos presentes en un agroecosistema (Palm, 2013).

La alteración de esas relaciones, constituye una nueva dinámica dentro del agroecosistema, la cual, al romper su equilibrio inicial, resulta en relaciones tróficas desproporcionadas que permiten la supervivencia y dominación por parte de ciertos organismos como: insectos, hongos, bacterias y plantas; que, ante la nula competencia y depredación, incrementan su población, convirtiéndose en problemas fitosanitarios, es decir, plagas (FAO, 2006; EWRS, 2015).

La principal desventaja que trae consigo un sistema de agricultura convencional, es que a largo plazo carece de sostenibilidad y sustentabilidad por el impacto mencionado, que tiende a hacer más latente el riesgo de desnutrición en los cultivos, acame, estrés hídrico y proliferación de plagas (FAO, 2006); lo cual, se traduce en un decremento en el rendimiento o en la calidad del producto cosechado (Zita *et al.*, 2011). El hacer frente a un escenario con estas características, significa mayor inversión en insumos y una reducción importante al margen de utilidad alcanzado por su comercialización (Banco Mundial, 2012).

La estrategia alternativa de producción con mínima labranza, de trigo y cebada, contempla 3 metas importantes: revertir el impacto que tienen las labores de preparación del terreno para la siembra sobre el suelo; incrementar la fertilidad del suelo mediante la incorporación de materia orgánica; y que los agroecosistemas bajo un sistema de conservación funjan como bancos de captura de CO₂. Para así, conformar una contribución de impacto con miras de solución al alto contenido de CO₂ en la atmósfera y disminuir los efectos del calentamiento global. (Kassam *et al.*, 2010; CIMMYT, 2013; Banco Mundial, 2012; Asfaw, 2016).

Sin embargo, para que el sistema de conservación de mínima labranza tenga éxito hay que trascender una tendencia desafiante, y es con respecto al control de especies arvenses, haciendo énfasis y prestando mayor atención a aquellas que tienen un ciclo biológico perenne. El control de maleza tiene lugar en las etapas tempranas de desarrollo del cultivo (periodo crítico de competencia), que es cuando es vital retirar la competencia por nutrientes y agua por parte de las especies arvenses para que el cultivo pueda establecerse de manera óptima y lograr un buen desarrollo. Y es precisamente bajo esta consideración, donde se desenvuelve la presente investigación, en la cual se probaron 9 formulaciones herbicidas, algunas con diferente modo y mecanismo de acción para determinar el nivel de eficiencia de cada una de las formulaciones, así como la detección de algún efecto sinérgico o acumulativo con repercusión en el cultivo (COFEPRIS, 2010; Zita *et al.*, 2011; CIMMYT, 2013; EWRS, 2015).

2. Marco de referencial.

2.1. La agricultura de conservación como estrategia para hacer frente al cambio climático.

La responsabilidad por la situación ambiental y el cambio climático global obligan a poner especial atención a la presión que ejercen los sistemas de producción agrícola convencionales sobre los más importantes factores del medio, como son el suelo y el agua. El primero sufre una pérdida en sus componentes físicos, químicos y biológicos; traduciéndose principalmente, en un deterioro en la formación estable de agregados y la pérdida en el contenido de materia orgánica, debido al movimiento continuo del suelo y el uso recurrente de agroquímicos. Como consecuencia, los cuerpos de agua aledaños se ven afectados por la acumulación de compuestos nitrogenados, fosfatados, o plaguicidas; y características como: pH, conductividad eléctrica, demanda bioquímica de oxígeno, oxígeno disuelto, son alteradas, tendiendo hacia una eutrofización, provocando un impacto negativo sobre el equilibrio de los ecosistemas en general.

En el caso del suelo, este nuevo estado de equilibrio alterado, disminuye su capacidad para almacenar carbono, dando lugar a un balance deficitario, desde un enfoque ambiental, entre el carbono almacenado y el que queda libre en la atmósfera, donde al quedar rebasada esta capacidad, el CO₂ pasa a formar parte del complejo gaseoso de la atmósfera, provocando serias repercusiones en la calidad del aire y provocando un efecto invernadero más severo que repercute de manera general en un incremento de la temperatura atmosférica (Sandoval, 2003; Banco Mundial, 2012; IPCC, 2014; FAO, 2015°).

Con relación a lo anterior, hay que mencionar, cómo es que la agricultura de conservación se constituye como una solución rentable y sustentable para realizar la conversión de C inorgánico a orgánico, al tiempo que permite la mejora de los servicios ambientales brindados por los agroecosistemas, en este caso, los destinados al cultivo de trigo o cebada (Palm, 2013).

Para poder sugerir un sistema de producción basado en la mínima labranza, por principio hay que resaltar la situación que generó el interés por inspeccionar nuevos sistemas de producción agrícola como alternativa al sistema convencional (labranza tradicional). Dicha situación tiene que ver con las emisiones de CO₂, el cambio climático, y el cómo ciertos cambios en las

prácticas agrícolas, pueden contribuir al cumplimiento de las metas pactadas a favor de la reducción de la concentración del CO₂ en la atmósfera (FAO, 2014^a, 2016^h).

Desde la década de los 70's, las emisiones de CO₂ se han incrementado en un 90%; para el año 2010 se promediaban emisiones de gases de efecto invernadero por 49 Giga-toneladas por año (periodo comprendido del 2000-2010); haciendo una revisión de las emisiones de CO₂ por sector, el energético (combustión de combustibles fósiles y procesos industriales) es responsable del 78% de la carga total de CO₂ presente en la atmósfera, proveniente de fuentes antropogénicas; el segundo sector contaminante es el agrícola-silvícola (AFOLU por sus siglas en inglés) con una contribución del 25% del total de emisiones de CO₂ (IPCC, 2014).

El CO₂ no es el único gas de efecto invernadero, también el ozono (O₃), óxido nitroso (N₂O), metano (CH₄), hidrofluorocarbonos (HFC), perfluorocarbonos (PFC) y el hexafluoruro de azufre (SF₆) lo son, pero el CO₂ es el que tiene una mayor proporción de emisión en unidades volumétricas. La característica principal de los gases de efecto invernadero es que pueden retener longitudes de onda larga (700-1400 nm) provenientes de la radiación solar, repercutiendo en las tendencias de temperatura atmosférica, provocando un incremento generalizado de la misma (FAO, 2014^a, 2016^h). El cambio climático tiene lugar a consecuencia de una alteración en el balance energético provocado entre la cantidad de radiación solar recibida y la expulsada de la tropósfera; los gases de efecto invernadero impiden que se lleve a cabo dicha expulsión, provocando una modificación generalizada en los sistemas, regida por una regulación que para llegar a un nuevo equilibrio, provoca un incremento en la temperatura atmosférica; un ejemplo de los efectos de dicho incremento sobre los diversos sistemas, es el caso del fenómeno del niño y de la niña, donde variaciones en la temperatura de la masa oceánica, significan la presencia de este tipo de eventos meteorológicos (SEMARNAT, 2012).

México está dentro de los 15 países más contaminantes por emisiones de CO₂, sus emisiones para el año 2010 llegaron a 504 millones de toneladas (SEMARNAT, 2012). Al respecto, nuestro país ha sido signatario de compromisos de carácter ambiental a nivel mundial, en cuanto a la reducción de emisiones. Por ello, nuestro país dispone de una fracción del presupuesto para destinarlo a modo de compensación para promover la captura de carbono por medio del suelo o la vegetación (conversión de C inorgánico a su fracción orgánica). Así que la dirección que han de tomar las políticas de estado en cuestión ambiental y sus estrategias, está supeditada a lo

firmado en la cumbre por la tierra en el año de 1992 en Río de Janeiro, Brasil y cumbres ambientales posteriores, dónde se diseñaron y estructuraron los principios aplicables en lo sucesivo para decisiones y determinaciones de carácter ambiental y la relación a mantener con respecto a los alcances de conservación y procuración en la misma materia; esto, sin frenar la evolución económica del país. Como resultado, se estableció un compromiso de acatamiento, apego y seguimiento a dichos principios internacionales, dónde se reconoce e impulsa como factor de solución, la conversión de los sistemas intensivos de producción agrícola hacia otros que comprendan la integración de prácticas eficientes, más sostenibles y sustentables como lo son los sistemas de conservación, cuyo potencial, permite vislumbrar un mejoramiento en los servicios ambientales proporcionados, especialmente sobre la calidad del aire, mediante una mayor capacidad de captura de CO₂ por parte de los agroecosistemas bajo producción dentro de un esquema de conservación (Blanco G., 2014) (Asfaw, 2016).

La conversión de un sistema a otro, contempla otras ventajas como: incrementar la fertilidad de los suelos, ya que la transformación de CO₂ a materia orgánica significa una capacidad real y constante de captura de C en el suelo, el cual hasta el momento se encuentra concentrado en la atmósfera y en general, esta conversión, procura la sostenibilidad y mejora de servicios ambientales de soporte, regulación y desde luego, de provisión por parte de los agroecosistemas. Esta dinámica puede conformarse bajo una consideración más, que es la potencial constitución de núcleos generadores de ingresos adicionales para los agricultores que adapten este tipo de sistema a su modo de producción, mediante la participación e inserción de estas unidades o núcleos al mercado de emisiones (Palm, 2013; IPCC, 2014; FAO, 2016^h).

México reafirmó el compromiso anteriormente citado, al aceptar los términos del protocolo de Kyoto (1997), dónde concretamente se muestra voluntad para reducir en un 5% las emisiones de CO₂, tomando como base las emisiones registradas a principios de la década de los 90. Dicha voluntad se materializó en la redacción de la ley general de cambio climático (2012); dónde se responsabiliza a la federación sobre el desarrollo de estrategias para llevar a cabo un manejo y aprovechamiento sustentable de los agroecosistemas, para mitigar y favorecer la adaptación al cambio climático, mediante la regulación e instrumentación de dichas estrategias. Dentro de éstas se encuentra el diseño, establecimiento y promoción de la aplicación de instrumentos económicos, financieros y de mercado, enfocados a la reducción de emisiones de gases de efecto

invernadero; además de fomentar el establecimiento de un mercado nacional, donde se permita la participación y transacción vinculadas a mercados de carbono internacionales, mediante la emisión de bonos de carbono o bonos verdes.

Pese a que en nuestro país no se ha aprovechado este mercado en su totalidad, en el año 2004 se comenzó con un programa piloto para el pago compensatorio por servicios ambientales (captación de agua, conservación de la diversidad y captura de carbono) en ecosistemas dentro de esquemas de conservación y preservación en materia forestal, bajo el nombre de: “Programa federal para el desarrollo de los mercados de servicios ambientales de captura de carbono y los derivados de la biodiversidad”. Para el año 2009, el programa contemplaba un pago de \$ 2, 179 en promedio por ha en 5 años, por cada uno de los servicios obtenidos (hidrológico, biodiversidad, captura de carbono) (Sosa, 2009); y para el 2011, en el mismo programa, se eliminó la retribución por captura de carbono y únicamente aplicó para servicios hidrológicos y de conservación de la biodiversidad, destinando un total de \$903,927,832.50 repartidos en 4,709.28 ha en un periodo de 5 años (SEMARNAT, 2011).

2.2. Descripción del sistema de producción agrícola de conservación.

2.2.1. Principios de un sistema de agricultura de conservación.

La agricultura de conservación (AC) plantea 3 principios generales: a) Mínimo movimiento del suelo, b) Cobertura permanente de residuos orgánicos en el suelo y c) Rotación de cultivos (FAO, 2015^d; Nichols *et al.*, 2015).

a) Mínimo movimiento del suelo.

La degradación de un suelo puede ser provocada por una alteración en sus diferentes fases componentes: física, química y biológica. En la primera, el rasgo principal es la pérdida de estructura por erosión, que en primera instancia equivale a la pérdida de las partículas más pequeñas (arcillas) y en caso de persistir el fenómeno, puede dar lugar a la pérdida de la capa más superficial; otra causa de repercusión en la estructura es la compactación, que mediante la deformación del terreno, provoca el hundimiento general de los perfiles superficiales y condiciones de anegamiento, y una vez evaporada el agua, un encostramiento de la capa residual más cercana a la superficie. La alteración de la fase química implica una desestabilización de la Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC), iniciada por la disminución en la tasa de conversión

de CO₂ a C orgánico, que actúa como material cementante entre las partículas del suelo al igual que la arcilla, estos materiales son la principal fuente determinante de la CIC, que es la que indica el grado potencial de fertilidad de los suelos; al desestabilizarse, se presenta una nueva composición de iones (no útiles para la planta) disponibles en el medio, dando como resultado una pérdida en la fertilidad, una posible contaminación, salinización, o bien una eutrofización, según las condiciones que prevalezcan en el medio. Finalmente, en el caso de la alteración biológica, se modifica la composición de las poblaciones de microorganismos y mesofauna que habitan en el suelo, llevando a proporciones disminuidas de sus poblaciones que modifican el equilibrio de la dinámica integral dentro del mismo, tendiendo a repercutir en las 2 fases anteriores.

En un sistema de agricultura basado en la mínima labranza, se practica la siembra directa, donde no hay necesidad de preparar el suelo previamente; sin embargo, esta modalidad de sistema de conservación plantea en el primer ciclo la formación de camas anchas (1.5m de ancho) o angostas (0.75m de ancho) y su recomposición cada vez que su deformación lo exija; la labranza mecánica de cada ciclo es sustituida por una labranza biológica, realizada por los organismos habitantes del suelo y las raíces de cultivos anteriores en descomposición, los cuales funcionan como herramientas biológicas que evitan algún impacto severo como los expuestos anteriormente, mediante una estabilización de los macroagregados (>1mm) en los estratos más superficiales del suelo, fomentando la formación de macroporos estables, y por consiguiente, manteniendo constante la fracción correspondiente al espacio poroso (mayor al 40%); un incremento en el espacio poroso, repercute de manera positiva en la infiltración, lo que significa una mejor distribución del agua tanto en dirección vertical como lateral, y al incrementar el contenido de materia orgánica y no perder porciones de arcillas por efectos de erosión, se aumenta la capacidad de retención de agua por parte de los perfiles que conforman la rizósfera, lo que de manera general indica que el cultivo estará expuesto a menores y más breves episodios de estrés por falta de agua; un factor más a considerar cuando se hace un mínimo movimiento del suelo, es que se estabiliza la relación C/N entre valores de 20 y 30, lo que da lugar a una velocidad de descomposición de los residuos adecuada para dar oportunidad a reutilizar nutrientes como nitrógeno y fósforo (Azimzadeh, 2012; FAO, 2015^{b,d}, 2016^g; INECC, 2012).

Este principio procura conservar la estructura natural original y funcional de los suelos, y al hacerlo, se eficientiza la distribución del agua a través de los perfiles, se evita la deformación y anegamiento del suelo, su pérdida por degradación a causa de la erosión, y se mantiene como un reservorio constante de nutrientes.

En México, la superficie afectada por algún proceso de degradación por causas antropogénicas, equivalía al 45.2% del territorio nacional en el año 2002, siete años más tarde, la porción llegó a representar el 64% (CONAFOR, 2009). Se reconocen 4 tipos de degradación: ligera, moderada, fuerte y extrema; en la primera, los terrenos con finalidad agrícola, presentan una reducción apenas perceptible en su productividad; la segunda presenta una marcada reducción en la productividad; la tercera tiene una reducción sumamente importante en la productividad, sólo recuperable con programas estrictos de recuperación; y finalmente la degradación extrema provoca una pérdida irreparable de la productividad (SEMARNAT, 2010). A continuación, se ejemplifica gráficamente esta situación (Figura 1, 2 y 3).

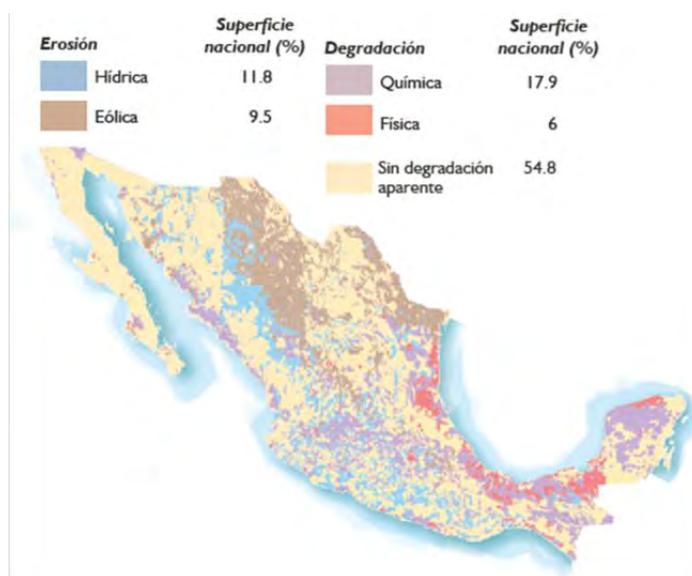


Figura 1. Principales procesos de degradación en los suelos de México en el año 2002. Fuente: SEMARNAT (2010).



Figura 2. Nivel de degradación de los suelos en México en el año 2002. Fuente: SEMARNAT (2010).

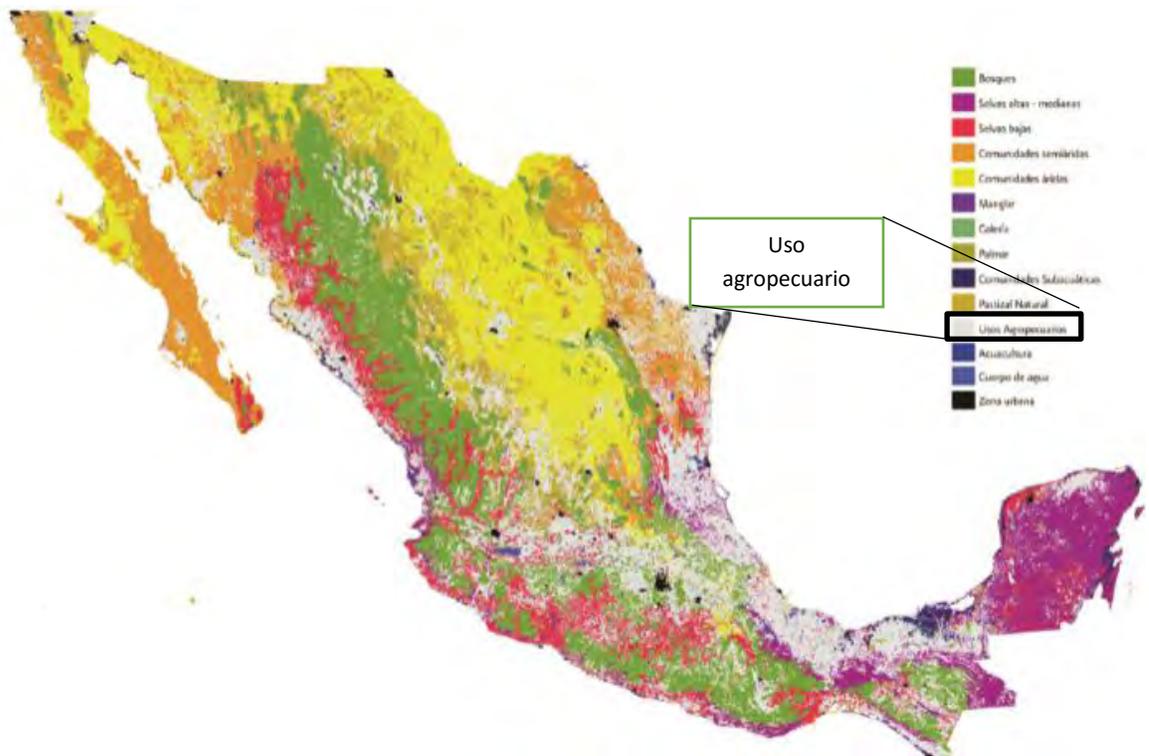


Figura 3. Uso del suelo y vegetación en México, 2009. Fuente: CONAFOR (2009)

b) Cobertura permanente de residuos de cosechas anteriores en el suelo.

Este principio se refiere a la retención de los residuos de la cosecha anterior a modo de cobertura sobre el suelo; la cantidad establecida varía, sin embargo, los mejores resultados se obtienen con una cantidad mínima equivalente al 30% de los residuos o mayor a las 4 toneladas*ha⁻¹. Esta cobertura brinda protección al suelo contra el principal proceso de degradación, la erosión, tanto hídrica como eólica; a la vez, funge como barrera física, que reduce la tasa de evaporación del agua y evita la emergencia de maleza principalmente de ciclo biológico anual. También es fuente permanente de alimento y resguardo para los microorganismos y mesofauna encargados de llevar a cabo la “labranza biológica”, que permite una mayor producción de humus y la permanente formación de canales o espacio poroso en el suelo, que facilita el intercambio y distribución de aire y agua a través del mismo, estos organismos al completar su ciclo biológico, permiten que los compuestos constituyentes de sus estructuras celulares sean liberados y algunos aprovechados como nutrientes por parte de las plantas (FAO, 2015^d).

Al conservar los residuos, como se mencionaba previamente, se estabiliza el sistema a través de la descomposición de los materiales vegetales, porque se desencadenan reacciones químicas y biológicas que dan lugar a la incorporación de la materia orgánica y la conservación de la fracción arcillosa; y con estas 2 características, se incrementa la capacidad del suelo tanto, para intercambiar cationes, como para retener agua; que de manera general servirá para mejorar las condiciones del suelo que fungirá como hábitat de un mayor rango de biodiversidad de microorganismos y mesofauna (INECC, 2012).

La distribución de los residuos tiene que ser uniforme, para garantizar condiciones homogéneas de humedad y temperatura en toda la superficie cultivada. Una distribución irregular puede propiciar un ambiente húmedo y frío alrededor de las semillas, lo que favorecería el desarrollo de enfermedades.

c) Rotación de cultivos.

Los suelos perturbados tienen una escasa capacidad para almacenar agua y retener nutrientes, por lo que se requieren de prácticas culturales como la rotación; en este caso del trigo y la cebada con leguminosas, donde a través del mejoramiento de las propiedades físicas, químicas y biológicas, se limita la pérdida del recurso suelo y comienza un efecto de reversión hacia una mayor fertilidad, retención de agua en los perfiles del suelo y no sobre la superficie (Fontana, 2014; FAO, 2015^{b,d}, 2016^h).

Los primeros años bajo un esquema de mínima labranza se debe procurar establecer ciertos cultivos, que al momento de convertirse en residuos, se descompongan lentamente (alta razón C/N), por ejemplo, pastos y cereales. Para años siguientes, cuando hay indicios de mejoramiento en la estructura del suelo, entonces es tiempo de introducir cultivos de la familia Fabaceae, para comenzar con el mejoramiento de la fase química, mediante el incremento de las porciones de nitrógeno en el medio (FAO, 2015^b).

Cuando en el ciclo previo al de siembra de trigo o cebada se cultivaron especies leguminosas como frijol, garbanzo, chícharo, haba, etc., o bien, alguna especie forrajera; el nitrógeno abonado al suelo por los residuos de la cosecha, reduce el requerimiento de este elemento por parte de las plantas de trigo y cebada. Como resultado de esta práctica en el cultivo de estos cereales de grano pequeño, se logran rendimientos en grano más altos y con un mayor contenido proteínico (FAO, 2016^g).

Este principio permite una reserva de nitrógeno residual a la cosecha de las especies leguminosas, que durante el ciclo siguiente, va a satisfacer entre un 20 y 40 % del total de nitrógeno requerido por las plantas de trigo o cebada (FAO, 2015^b). Las leguminosas que se destinan para grano pueden llegar a acumular hasta 40 kg de N por hectárea, pero si posteriormente son empleadas como abono verde, la aportación puede ser mayor, equivalente a 300 kg de N por hectárea (FAO, 2015^b, 2016^g).

Otra característica importante, es que el sistema radical de las gramíneas al ser sembradas tras un ciclo en rotación con especies leguminosas, se desarrolla de manera robusta y vigorosa, brindándole ventajas competitivas ante las especies arvenses, para alcanzar los nutrientes presentes en la matriz del suelo (FAO, 2016^g). Por otro lado, las raíces de especies leguminosas como garbanzo o chícharo, secretan ácidos orgánicos, que pueden generar cierta movilidad del fósforo y lograr que quede disponible para el aprovechamiento del cultivo (FAO, 2015^b).

Al llevar a cabo una rotación de los cultivos, se trabaja una labranza biológica a diferentes profundidades, porque las raíces de las leguminosas tienen la facultad de desarrollarse a una mayor distancia de la superficie en comparación con las gramíneas, que al ser intercambiadas, se promueve una mejora en las propiedades físicas del suelo, en sus diferentes perfiles, incidiendo positivamente sobre la capacidad de filtración y drenaje (FAO, 2016^g).

2.2.2. Comparación entre las principales características de un sistema de producción de conservación y un sistema convencional.

La creciente demanda de granos industriales como el trigo y la cebada, ha presionado al medio agrícola para que sus sistemas de producción lleven al máximo su capacidad de soporte con miras a obtener los más altos rendimientos, sin hacer una valoración integral del entorno y la degradación de sus componentes. Los sistemas de producción convencional, con características intensivas, carecen en general de un enfoque con alguna pretensión real de retribución proporcional de la energía extraída del agroecosistema en particular.

Un sistema convencional se basa en la mecanización de todas sus labores: preparación de suelo, aplicación de herbicidas, siembra, fertilización, fungicidas, plaguicidas, escarda y cosecha. La labranza se emplea de manera general para 2 importantes funciones: generar buenas condiciones (tamaño de terrones) en el suelo para la germinación de la semilla, mediante la disgregación de las partículas de mayor tamaño de la capa superior del mismo, y la otra es llevar a cabo el control de la maleza mediante su eliminación mecánica (paso de rastra o escarda), mediante su destrucción y entierro. Sin embargo, el realizarla cada ciclo agrícola, provoca una compactación gradual del suelo por el peso de la maquinaria; además se convierte en una presión constante sobre la estructura del suelo originando procesos erosivos, que se agudizan por la falta de cobertura vegetal.

La capacidad productiva de los suelos agrícolas y su sostenibilidad depende de la actividad biológica que llevan a cabo los organismos que ahí habitan; en gran medida del ritmo en el que logran la descomposición y degradación de los residuos vegetales; una tasa de degradación superior en comparación con la de recuperación de materia orgánica (M.O.) significa que la oxidación del C orgánico se realiza en un lapso de tiempo reducido, lo que lleva a tener poca presencia de M.O. en el suelo y al no poder prolongar su tiempo de vida en este medio, es liberado en forma de CO₂ a la atmósfera (FAO, 2015^{c,d}).

En el sistema de mínima labranza se realizan las mismas actividades (siembra/fertilización, aplicación de pesticidas y cosecha), excepto la preparación del suelo, se le llama de mínima labranza porque se requiere de acondicionar el suelo en camas de tipo ancho o angosto, no

siendo necesaria su reformación ciclo tras ciclo, sino que los periodos pueden ser más prolongados, dependiendo del grado de deformación de la cama y de las posibilidades económicas del productor.

2.3.El trigo y la cebada.

2.3.1. Centro de origen.

De los 8 centros de origen identificados por Vavilov, tanto el trigo como la cebada son cereales que comparten uno, según los criterios establecidos por este autor. A este centro de origen se le reconoce con el número 4 y es identificado como cercano oriente, conformado actualmente por los países de: Irak, Siria, Irán, Jordania, Emiratos Árabes Unidos, Yemen, Omán y Arabia Saudí (CONABIO, 2012; FAO, 2016^f).



Figura 4. Centros de origen de plantas cultivadas según Vavilov. Fuente: CONABIO (2012).

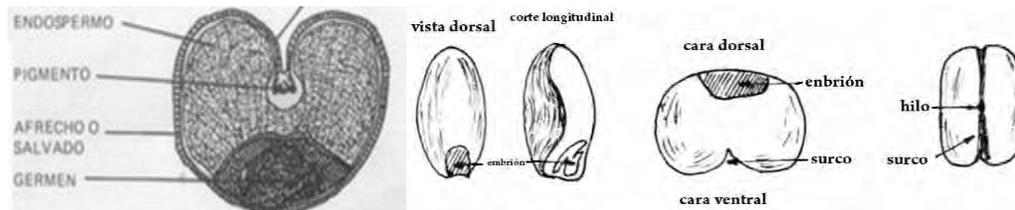
El trigo y la cebada también comparten características morfológicas, son especies monocotiledóneas, de porte herbáceo, autógamas, su ciclo biológico tiene duración de un año; en la base del tallo presentan nudos de ahijamiento o amacollamiento, Dentro de su ciclo biológico se distinguen 3 etapas fenológicas en general: Vegetativa, Reproductiva y de Maduración. (SAGARPA 2014, 2015).

La clasificación taxonómica bajo la cual se identifican al trigo y la cebada es la misma para ambos hasta llegar al taxón de tribu; recordando que los taxones que le anteceden a la tribu en

orden descendente son: Reino- Plantae, División-Magnoliophyta, Clase-Liliopsida, Orden-Poales/Glumiflorales, Familia-Gramineae, Subfamilia-Pooideae, Tribu-Triticeae. La descripción se presenta a continuación:

El orden de las gramíneas (Poales-Glumifloral) indica que las flores son hermafroditas con 3 estambres, de ovario súpero, y van a estar protegidas por glumas y glumelas; las flores están agrupadas en espiguillas y el fruto puede ser una carióspside o un aquenio; y precisamente esta diferencia es la que da lugar a las dos familias que entran en el orden de las glumiflorales que puede ser Gramineae (carióspside), Ciperáceae (aquenio). La carióspside se trata de un fruto seco, indehiscente, con el pericarpio adherido a la semilla, la cual se caracteriza por tener una hendidura longitudinal en la parte central y está compuesta por el embrión y el endospermo (Fig. 6^a y 6b); en la cara posterior de la semilla se encuentra el surco o sutura carpelar, dónde el hilo puede presentar diferente forma según de la especie que se trate. El endospermo contiene principalmente almidón y gluten, de éste último entre un 7-10%, y se trata de un compuesto proteico insoluble en agua, y en el caso del trigo es lo que le otorga cualidades particulares para sus diversos usos en la industria (Maldonado, 2009).

a)



b)

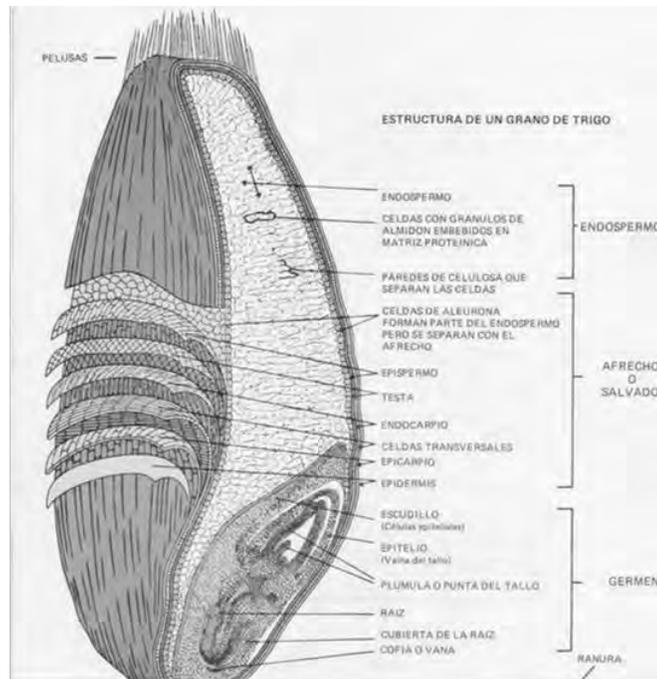


Figura 5a y 5b. Descripción anatómica e histológica del grano de trigo. Fuente: CANIMOLT (2015).

Los rasgos característicos dentro de la familia de las gramíneas son los siguientes: se trata de plantas que no generan tejido secundario (leñoso), en cuanto a la estructura de la hoja: la lámina foliar es de forma lanceolada, llegando a un largo que va desde los 15 hasta los 25cm, cuenta con una nervadura dispuesta en paralelo al conducto principal, la vaina tiene un patrón de crecimiento característico que rodea al tallo, entre la vaina y la lámina foliar se encuentra la lígula, que sirve como estructura de identificación junto con las aurículas cuando aún no es visible la espiga; el tallo es cilíndrico y cuenta con puntos de crecimiento intercalares llamados nudos; las raíces son de tipo adventicio, 1 primaria y 4 laterales. La unidad floral de la familia es la espiguilla, ésta se encuentra en conjunto con otras similares, dispuestas en orden sobre 2 rangos opuestos y alternas a lo largo del eje o raquis por lo tanto son dísticas, y se acomodan formando la espiga (inflorescencia), no todas las espiguillas son fértiles, y cada una se encuentran contenida en 2 glumas, al interior de las glumas se encuentran las glumelas, de las cuales la que se encuentra en posición inferior se reconoce como la lema que en el caso del trigo y la cebada, se prolonga en forma de arista, dando origen a una espiga barbada; y en posición superior está la palea. El androceo consta de 3 estambres, el gineceo es súpero bicarpelar, unilocular con 2 estigmas plumosos. (Maldonado, 2009; CANIMOLT, 2015).

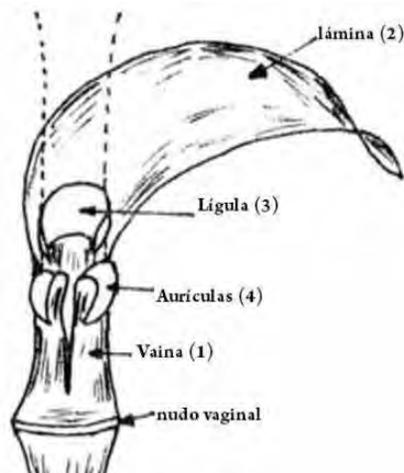


Figura 6. Estructura anatómica foliar de las gramíneas. Fuente: CANIMOLT (2015).

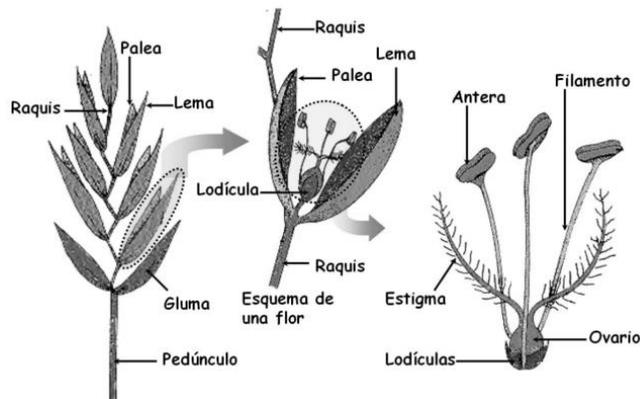


Figura 7. Inflorescencia tipo espiga y su unidad floral (espiguilla) característica de las gramíneas (trigo y cebada). Fuente: UPV (2015).

Se pueden distinguir 10 etapas fenológicas de las gramíneas son: germinación, desarrollo vegetativo, amacollamiento, producción de nudos, engrosamiento de vaina, espigado, anthesis, estado lechoso del grano, estado pastoso del grano y madurez.

Dentro del taxón de tribu Triticeae, se encuentra el género *Hordeum* y *Triticum*, donde sus principales diferencias se encuentran en la espiguilla, en el trigo será solitaria en cada segmento del raquis, mientras que la cebada cuenta con 3 espiguillas en el mismo segmento; además de que las glumas son anchas en el trigo (*Triticum*) y en la cebada (*Hordeum*) son delgadas (lineares), las aurículas en el trigo son pubescentes y cortas, y en la cebada son glabras y largas

(>3mm); y en el grano de trigo es observable una prolongación en la parte superior llamada diente (Maldonado, 2009).

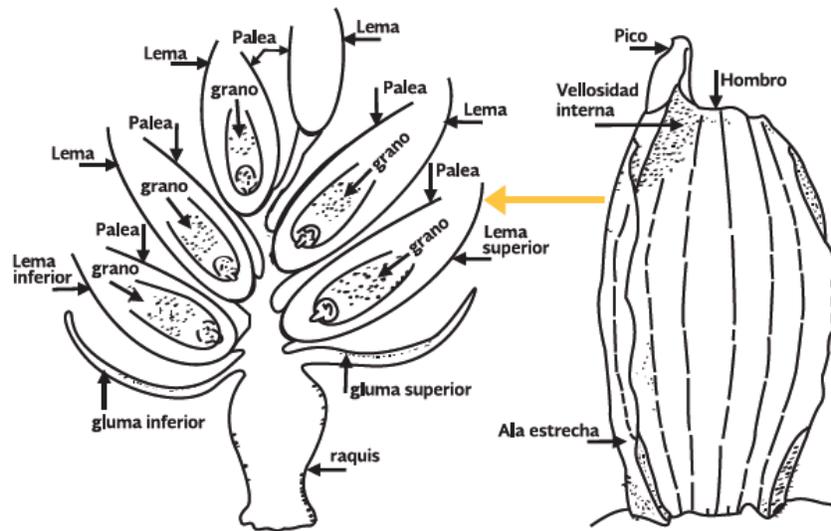


Figura 8. Acomodo de espiguillas en la inflorescencia. Fuente: Graphic handbook for graphic handbook for variety description in wheat (*Triticum spp.*) (SAGARPA-SNICS, 2015).

2.3.2. Variedades de interés agrícola.

La variedad se refiere a la subdivisión de una misma especie que incluye a individuos con características particulares que los diferencian de otros a nivel especie; la condición para ser considerada como variedad, es que dichas características deben ser estables y homogéneas. Siguiendo esta definición del trigo (*Triticum aestivum*) en México, se tienen registradas 120 variedades con potencial productivo y solamente 13 de cebada (*Hordeum vulgare*). (SNICS, 2016).

Las diversas variedades tanto de trigo por un lado, como de cebada por el otro, se pueden distinguir por medio de la expresión fenotípica diferencial de estas características particulares, y la forma (cualitativa, cuantitativa o pseudocualitativa) en la cual se expresan las mismas bajo cierta evaluación.

Para hacer una diferenciación entre variedades se consideran caracteres de agrupamiento definidos por niveles de expresión ya documentados. Se hace una revisión de las diferentes

estructuras morfológicas de la planta, del tallo, espiga, aristas, glumas, grano, así como de la planta en general. Los caracteres de agrupamiento son:

- a) Gluma: forma (ovoide, oblonga media, oblonga estrecha), elevación del hombro.
- b) Tallo: grueso de la médula en la sección transversal (delgada, media o gruesa), densidad de la vellosidad del nudo superior, glaucescencia del cuello de la espiga.
- c) Aristas: presencia, distribución, longitud y color.
- d) Espiga: color, longitud, densidad (laxa, media o densa).
- e) Grano: forma, color, presencia o ausencia de tricomas.
- f) Planta: hábito de crecimiento, porcentaje de hojas bandera curvas, época de espigado y altura.
- g) Hoja bandera: pigmentación antocianica de las aurículas, glaucescencia de la vaina y la glaucescencia del envés del limbo (SAGARPA-SNICS, 2015).

La variedad de cebada más utilizada por sus características adecuadas para el malteo es la “esmeralda” que es de 6 carreras. En trigo la variedad dependerá de las particularidades en cuanto a contenido de gluten y proteína en general; de su demanda en el mercado y de las condiciones climáticas imperantes en la región de producción.

2.3.3. Importancia económica mundial y nacional.

2.3.3.1. Oferta, demanda y consumo *per cápita*.

Haciendo una revisión general sobre el panorama global y nacional de ambos cereales, se pueden detectar los factores y variables macroeconómicas que dictan el comportamiento y tendencia de los precios de estos granos, por lo tanto, inferir sobre las condiciones generales que imperan a lo largo de la cadena productiva.

Comenzando por el trigo, a nivel global según el tipo de consumo, humano o animal, se pueden distinguir los tipos de mercado a los que puede dar lugar, por ejemplo, para consumo humano

se ocupa el 79% de lo producido a nivel mundial, un 20% como forraje, y sólo el 1% se destina para la síntesis de biocombustible (CANIMOLT, 2014). Del porcentaje destinado al consumo humano, casi la totalidad se ocupa para su uso en la industria alimentaria. En cuanto al trigo con fines forrajeros, tiene sus limitaciones, porque está condicionado a que los precios de granos más agradables para el ganado como maíz amarillo o sorgo, se encuentren por encima que el alcanzado por el trigo.

La clasificación de los trigos de interés industrial a nivel internacional, está determinada por la dureza del grano, su color, sus características relacionadas con la molienda y uso (tipo de gluten), además de su temporada de siembra (CANIMOLT, 2015).

La composición del grano de trigo se puede distinguir con los siguientes porcentajes: Almidón 70-75%, agua 14%, proteínas 10- 12%, lípidos 2% y polisacáridos diferentes al almidón 2-3%. El factor importante para fines de uso y por lo tanto clasificación, es el complejo proteínico, el cual se conforma de proteínas que no conforman el gluten y las que sí, las primeras representan entre un 15-20% del contenido total de proteínas en el grano y se encontrarán principalmente en las capas externas del mismo; las proteínas que conforman el gluten le confieren a la masa de trigo propiedades únicas que le diferencian de las masas producto de otros cereales, el resto de las proteínas se encuentran en el endospermo, son de almacenamiento de la clase prolamina que forman una matriz continua alrededor de los gránulos de almidón, son insolubles en agua y se pueden distinguir 2 grupos, uno monomérico (gliadinas) y otro polimérico (gluteninas). Las gliadinas son solubles en alcohol y las gluteninas son solubles en ácido a baja concentración. Hay una clasificación alterna que basa su categorización en el contenido de azufre por parte de las gluteninas y gliadinas, el contenido de azufre está relacionado con la elasticidad, ya que ésta está determinada por los enlaces disulfuro entre las gluteninas. (De la Vega, 2009). Si el endospermo tiene mayor proporción de gluteninas, dará lugar a un gluten fuerte y tenaz (pastas); si tiene mayor proporción de gliadinas, resultará en un gluten viscoso y extensible (galletas); el punto intermedio entre ambos da lugar a un gluten de fuerza media ideal para la panificación. (De la Vega, 2009).

La industria de trigo en México se basa en una clasificación de 5 categorías, en las que 3 son destacables porque reflejan en general los diferentes usos según el tipo de gluten presente en el grano, distinguiendo entre un grano que posee un gluten fuerte y elástico, uno débil y poco

elástico, y por último un gluten fuerte, tenaz y nada elástico; dando lugar a harinas para pan, galletas y pastas, respectivamente. Las otras 2 categorías son una combinación de las diferentes proporciones de los tipos mencionados (CANIMOLT, 2015).

Al hacer una revisión sobre las variables macroeconómicas que rigen al mercado internacional del trigo, se observa que la oferta está compuesta por el volumen de producción anual y el de inventarios; estos 2 factores son los que brindan, según la medida y magnitud en la que se presenten, certeza al mercado, porque reducen la probabilidad de que se den las condiciones para que haya volatilidad del precio de trigo. Años en cuyos ciclos agrícolas se obtengan altos volúmenes de cosecha, generan un escenario de reposición de los volúmenes de inventario y derivado de esto, un decremento en el precio internacional.

La producción mundial de trigo para el año 2013 fue de 711.14 millones de toneladas y de 728.97 millones para el año 2014; este volumen puede servir de referencia sobre la importancia de este grano, ya que sólo es superado por el maíz y el arroz.

De los países que encabezaron la lista en el año 2013 los principales productores fueron: China, responsable de aportar el 17.14% de la cifra citada, India (13.15%), E.U (8.15%) y Rusia (7.32%); cabe mencionar que para el año anterior (2012), los mismos países encabezaron la lista de producción (FAO, 2015^e). Para tener un panorama completo sobre las tendencias de mercado generadas por la influencia de la oferta, también hay que considerar los volúmenes de trigo exportado, porque en algunos casos no hay relación entre la capacidad de producción y la intención de exportación; así que para respaldar esta consideración, se puede ver que durante el año 2013, la cantidad de grano exportado llegó a 162.8 millones de toneladas siendo el país más destacado E.U. (20.39%), otros países con una tasa importante de exportación son Canadá, Francia, Australia y Rusia (FAO, 2015^e).

Pasando a otra variable, del lado de la demanda internacional, se observa que su influencia está determinada por la cantidad de grano importado, que equivalió a 161.72 millones de toneladas en el año 2013, donde el país que compró la mayor porción fue Egipto, la cual equivalió al 6.36% del total importado a nivel mundial, otro país importador destacado es Brasil, con una importación promedio de los años 2012 y 2013 de 6.93 millones de toneladas, 3.93 millones de toneladas menos que Egipto (FAO, 2015^e).

En cuanto al punto de convergencia de las variables oferta y demanda, se puede observar que de los precios registrados en el mercado internacional los más altos correspondieron a los años 2011 (mayo) y 2012 (julio), donde alcanzaron los 400 y 350 dólares por tonelada, respectivamente; caso contrario al alcanzado en el año 2014, donde la buena cosecha generalizada provocó una caída de precio, llegando a 230 dólares por tonelada (FAO, 2015^e).

Pasando al contexto nacional, el consumo per cápita de harina de trigo es de 40.3 kg al año (2014). La producción de trigo, en el año 2013 alcanzó los 3.4 millones de toneladas y para el 2014 los 3.7 millones donde del total, el 96% se destina para consumo humano y el 4% para forraje (SAGARPA, SIAP, 2014; FAO, 2015^e).

Es necesario hacer una distinción entre la producción registrada dentro de cada ciclo agrícola, porque es notable cierta proporción, donde la producción obtenida bajo el ciclo otoño-invierno (O/I), llega a equivaler alrededor del 95% (94.65%- promedio 2013-2014), obviamente el porcentaje restante (5.35%) corresponde a la producción lograda bajo el ciclo primavera-verano (P/V). La mayor parte de la producción del ciclo O/I está concentrada en 2 estados: Sonora y Baja California, los cuales para el 2013 fueron responsables del 81.9% del total producido para este ciclo, y del 67.7% del registrado al año siguiente. En cuanto al ciclo P/V, el principal estado productor es Tlaxcala, que registró para el año 2013 el 51.8% del total de grano para este ciclo, para el año siguiente disminuyó su aportación (43.2%), sin que significara un desplazamiento descendente en el ranking como principal productor bajo el ciclo P/V (SAGARPA, 2014).

Otro dato importante a considerar, dependiendo de las expectativas que se pretendan cubrir según el mercado a atender, es el tiempo de cosecha; los meses donde se obtiene el mayor volumen de cosecha son mayo 63% y junio 24%, producción O/I, mientras que en la producción P/V, noviembre 43% y diciembre 27% (CANIMOLT, 2014).

Un factor indispensable a considerar en la producción es el rendimiento, el cual varía de manera importante de un ciclo a otro, bajo condiciones de riego en el ciclo O/I se obtienen los registros más altos, equivalentes a un promedio de 5.75 toneladas por hectárea; en el caso de los rendimientos alcanzados bajo condiciones de temporal, ciclo P/V, la producción es variable, por ejemplo, para el año 2013 se registró un rendimiento de 1.9 toneladas por hectárea y para el año siguiente de 2.1 toneladas por hectárea (SAGARPA, 2014).

Hay que considerar que no todo el trigo producido es de la misma especie, hay 2 especies del género *Triticum* que se utilizan para la industria de este grano y que son sembradas en nuestro país, una de éstas es la especie *aestivum* (suave) y la otra es la especie *durum* (cristalino). Del total de la producción nacional, la fracción que se obtiene de trigo suave equivale al 45%, el restante (55%), corresponde a la producción de trigo cristalino. Pese a que la diferencia no es tan distante, da lugar a panoramas completamente distintos para los 2 nichos; donde en el primero (trigo suave) hay un déficit en cuanto a la relación oferta/demanda, pero en el caso del trigo cristalino hay un superávit, donde si las condiciones del mercado internacional son atractivas, el excedente tendrá como destino el extranjero; para dimensionar este escenario, se tiene que para el año 2013 se colocaron en el mercado extranjero 732,700 toneladas y un año después 1.26 millones de toneladas (CANIMOLT, 2014).

Pasando al reconocimiento de la demanda de trigo en México, ésta es representada principalmente por 2 agentes industriales: la industria de alimentos y la industria molinera, las cuales requieren de 7 millones de toneladas de grano suave, donde sólo el 35% se alcanza a cubrir con la producción nacional, el otro 65% se trae del extranjero. Esta cantidad de grano (7 millones) da origen a 4 millones de toneladas de harina.

El 95% de las operaciones de comercialización se concretan bajo modalidades de compra regidas por contratos a término entre productores e industriales (agricultura por contrato), el 5 % restante es comercializado bajo condiciones de “libre mercado”. Para observar el resultado de evitar el efecto de la convergencia completa de las variables macroeconómicas para el trigo en México, se muestran los precios fijados en estos contratos desde el año agrícola 2010-2011 hasta el año 2013-2014, para el ciclo O/I:

Tabla 1. Precios convenidos por contrato para el pago del grano en el ciclo O/I.

Precio convenido	Año agrícola
\$3,849/ton	2010/2011
\$3,367/ton	2011/2012
\$3,571/ton	2012/2013

\$3,247/ton	2013/2014
-------------	-----------

Tabla 2. Precios convenidos por contrato para el pago del grano en el ciclo P/V.

Precio convenido	Año
\$3,679/ton	2011
N.D.	2012
\$3,495/ton	2013
\$2,758/ton	2014

N.D.= No Disponible.

En el caso de cebada, la FAO señala que, en el año 2013, a nivel mundial se produjeron 143, 600, 050 toneladas de grano de cebada, de las cuales el 70% se destina para uso forrajero y el 30% para fines industriales, significando un consumo per cápita de 0,01 kg de cebada al año. (FAO, 2015^e) . Las variedades de cebada usadas para fines industriales se emplean para la producción de malta, por lo que los volúmenes de cebada maltera producidos y comercializados están relacionados al comportamiento de la industria cervecera.

Los principales países productores son: Rusia (14.24%), Alemania (8.20%) y Francia (8.05%). Se importaron 30,168,167 toneladas, y se exportaron 31,101,932 toneladas. Los principales países importadores son Arabia Saudita (34.96%), China (7.74%) y Bélgica (6.05%), manteniendo el orden desde el 2012; México se encuentra en el lugar número 40. Los países que más exportan son Francia (20.79%), Australia (16.46%) y Argentina (10.80%), cambiando el orden los primeros 2 con respecto al año anterior (2012) (FAO, 2015^e).

Como referencia sobre la balanza comercial de grano de cebada, se tiene que, en el 2013 ingresaron por las diferentes aduanas 66,927 toneladas y no hubo exportaciones. (FIRA, 2014).

México es el quinto productor mundial de cerveza, esto puede mostrar la dimensión de la importancia de la producción de cebada maltera de calidad. Como antecedente, para el año 2014,

se obtuvieron en total 847,700 toneladas de cebada maltera; de las cuales 510, 200 se produjeron dentro del ciclo primavera-verano (P/V), y los estados que mayor aportación tuvieron fueron Hidalgo con el 42% de la producción, Tlaxcala con 19%, y el Estado de México con 14%. La mayor parte de la producción del ciclo de otoño- invierno (O/I) (94%) tuvo como origen el estado de Guanajuato. Y si se hace una comparación con respecto al año 2013, se pueden observar las tasas de producción y ocupación de este cultivo por superficie en los estados mencionados es constante, porque para éste año encabezan la lista; para el ciclo P-V, Hidalgo en primer lugar, Tlaxcala en segundo y el Estado de México en tercero; y en el ciclo O/I, Guanajuato es el productor más importante aportando el 78% de la producción para ese ciclo (2013) (SAGARPA, 2014).

Para comprender la dinámica de la producción de cebada maltera, hay que vislumbrar el sistema producto de manera general para reconocer a los principales actores que pueden incidir en dicha dinámica mediante toma de ciertas decisiones. La elaboración de cerveza la llevan a cabo 2 corporativos (Cervecería Cuauhtémoc–Moctezuma y Cervecería Modelo), los cuales adquieren el total de su materia prima con la comercializadora Impulsora Agrícola, S.A.(IASA), que es la compañía que domina la comercialización de cebada maltera a nivel nacional e incide de manera determinante en la producción nacional por ser el principal distribuidor de semillas y agroquímicos, por lo que es la parte que fija el precio ante el productor primario, tomando en cuenta las cotizaciones del grano a nivel internacional (FIRA, 2014)

La demanda anual por parte de Impulsora Agrícola, S.A. de cebada maltera es de alrededor de 750 mil toneladas. Para el año 2014, la demanda insatisfecha de materia prima de IASA alcanzó 168,750 toneladas (FIRA, 2014).

2.3.3.2. Industria alimentaria del trigo.

Como se hizo mención anteriormente, en México hay 2 tipos de industrias que aprovechan el grano de trigo: La industria de molienda y la de alimentos.

La industria de la molienda obtiene como productos finales: harinas, sémolas y salvados. Para éstos utiliza tanto trigo duro como suave; previamente se forman 2 tipos de harinas, fuertes y suaves, se mezclan en diferentes proporciones, dando como resultado la gran variedad de

productos que ofrece el otro tipo de industria (de alimentos), como pan, galletas, tortillas, botanas, pasteles y pastas. Para clarificar lo expuesto se muestra la siguiente Figura (9).

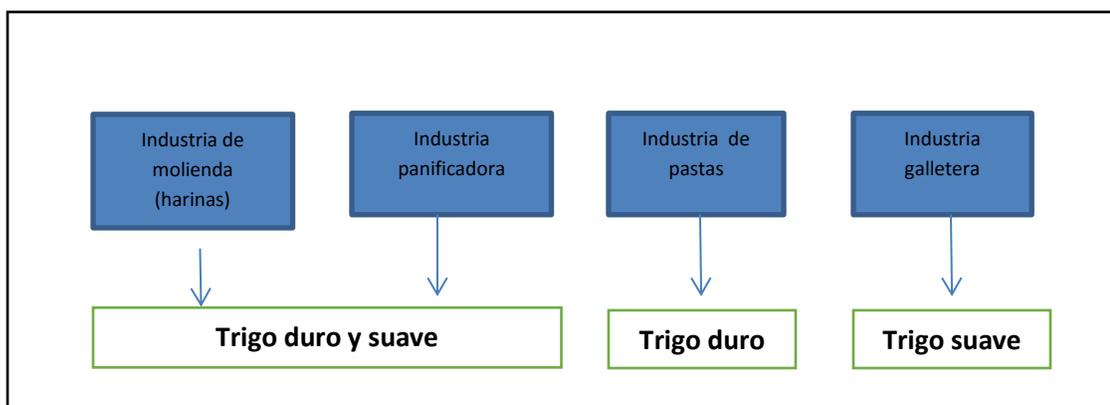


Figura 9. Demanda del tipo de trigo según la industria destino.

La norma NMX-FF-036-1996, plantea 3 calidades para el grano de trigo que se comercializa dentro de nuestro país. Las especificaciones que debe cumplir el grano de trigo, independientemente de su clasificación por calidad, son de olor y humedad. En cuanto a olor, no se permiten lotes con olor a humedad, fermentación, rancidez, moho ni putrefacción; en el caso de la humedad, el porcentaje máximo permisible es del 13%. El resto de especificaciones dependen del grado de calidad dentro del cual sea clasificado un lote, estas son:

- Peso hectolítrico mínimo.
- Porcentaje de grano dañado (kg).
- Porcentaje de grano quebrado (kg).
- Porcentaje de impurezas (kg).
- Porcentaje sumado de defectos.

El grupo 1 de la clasificación del grado de calidad del grano, plantea los parámetros más estrictos, éstos son:

- Peso hectolítrico mínimo = 76 kg/hl
- Porcentaje de grano dañado (kg) = 2.0%
- Porcentaje de grano quebrado (kg) = 3.0%
- Porcentaje de impurezas (kg) = 2.0%

- Porcentaje sumado de defectos = 4.0%

El grano de trigo importado tiene que apegarse a la misma norma, el 64% de la fracción importada lo traen empresas comercializadoras, el 33% la industria molinera y el 3% la industria de alimentos (botanas, galletas y cereales).

En cuanto a la capacidad industrial de molienda a nivel nacional es de 27,840 toneladas de grano por día para la fabricación de harinas. Desde el 2011, se venden en promedio 3.25 millones de toneladas de harina, donde el precio promedio registrado es de \$6,700 por tonelada.

Por parte de la cebada, su uso industrial es para su malteo y posteriormente, la venta a las grandes compañías industriales que elaboran cerveza, dónde la malta es uno de los principales insumos.

Los estándares de calidad que debe de cumplir el grano de cebada de 6 carreras para el malteo están contenidos en la norma NMX-FF-043-SCFI-2003, los cuales son:

- Humedad = 11.5 - 13.5%.
- Tamaño adecuado = 85% (se refiere a la cantidad de grano retenido en una criba de 2.18 mm x 19 mm).
- Granos desnudos y/o quebrados = 5.0%.
- Impurezas= 2.0%.
- Germinación mínima = 85%.
- Peso hectolítrico = 56 kg/hl.

2.4. Manejo agronómico bajo un sistema de conservación y bajo condiciones convencionales.

El rendimiento y la calidad de los granos, tanto de trigo como de cebada, están determinados por las características genéticas propias de la variedad en cuestión, pero dichas características pueden ser potencializadas o restringidas, según el manejo agronómico, el cual busca el máximo aprovechamiento y eficiencia de los insumos, esto se logra con realizar en tiempo y forma las labores indispensables, tales como el establecimiento de la fecha óptima de siembra, riego (si es que no se trata de agricultura de temporal), fertilización y control de maleza, plagas y

enfermedades, aunado al conocimiento de las condiciones climatológicas dominantes en la región de interés durante el ciclo de cultivo.

2.4.1. Factores del clima favorables para la producción de trigo y cebada.

El que tanto el trigo como la cebada compartan su centro de origen, permite deducir que ambos cultivos se desarrollan bajo similares condiciones climáticas. Considerando que la latitud y altitud son los factores que principalmente determinan el clima, se observa que el límite de distribución de estos cultivos, se van a encontrar entre las latitudes 60° N y 40° S, en altitudes menores a los 3,500 msnm, específicamente en climas templados (Cw y Cs) y secos (Bw y Bs); recalcando que bajo los climas B, se requieren de sistemas de riego para que se cubran las necesidades hídrico-fisiológicas tanto del trigo como de la cebada.

En el caso de la temperatura, según la etapa fenológica por la que atravesase el cultivo, hay que considerar 3 rangos: el mínimo, el máximo y el óptimo; de manera general, para el caso de la producción durante el ciclo P/V, la temperatura mínima está dentro del rango de 5°-10°C, la máxima de 28°-40°C y la óptima de 15°-28°C.

En cuanto a precipitación, se requieren de 400-650mm. La humedad relativa necesaria es de entre 40-70%. El periodo crítico que tendrá el cultivo con relación a este último factor, será cuando esté en la etapa de espigamiento hasta poco antes de llegar a la etapa de madurez, donde requerirá mantener una humedad relativa de entre 50-55.5%. Y al momento de llegar a la madurez, este porcentaje se tendrá que ver reducido al mínimo para favorecer dicho proceso.

Otro aspecto agroecológico a considerar es el suelo, en el trigo la textura que se recomienda es media, con buen drenaje y el pH de 6.5- 7.5. En la cebada éste es preferible una textura ligera (lo más cercano posible a las proporciones de un suelo franco), un buen drenaje, cabe destacar que es un cultivo que se puede sembrar en suelos cuyo pH tienda a la alcalinidad porque es altamente tolerante a condiciones salinas; pueden obtenerse tasas de rendimiento promedio a valores de pH entre 6.5 y 8.5.

2.4.2. Preparación del terreno.

El manejo agronómico en cualquier sistema de producción agrícola comienza con la preparación del terreno, siendo indistinto si se trata de trigo o cebada, ésta preparación se realiza con el fin de evitar la compactación del terreno, que con el paso del tiempo y de la maquinaria, los espacios porosos van disminuyendo en tamaño hasta llegar a ser mínima la separación entre terrones, esta condición en combinación con cierto grado de humedad, va formando a una profundidad aproximada de 40 cm una capa cementada, donde si el contenido de arcilla lo permite, es casi impenetrable. Esta capa se reconoce como piso de arado, la cual limita en gran medida el drenaje de la plantación pudiendo desencadenar situaciones no deseadas como anegamientos y condiciones anóxicas que provocarían pudriciones en el sistema radicular, o bien, enfermedades.

Por este motivo, la preparación del terreno comienza con un subsoleo, esta labor se hace con un implemento constituido por cinceles, los cuales deben penetrar hasta 50cm para así romper el piso de arado. Posteriormente se realiza la labor de barbecho con un arado de vertedera o de cinceles, con el cual se pretende voltear la capa arable del suelo que se considera hasta 30 cm de profundidad. Después de haber realizado el barbecho, el suelo se deja en reposo con el fin de que se lleve a cabo cierto intercambio gaseoso y además que mediante la radiación solar, posibles fitopatógenos ante una exposición sostenida a estas condiciones mueran y no representen una afectación en el ciclo siguiente, sin embargo con esta labor hay que tener presente que al remover de manera estratificada el suelo, las semillas de especies arvenses (banco de semillas), llegarán a la superficie y ante la exposición a la luz solar, sólo les hace falta el agua para poder iniciar su ciclo biológico de nuevo y así representar una afectación en el ciclo inmediato a pesar de haber sido controladas durante el ciclo anterior. Después del barbecho, una vez que han llegado las primeras lluvias que indican el inicio del temporal, se disgregan los terrones formados, hasta un punto donde los gránulos del suelo tengan un tamaño tal que favorezca al máximo el intercambio y distribución de las fases líquidas y gaseosas dentro del medio, esto se logra dando de 2 a 3 pasos de rastra, dependiendo del contenido de arcilla del suelo. Este rastreo se hace con un implemento de discos (rastra), que por medio del ángulo encontrado de los discos dispuestos a lo largo del implemento, va disgregando y triturando el material con el que tenga contacto; es importante mencionar que el rastreo funge como un modo

mecánico de control de maleza e incorporación de materia orgánica al suelo, siendo que la fuente de materia orgánica puede ser tanto maleza como residuos de la cosecha anterior. Posteriormente se nivela el terreno y después de establecer las camas, surcos o melgas; es cuando el suelo está listo para ser sembrado (Ramírez, 2014).

2.4.3. Densidad de siembra.

La siembra de trigo y cebada se hace en húmedo a doble hilera con una separación entre surcos e hileras de 0.76 m y 0.13m, respectivamente; depositando la semilla a una profundidad no mayor a 0.05m. La densidad de siembra es de 110 kg de semilla por hectárea. La fecha de siembra dependerá del comienzo de la temporada de lluvias por lo general, se establece entre el 15 de mayo y 15 de junio. (INIFAP, 2008; Ramírez, 2014).

2.4.4. Riego.

Ambos cultivos requieren de una lámina de riego de 450-650 mm para llevar a cabo de manera óptima sus procesos fisiológicos. La programación o calendarización del riego se realiza para la producción dentro del ciclo O/I. Si fuera el caso, el primero se hace antes de la siembra para sembrar en húmedo, posteriormente se definirá el calendario con base al destino del producto, si es para semilla, se hacen 3 riegos más (riego completo), a los 45 días, uno más a los 75 y el último riego se hace a los 90 días después de la siembra; si el destino es grano comercial, se programan 2 riegos aparte del de siembra (riego restringido), un intermedio a los 45 días y el último a los 75 días (INIFAP, 2008).

2.4.5. Fertilización.

Para obtener una producción de trigo dentro del promedio según el ciclo, con características aceptables para la industria, cada hectárea requiere de una aplicación de 185 kg de nitrógeno y de 50 kg de fósforo; la aplicación del nitrógeno es diferida con base a cada etapa fenológica, 45 kg a la siembra, 55 kg en el amacollamiento, y 30 kg para la floración; cabe indicar, que las fertilizaciones nitrogenadas durante la floración o llenado de grano incrementan el contenido de proteína en el grano hasta en 3 puntos porcentuales; en el caso del fósforo, todo se aplica a la siembra. Los fertilizantes comunes empleados

son el ácido fosfórico (00-52-00), fosfato monoamónico (11-52-00) y diamónico (18-46-00) (MAP $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ y DAP $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$, y la urea $[\text{CO}(\text{NH}_2)_2]$ -(46-00-00).

En el caso de la cebada, el mayor rendimiento se obtiene con una dosis de 180-60-00; es decir $180 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ de nitrógeno y $60 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ de fósforo. En suelos arcillosos se aplica toda la dosis a la siembra, sin embargo, en suelos con una mayor proporción de arena, a la siembra se aplica la totalidad del fósforo y sólo la mitad de nitrógeno, el resto se aplica poco antes del primer riego de auxilio (40-45 días después de la siembra). Como fuentes fertilizantes se usa en el caso de nitrógeno, urea y sulfato de amonio. Para fósforo lo más utilizado es el superfosfato de calcio simple o triple (INIFAP, 2008).

2.4.6. Labores culturales y manejo de maleza.

Para llevar a cabo un manejo correcto de las poblaciones que interactúan con los cultivos de trigo y cebada, es importante identificar el complejo que co-habita en la superficie a utilizar mediante un levantamiento ecológico. En México hay reportadas 110 especies arvenses que cohabitan con el cultivo de trigo, sin embargo, las que son más perjudiciales por su grado de infestación son: avena silvestre (*Avena fatua*), alpistillo (*Phalaris minor*), quelite cenizo o chual blanco (*Chenopodium album*), quelite de puerco o chual morado (*Chenopodium murale*), malva quesillo (*Malva parviflora*), girasol silvestre (*Helianthus annuus*), quintonil (*Amaranthus hybridus*), quintonil tropical (*Amaranthus palmeri*), acahual (*Simsia amplexicaulis*), trompillo (*Ipomea spp.*) gigantón (*Thitonia tubiformis*), zacate Johnson (*Sorghum halepense*), zacate grama (*Cynodon dactylon*), zacate de agua (*Echinochloa crus-galli*), zacate pata de gallo (*Eleusine indica*), zacate pata de ganso (*Eleusine multiflora*), lechuguilla o borraja (*Sonchus oleraceus*), zacate casamiento (*Eragrostis mexicana*), mostaza (*Brassica campestris*) y mostacilla común (*Sisymbrium irio*) (Tamayo, 2011) (CONABIO, 2012).

A continuación, se muestran las especies antes mencionadas, clasificadas según su número de cotiledones y la duración de su ciclo biológico (Tabla 3 y 4). Por el número de cotiledones pueden ser: de hoja angosta (1 cotiledón) o de hoja ancha (2 cotiledones); y por la duración de su ciclo biológico pueden ser anuales, bianuales o perennes.

Tabla 3 y 4. Complejo de maleza presente en el cultivo de trigo, algunas también presentes en el cultivo de cebada.

DICOTILEDONEAS	CICLO BIOLÓGICO
<i>Sonchus oleraceus</i>	ANUAL
<i>Brassica campestris</i>	ANUAL
<i>Sisymbrium irio</i>	ANUAL
<i>Chenopodium spp</i>	ANUAL
<i>Malva parviflora</i>	ANUAL
<i>Helianthus annuus</i>	ANUAL
<i>Amaranthus spp.</i>	ANUAL
<i>Simsia amplexicaulis</i>	ANUAL
<i>Ipomea spp</i>	ANUAL
<i>Thitonia tubiformis</i>	ANUAL
<i>Bidens pilosa</i>	ANUAL
<i>Portulaca oleracea</i>	ANUAL

MONOCOTILEDONEAS	CICLO BIOLÓGICO
<i>Avena fatua</i>	ANUAL
<i>Phalaris minor</i>	ANUAL
<i>Sorghum halepense</i>	PERENNE
<i>Cynodon dactylon</i>	PERENNE
<i>Echinochloa crus-galli</i>	ANUAL
<i>Eleusine spp.</i>	ANUAL
<i>Eragrostis mexicana</i>	ANUAL

La maleza de hoja angosta de ciclo anual es considerada potencialmente riesgosa por su alta incidencia y distribución en las regiones productoras tanto de trigo como de cebada en nuestro país. Con la presencia de una especie dominante de maleza de este tipo, se espera una reducción en el rendimiento, sin embargo, cuando se presenta un complejo de varias especies, representan más competencia y mayor dificultad para ejercer su control, por lo tanto, la repercusión en el rendimiento es mayor (Tamayo, 2011).

En un sistema de producción convencional para ambos cultivos, como prácticas de control de especies arvenses de tipo no químico, se realizan: el barbecho, la rastra y escarda, el establecimiento de marcos de plantación y densidades de siembra específicas, limpieza de implementos, rotación de cultivos y uso de semilla certificada.

En cambio, las prácticas de control químico implican el uso de herbicidas, para el caso del cultivo de trigo se utilizan: en pre siembra, glifosato 500 a 1000 g i.a. ha⁻¹* para eliminar todo tipo de maleza; en postemergencia (cuando el cultivo se encuentre entre amacollamiento y encañe), para el control de maleza de hoja ancha se usa 2,4-D amina 480 a 720 g i.a. ha⁻¹, fluoroxipir 150 g i.a. ha⁻¹, thifensulfuron-metil 15 a 21 g i.a. ha⁻¹; y a los 20 ó 30 días después de haber emergido el cultivo, para el control de maleza de hoja angosta se usa tralkoxidim 250 a 370 g i.a. ha⁻¹, fenoxafrop-etil 69 g i.a. ha⁻¹, clodinafop 60 g i.a. ha⁻¹, mesosulfurón metil + iodosulfurón metil 15 g + 3 g i.a. ha⁻¹. (*g i.a. ha⁻¹= gramos de ingrediente activo por hectárea) (Tamayo, 2011).

Para realizar la aplicación de los herbicidas se utiliza un pulverizador, el cual puede ser de manera general de tipo manual/ de mochila, o bien, de aguilón/ montado al tractor. Como parte importante del equipo se encuentran las boquillas de aplicación, cuyo tipo dependerá del ángulo de expulsión que se quiera de la solución, el gasto y el patrón de distribución de la solución una vez que ha salido de la boquilla (abanico, cono lleno, cono hueco, etc.). Para la óptima aplicación de herbicidas, las boquillas recomendadas son: 8002 (aplicación con mochila) y 8004 (tractor).

2.5. Control de maleza bajo un sistema de agricultura de conservación.

2.5.1. Característica de la maleza ideal.

Las plantas arvenses comparten características competitivas frente a especies ajenas al ecosistema original (cultivos), dentro de estas características se encuentran: continua producción de semilla, la cual tiene cualidades de tolerancia y plasticidad en cuanto su adaptación, cuentan con mecanismos de dispersión a corta y larga distancia, germinación en diferentes temporadas, las semillas se conservan viables por largos periodos de tiempo, sus requerimientos de germinación pueden ser satisfechos en muchos ambientes, su ritmo de crecimiento desde la fase vegetativa hasta la floración es más rápido en comparación con los cultivos establecidos, su reproducción puede ser apomíctica, autocompatible (no alcanza por completo la autogamia), y en caso de ser especies alógamas, no requieren de polinizadores específicos, su alta capacidad competitiva también está dada por su tipo de crecimiento, que puede ser sofocante para otras especies, o bien, presentar aleloquímicos (Zita *et al.*, 2011; Zita, 2012)

2.5.2. Dinámica de la maleza dentro de un sistema agrícola de conservación.

La dinámica de una población implica conocer, además del tamaño y la estructura de la población, también la forma e intensidad en que ésta cambia y se renueva. Toda población está constantemente bajo el efecto de factores contrapuestos (ascendentes y descendentes), que al mismo tiempo van a tender tanto a hacerla aumentar como disminuir; el tamaño y la estructura de la población estará determinada en función del balance existente entre éstos dos tipos de factores. Si se considera cualquier población se hace un seguimiento a través del tiempo, resultará que a consecuencia de los factores descendentes bióticos, abióticos y antropogénicos, una parte de sus integrantes irá muriendo, pero a consecuencia de los factores ascendentes los individuos que sobrevivan seguirán absorbiendo nutrientes, creciendo y podrán reproducirse; además, que a medida en que esto ocurre, nuevos individuos se están integrando a la población existente.

Los integrantes de cada población cambian con el tiempo, cambiando también la estructura y composición de la población, que podrá aumentar o disminuir, pero siempre buscando mantenerse estable, en equilibrio, como resultado del balance existente entre los factores contrapuestos que ocasionan su activa y constante renovación. Una base fundamental para un correcto manejo de maleza es conocer las especies presentes y su nivel de infestación. Esto se hace mediante la identificación de maleza anual, perenne o parásita; que en el caso de las 2

últimas, debe ser precisa, ya que estas especies no suelen responder a las prácticas tradicionales de control. Una vez que se conocen los componentes de la flora presentes en las áreas sometidas a aplicaciones de herbicidas, se estará en mejor posición para seleccionar el compuesto químico a utilizar. Para evaluar los niveles de infestación existen diversos métodos, sin embargo, el más común es el visual, dónde se hace una estimación del nivel de cobertura de la maleza, o bien, a través de conteos, es decir de densidad de maleza (FAO, 2016^g).

Las distintas fases de desarrollo de las especies arvenses (maleza) no difieren de las de los cultivos (latencia, germinación, desarrollo de la plántula, emergencia, crecimiento vegetativo, floración, fructificación, madurez y dispersión de semillas), sin embargo, en la mayoría de las ocasiones, son más eficientes y competitivas en cada una de ellas dentro de ecosistemas dónde no hay intervención antropogénica en favor de los cultivos, sin dejar de lado que esa eficiencia está dada por un mejor aprovechamiento de los factores bióticos y abióticos en cada una de las fases.

Un punto determinante de la dinámica de la maleza dentro de un agroecosistema como se vio anteriormente, es el conocer el tamaño y estructura de las poblaciones presentes, esto es posible mediante la caracterización del banco de semillas (factor ascendente), que es el reservorio, a profundidades diferenciales, de las semillas acumuladas de las diferentes especies arvenses tras varios ciclos de producción; esta caracterización permite establecer escenarios potenciales de infestación, porque si bien, gran cantidad de estas semillas se encuentra a profundidades dónde no les es posible germinar, pueden mantener tasas muy altas de viabilidad por largos periodos de tiempo y mediante las labores de preparación del suelo, les facilita su acercamiento a la superficie, donde encontrarán las condiciones adecuadas de temperatura, luz y humedad para poder llevar a cabo su germinación y posterior establecimiento. Este rasgo de latencia y reposo es importante, permite asegurar la supervivencia de las diferentes poblaciones que conforman la maleza a lo largo del tiempo, porque germinarán y se establecerán de manera escalonada y sucesiva. Como factor antagónico (descendente) al banco de semillas y a la potencial infestación, se encuentra la limitante ecológica de estrés generada por el ataque de enfermedades o plagas.

Los bancos de semilla, en ecosistemas donde no se ha hecho una intervención directa por parte del hombre, o bien, dónde ya ha habido esta intervención con fines agrícolas y se lleva a cabo un control deficiente de las especies arvenses, se caracterizan por estar conformados por un gran número de semillas por unidad de superficie. Una característica a considerar dentro del banco de semilla es el tipo de reproducción, que puede ser sexual o asexual (rizomas, estolones, bulbos y tubérculos), los individuos más persistentes son aquellos que presentan ambos tipos de reproducción, y con ello consiguen constituirse como infestaciones más severas; la mayoría de este tipo especies arvenses o malezas tienen un ciclo biológico perenne (Zita *et al.*, 2011))

Los daños que provoca la maleza en los diversos sistemas agrícolas son vistos desde el impacto económico que genera su presencia, el cual puede llegar a causar pérdidas a nivel mundial por 100 billones de dólares anualmente (Swanton *et al.*, 2015). Estas pérdidas son medidas a partir de la disminución que presente el rendimiento y la calidad del producto de interés. La causa se debe a un desarrollo desfasado, heterogéneo y estresado del cultivo. Para dimensionar el impacto que puede llegar a provocar una infestación de maleza, se pueden citar infinidad de ejemplos, siendo algunos de ellos el caso del cultivo de cacahuete, donde una densidad de maleza equivalente a 1 planta m^{-1} de surco, puede llegar a disminuir el rendimiento entre un 32-45%; o bien, en el caso de arroz dónde 10 plantas de maleza m^{-2} , reducen el rendimiento en un 57%, mientras que un grado de infestación mayor, de 50 plantas m^{-2} puede bajar el rendimiento hasta en un 80% (FAO, 2016^g).

El motivo de la baja en el rendimiento se debe a que las plantas que co-habitan en una misma superficie, van a competir por factores para satisfacer sus requerimientos particulares esenciales, como agua, luz y nutrientes. Sin embargo, la maleza posee una ventaja competitiva, dada por la capacidad de adaptación alcanzada tras su evolución *in situ*; como resultado de dicha evolución.

A lo largo del periodo de competencia hay una fracción en la cual es vital que se elimine la presencia de maleza en el medio, principalmente durante los primeros estadios de desarrollo del cultivo, es decir los primeros 40 días después de la siembra, esta ventaja temporal le permitirá crecer y desarrollarse antes que la maleza, lo que significa contar con un sistema radical más desarrollado en comparación con el de la maleza que le permite interceptar y tener acceso a mayor cantidad de nutrientes y agua; por ende, un mayor crecimiento de la parte aérea que le brinda la oportunidad de interceptar mayor cantidad de luz, promoviendo un desarrollo

constante y vigoroso de superficie foliar que le permite cerrar doseles con las hojas de las otras plantas del cultivo. Este estrechamiento evita que las semillas de maleza alcancen a recibir la cantidad de luz que requieren para bajar sus niveles internos de ácido abscísico (ABA), por lo que no alcanzarán a germinar. La maleza que logra germinar a la par o antes del cultivo, es la que provoca las mayores bajas en la producción por efectos de competencia durante el periodo crítico, pasando dicho periodo las pérdidas son menos significativas (Swanton *et al.*, 2015).

2.5.3. Métodos de control de la maleza.

El reconocimiento del complejo de maleza existente y su dinámica, determinan el tipo de control que se llevara a cabo durante el ciclo del cultivo; los tipos de control, se puede clasificar de manera general en 2 métodos: químico y no químico.

El método de control no químico incluye los tipos físico, cultural, preventivo y biológico. El tipo de control físico considera labores como el barbecho, la rastra y la escarda. El control cultural engloba decisiones en favor del control de maleza desde los sistemas de riego, la densidad de siembra, el marco de plantación a utilizar, la fertilización localizada, la cobertura del suelo y la rotación de los cultivos. Con el control de tipo preventivo se pretende evitar la introducción y diseminación de los propágulos de las especies arvenses, mediante la limpieza de los implementos de labranza y uso de semilla certificada que garantiza la nulidad o mínima presencia de semillas de maleza, también contempla la instalación de cribas en los canales de irrigación que impidan el tránsito de semillas de maleza. En el control biológico se emplean organismos antagónicos naturales de la maleza para mantener a estas poblaciones bajo control (Tamayo, 2011; Zita, 2012). Todas las prácticas mencionadas influyen directamente en aumentar la capacidad competitiva del cultivo sobre la maleza, dando lugar a una altura y cobertura foliar por parte del cultivo tal que las especies de maleza quedan en desventaja dentro del sistema, inhibiendo su desarrollo o reduciendo su crecimiento (Swanton *et al.*, 2015). El método químico consiste en eliminar y controlar maleza mediante el uso de herbicidas.

El llevar a cabo cualquier tipo de control tiene la finalidad de reducir al mínimo la producción de propágulos de maleza, y de llegarse a cumplir este objetivo, se puede constatar una reducción en los costos futuros por el concepto de control de estas especies, incrementando la productividad y rentabilidad del cultivo (Kleemann *et al.*, 2016).

2.5.4. Control químico de la maleza.

Como se mencionó en el apartado anterior este método emplea el uso de herbicidas, que son compuestos químicos que inhiben el desarrollo de las plantas. Las ventajas que brinda este método son la alta eficiencia en cuanto al control y su relativo bajo costo.

Los herbicidas se pueden clasificar de diversas formas que dependen de la característica o criterio a considerar, como puede ser su: modo de acción, mecanismo de acción, época de aplicación, movilidad que tiene el herbicida una vez que es absorbido por la planta, selectividad que tenga el producto hacia ciertas especies vegetales, y el último criterio es la familia química a la que puede pertenecer el herbicida según las propiedades moleculares de su ingrediente activo (Fig. 11).

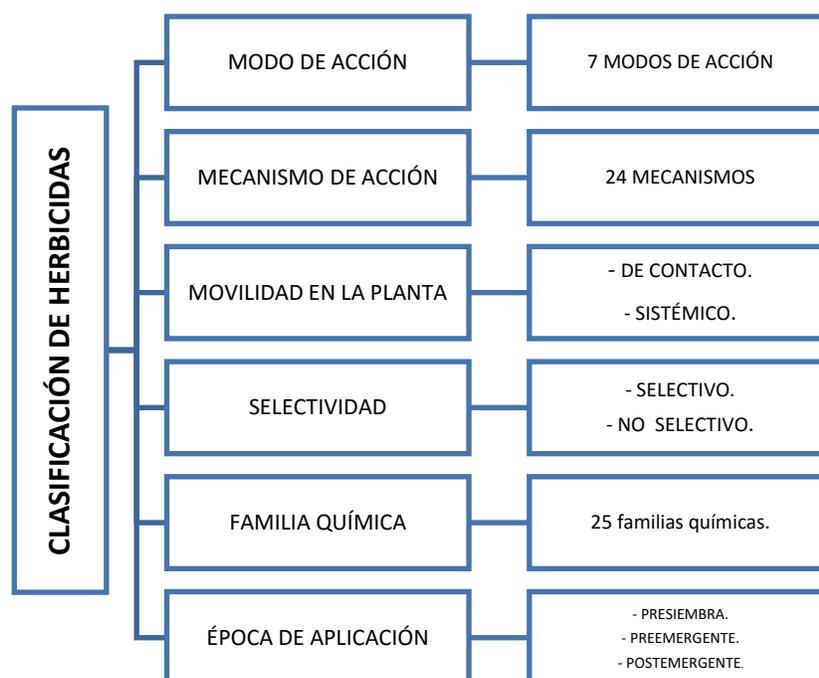


Figura 10. Clasificación de los herbicidas.

Si se sigue el primer criterio de clasificación (modo de acción), comprende 7 grupos con diferentes secuencias de eventos, ocurridos desde que los tejidos vegetales absorben el herbicida, lo transportan y translocan; estos eventos dependen de la reacción bioquímica afectada y culminan con la muerte de la planta (Rosales *et al.*, 2006; Zita, 2012). Los 7 tipos son:

- Inhibición de la fotosíntesis.
- Inhibición de la síntesis de lípidos.
- Inhibición de la síntesis de pigmentos.
- Inhibición de la síntesis de aminoácidos.
- Inhibición de la división celular.
- Alteración de procesos auxínicos.
- Otros.

El segundo criterio (mecanismo de acción), se refiere específicamente a la reacción bioquímica alterada o afectada por el ingreso del compuesto herbicida; se distinguen 24 reacciones bioquímicas que pueden ser afectadas (24 mecanismos diferentes) (Zita, 2012; HRAC, 2015). Algunos ejemplos son: la inhibición de la Acetil CoA carboxilasa (ACCase), de la acetato-lactato sintasa (ALS), alteración en el flujo de electrones dentro del fotosistema I, o del fotosistema II, inhibición de la protoporfirinógeno oxidasa, de la síntesis de fitoeno desaturasa (PDS), de la enzima 4-hidroxifenil-piruvato dioxigenasa (4-HPPD), de la enzima glutamino sintetasa, inhibición de la 5-enolpiruvil chiquimato 3- fosfato sintasa, de la síntesis de tubulina, etc. Más de un mecanismo de acción puede estar incluido en un mismo modo de acción.

Los herbicidas inhibidores con un modo de acción de inhibición de la síntesis de lípidos y un mecanismo de acción de inhibición de la enzima ACCase, se caracterizan por ser graminicidas postemergentes, empleados en los cultivos de trigo, arroz y dicotiledóneas en general.

La ACCase es una enzima que cataliza la carboxilación del Acetil CoA, para convertirlo en malonil CoA; esta reacción es el principio que da lugar a la síntesis de ácidos grasos. Al no producirse la ACCase, no se llegan a formar los fosfolípidos utilizados en la construcción de nuevas membranas para dar crecimiento a las células, dando como resultado la muerte de la planta (Zita, 2012).

Las familias químicas de herbicidas que actúan bajo este mecanismo de acción, se encuentran: los arilfenoxipropionatos, ciclohexanodionas y las fenilpirazolinas. Algunos herbicidas de la familia de los ariloxifenoxipropionatos son: diclofop-metil, fenoxaprop P-etil, propaquizafop, clodinafop-propargil, fluazifop-P-butil. En el grupo de las ciclohexanodionas, se encuentran los herbicidas: setoxidim, cletodim, cicloxidim, aloxidim, tralkoxidim. Y de la familia de las fenilpirazolinas, se encuentra el pinoxaden (Zita, 2012).

El trigo es tolerante a las aplicaciones de estos herbicidas debido a su metabolismo, que es capaz de convertir a la molécula herbicida en compuestos inactivos (Zita, 2012).

Otro modo de acción de interés particular para la presente investigación, es el que provoca una inhibición de la síntesis de aminoácidos, en este modo de acción se pueden distinguir 2 grupos, aquellos que inhiben la síntesis de aminoácidos aromáticos y los que inhiben la síntesis de aminoácidos ramificados.

El glifosato es un herbicida que provoca la inhibición de la síntesis de aminoácidos, específicamente su mecanismo de acción inhibe la 5-enolpiruvil shikimato-3-fosfato sintasa (EPSPS), que es una enzima necesaria en la ruta del ácido chiquímico para la síntesis de aminoácidos aromáticos (triptófano, fenilalanina y tirosina). El producto de la enzima afectada se va a dirigir a los tejidos meristemáticos (apicales e intercalares), al ser sistémico, su aplicación únicamente dirigida a la parte aérea de la planta, permite sea absorbido y posteriormente translocado en todos los puntos de crecimiento de la planta (Zita, 2012).

En el grupo de herbicidas con modo de acción de inhibición de la síntesis de aminoácidos ramificados, la enzima que afectan es la acetolactato sintasa, que es una enzima que participa en la ruta de síntesis de los aminoácidos: valina, leucina e isoleucina. Las plantas tratadas con estos herbicidas, se caracterizan por tornar sus nervaduras a un color café-rojizo y presentar marchitamiento general, el cambio de color es debido a la acumulación de antocianinas (Zita, 2012).

Los herbicidas inhibidores de la ALS son herbicidas selectivos. Algunas familias químicas que tienen este mecanismo de acción son: sulfonilureas, imidazolinonas y sulfonilaminocarbonil-triazolinonas. Algunos productos de la familia de las sulfonilureas son: iodosulfurón +

mesosulfurón, metsulfurón y trialsulfurón; de las imidazolinonas: imazethabenz; y de las sulfonilaminocarbonil- triazolinonas: flucarbazone- sodio.

3. Objetivo.

Determinar la formulación herbicida post-emergente de mayor eficacia para el cultivo de trigo y cebada en la región de “El Batán”, Texcoco, Estado de México; con base al control de especies arvenses gramíneas y al impacto sobre el rendimiento y sus componentes de cada cultivo, dentro de un sistema de agricultura de conservación.

4. Materiales y métodos.

Ésta investigación se llevó a cabo en el Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT), ubicado en la región de “El Batán”, Texcoco, Estado de México. La meta que se busca en éste centro internacional, es el hacer más eficiente la producción de dos de los granos básicos más importantes para la humanidad, el maíz y el trigo, dicha eficiencia viene establecida por generar más rendimiento en la producción, pero a su vez también dotar de opciones más atractivas en cuanto a la rentabilidad de la misma. Para hacer más eficiente cada sistema de producción agrícola de éstos granos, se hace un profundo análisis de cada variable que le proporciona al sistema cierta característica de fortaleza, de oportunidad, de debilidad o bien de amenaza; y dependiendo de las conclusiones arrojadas, se pueden hacer modificaciones dependiendo de las condiciones particulares de cada región en el mundo y así establecer una estrategia integral para mejorar el sistema y dar una solución a un problema en específico.

Entendiendo la compleja relación agroecológica de los sistemas, se puede vislumbrar la destacada influencia y repercusión de los agentes que atacan y afectan las condiciones fitosanitarias dentro de las relaciones poblacionales del medio agrícola.

“El Batán” es una localidad del municipio de Texcoco en el Estado de México, dicho municipio fisiográficamente se encuentra inmerso en una cuenca endorreica de una extensión de 7,500 km², situada al sur de la altiplanicie mexicana, por su drenaje se conecta con otras 2 cuencas endorreicas vecinas: la de Apan y la de Singuilucan. Esta cuenca fisiográficamente se divide en 2 partes: meridional y septentrional, ambas conformadas por cuerpos montañosos pertenecientes al eje neovolcánico transversal; la primera está constituida por la sierra Nevada y la de Calpulalpan al este, la sierra de las Cruces y Monte Alto al oeste, el Ajusco y Chichicautzin al sur y la sierra de Guadalupe y la de Platichique al norte; la segunda se encuentra limitada por la sierra de Pachuca al norte, las sierras de Monte Bajo, Alcaparroza y Tezontlalpan, al oeste; y la sierra de Calpulalpan y el cerro Xihuingo al este. Por división política, el municipio de Texcoco colinda con el estado de Puebla y Tlaxcala. La altitud es de 2250 msnm.

Los suelos de la cuenca del Valle de México provienen de depósitos aluviales lacustres, sedimento volcánico y erosión de rocas ígneas (Espinosa-Sarukhán, 1997). Son suelos predominantes en la región los gleysoles salinos o sódicos, regosoles eútricos y andosoles.

El clima de la región de estudio corresponde a la clasificación Cw (templado).

Materiales:

- Herbicidas:

Post- emergentes:

Faena® = glifosato, Puma super® = Fenoxaprop, Sencor® = Metribuzina, Traxos® = Pinoxaden + Clodinafop-propargil, Across® = Piroxsulam, Everest 2.0® = Flucarbazone sódico, Prowl® = Pendimetalina, Sigma®= Iodosulfurón + Mesosulfurón, Vigia Syngenta®= Clodinafop-propargil, Grasp® = Tralkoxidim.

- Semillas:

La variedad de semilla de trigo (suave) utilizada fue: Nightjar; en cebada: Esmeralda.

- Urea: Como fuente de fertilización nitrogenada.
- Mochilas Aspersoras.

Diseño experimental.

Se estableció un diseño completamente al azar, conformados por 10 tratamientos (9 aplicados en post-emergencia con respecto a la maleza y al cultivo), incluyendo 1 testigo (Tabla 5). Cada tratamiento con 2 repeticiones.

Para la evaluación estadística de los datos se realizaron análisis de varianza al 0.05 y 0.01 y pruebas de media (Tukey) con una significancia de 0.05; el programa estadístico utilizado fue Infostat.

Tabla 5. Definición de tratamientos.

Tratamiento/ Herbicida	Ingrediente activo	Modo y Mecanismo de acción.	Dosis
1.-Testigo	-	-	-
2.-Puma super®	Fenoxaprop-etil	Inhibición de síntesis de lípidos/ Inhibe ACC asa	1L ha⁻¹
3.-Sencor®+Puma Super®	Fenoxaprop-etil + Metribuzina	Inhibición de síntesis de lípidos+ Inhibición de la fotosíntesis/Inhibe ACC asa+ Inhibición de FSII	1L ha⁻¹
4.-Traxos®	Clodinafop + Pinoxaden	Inhibición de síntesis de lípidos/Inhibe ACC asa	1.21L ha⁻¹
5.-Across®	Piroxsulam	Inhibición de la síntesis de aminoácidos/ Inhibe ALS	500 ml ha⁻¹
6.-Everest 2.0®	Flucarbazone sodio	Inhibición de la síntesis de aminoácidos/ Inhibe ALS	100 ml ha⁻¹
7.-Prowl®	Pendimetalina	Inhibición del crecimiento celular (raíz)/ Inhibe la polimerización de tubulina	3.0L ha⁻¹
8.-Sigma®	Iodosulfurón + Mesosulfurón	Inhibición de la síntesis de aminoácidos/ Inhibe ALS	500 g ha⁻¹
9.-Vigia®	Clodinafop propargil	Inhibición de la síntesis lípidos/ Inhibe ACC asa	750 ml ha⁻¹
10.-Grasp®	Tralkoxidim	Inhibición de síntesis de lípidos/ Inhibe ACC asa	625 ml ha⁻¹

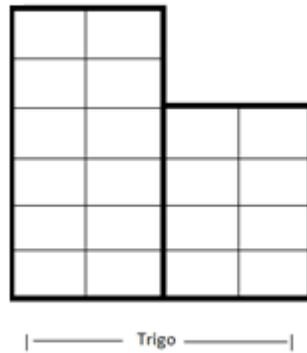


Figura 11. Esquema del diseño en parcela experimental.

Para definir la efectividad de la formulación herbicida se plantearon las siguientes variables de respuesta:

- a) Densidad de maleza gramínea (Número de individuos $\cdot m^{-2}$).
- b) Biomasa de maleza gramínea ($kg \cdot ha^{-1}$).
- c) Rendimiento: Grano ($kg \cdot ha^{-1}$), espigas $\cdot m^{-2}$, número de granos $\cdot espiga^{-1}$ y peso hectolítrico.

Para la densidad de la maleza, se determinó la población de especies arvenses gramíneas de cada unidad experimental por unidad de superficie.

En el caso de la determinación de biomasa se delimitó el área de cosecha sobre la que se extrajeron las submuestras correspondientes (3) a cada una de las parcelas experimentales delimitadas por las diferentes formulaciones herbicidas aplicadas, una vez en laboratorio, se determinó el peso de cada submuestra, para posteriormente sacar su media aritmética, y después registrar el peso de cada muestra (peso fresco de la submuestra) y el peso fresco total; posteriormente se secaron, fueron introducidas en una estufa a $70^{\circ}C$ por 24 h y se pesaron para extraer el dato de peso seco. Una vez completado el registro, se siguió la siguiente secuencia de fórmulas para determinar la cantidad de biomasa en $kg \cdot ha^{-1}$ (Verhulst *et al.*, 2012)

- 1) % de humedad=
$$\frac{\text{peso húmedo de la submuestra} - \text{peso seco de la submuestra}}{\text{peso húmedo de la submuestra}}$$
- 2) Cantidad de humedad= (peso fresco total) (porcentaje de humedad)
- 3) Rendimiento de Biomasa en $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ =
$$\frac{\text{peso fresco total} - \text{cantidad de humedad}}{\text{área de cosecha}} \cdot 0.10$$

Para estimar las variables de respuesta de rendimiento del grano, se delimitó un área de 0.5mx 0.75m por submuestra, de cada unidad experimental se extrajeron 3 submuestras. Las plantas presentes fueron cortadas a ras de suelo y se introdujeron en bolsas separadas y rotuladas. Para la determinación del peso hectolítrico se consideró el peso del grano contenido en un volumen de 1 L y posteriormente se llevó a unidades de hectolitros; y para determinar el rendimiento en $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$, se consideraron los siguientes parámetros (Verhulst *et al.*, 2012):

- Área de cosecha (m^2).
- Porcentaje de humedad.
- Cantidad de humedad (g).
- Rendimiento seco ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$).

Posteriormente se utilizaron las siguientes fórmulas:

- Porcentaje de humedad =
$$\frac{\text{Peso fresco de la submuestra} - \text{Peso seco de la submuestra}}{\text{Peso fresco de la submuestra}}$$
- Cantidad de humedad = (Peso del grano total) (% de humedad)
- Rendimiento seco =
$$\frac{\text{Peso del grano total} - \text{Cantidad de humedad}}{\text{Área}} \cdot (0.10)$$
- Rendimiento al 12% de humedad ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$) =
$$\frac{\text{Rendimiento seco}}{0.88}$$

Manejo del cultivo.

El cultivo se estableció dentro del ciclo agrícola de primavera-verano, para ello, se formaron 8 camas permanentes de tipo angosto (0.75m), sin labranza, se sembraron a doble hilera. La distancia entre hileras fue de 0.24m y la densidad de siembra de 110 kg*ha⁻¹. Las actividades previas a la siembra consistieron en: un riego para la posterior aplicación de glifosato (Faena) y una fertilización nitrogenada 4 días posteriores a la siembra; como fuente fertilizante se utilizaron 321 kg*ha⁻¹ de urea (150 kg de N*ha⁻¹) incorporados al suelo. Cabe mencionar que la rotación del cultivo tuvo lugar con un sistema de trigo/maíz, a la parcela sembrada en el presente ciclo con cebada, le antecedió el cultivo de trigo y a la de trigo, maíz.

Fechas importantes:

Siembra: 4 de mayo del 2013.

Emergencia de plántula 15 de junio del 2013.

Para la obtención de los datos que conformaron las variables de respuesta, se realizaron diversos muestreos, basados en la misma unidad de muestra, ésta consistió en un cuadrado con un área de 0.5mx 0.75m. El muestreo de maleza se realizó para satisfacer 2 factores utilizados como variables de respuesta: Densidad de población, caracterización de especies y determinación de biomasa. Para obtener la densidad de la maleza gramínea se realizaron los muestreos bajo la siguiente calendarización:

17 de julio 2013: A 32 y 35 d.d.e.p.*de cebada y trigo respectivamente...Muestreo.

18 de julio 2013.....Aplicación de tratamientos.

23 de julio 2013.....Conteo.

29 de julio 2013.....Conteo.

7 de agosto 2013.....Conteo.

21 de agosto 2013.....Determinación de Biomasa.

*d.d.e.p.= Días después de la emergencia de plántula.

Se establecieron 40 unidades experimentales, cada una con 4 camas de 0.75m de ancho; para la toma de muestra se descartaron las 2 camas periféricas, para evitar algún efecto-orilla, y la extracción de datos se realizó únicamente de las 2 camas de posición central. Para establecer el área-muestra, se dejó una distancia de 1.5m entre la delimitación y el interior de cada parcela, siempre que la parcela colindara con la calle; en caso que la colindancia fuera con otras parcelas la distancia de dicho margen fue de 1.0 m (Figura 12). Del área-muestra, se extrajeron 3 submuestras de manera aleatoria.

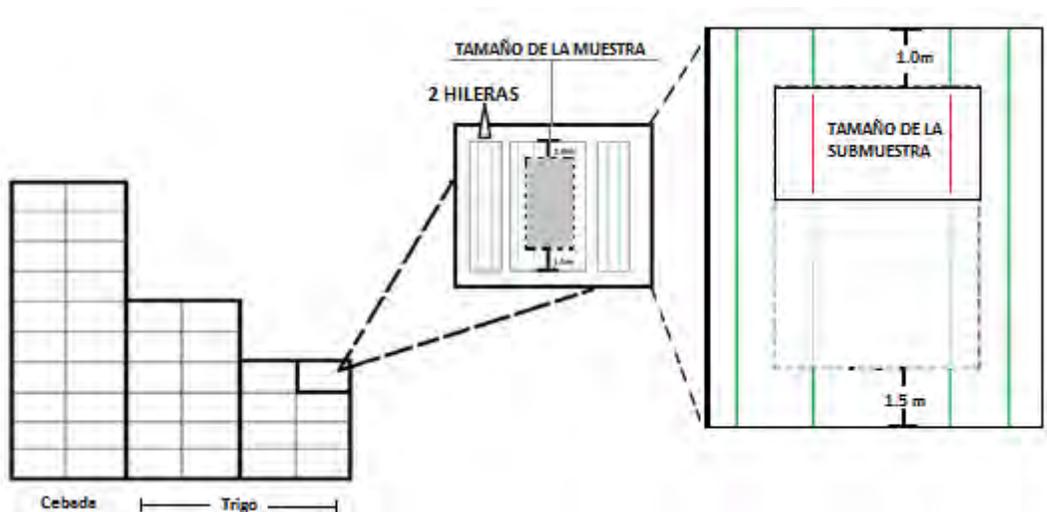


Figura12. Esquema del muestreo de maleza -Tamaño de la muestra y submuestra dentro de cada unidad experimental.

5. Resultados

Tras los conteos realizados, se pudo observar que el complejo de maleza gramínea presente en ambos cultivos (trigo y cebada), estuvo conformado por: *Eleusine multiflora*, *Chloris submítica*, *Eragrostis mexicana*, *Zea mays* y *Triticum aestivum* (las 2 últimas especies fueron cultivos de rotación previos en trigo y cebada, respectivamente).

En principio, hay que establecer que el grado de control de la maleza se considera a partir de la estimación la densidad poblacional persistente, es decir, el número de individuos por unidad de superficie y su contenido en biomasa ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$).

Comenzando por los resultados obtenidos en el cultivo de trigo se pudo observar que las parcelas tratadas con pendimetalina (Prowl®), que es un herbicida con un modo de acción de inhibición del crecimiento celular, presentaron un mayor porcentaje de reducción de la población de zacates arvenses, llegando a un 86% de eliminación de maleza gramínea; en contraste las parcelas en dónde fue aplicado el tratamiento de metribuzina + fenoxaprop-etil (Sencor® + Puma super®), que es una formulación que combina 2 modos de acción: inhibe la fotosíntesis y la síntesis de lípidos; mostraron un nulo control, e inclusive un incremento de la población arvense gramínea, mayor que el incremento que se registró en las parcelas testigo, donde no se hizo aplicación de algún herbicida (Figura 13).

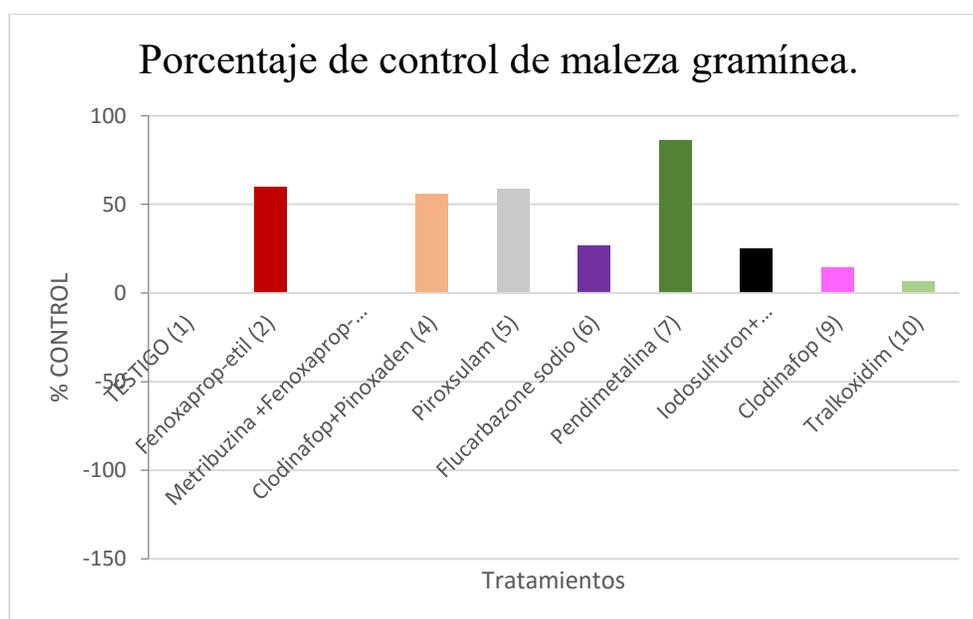


Figura 13. Porcentaje de control en plantas arvenses gramíneas en el cultivo de trigo bajo diferentes tratamientos de herbicidas.

En cuanto al contenido de biomasa de las poblaciones prevalecientes, se observó que las parcelas testigo albergaron la maleza gramínea con el mayor contenido de biomasa, equivalente a 0.72 kg*ha^{-1} , en cambio el herbicida con el que se alcanzó la mayor reducción de este contenido, fue el clodinafop + pinoxaden (Traxos®), con un modo de acción de inhibición de la síntesis de lípidos, donde llegó a un contenido de 0.19 kg*ha^{-1} (Figura 14); aunque estadísticamente, la respuesta de esta variable con el clodinafop + pinoxaden, fue similar a la que se obtuvo con la pendimetalina (Prowl®), el flucarbazone sodio (Everest®), fenoxaprop-etil (Puma super®) y la mezcla de este último con metribuzina (Puma super® + Sencor®) -Tabla 7-.

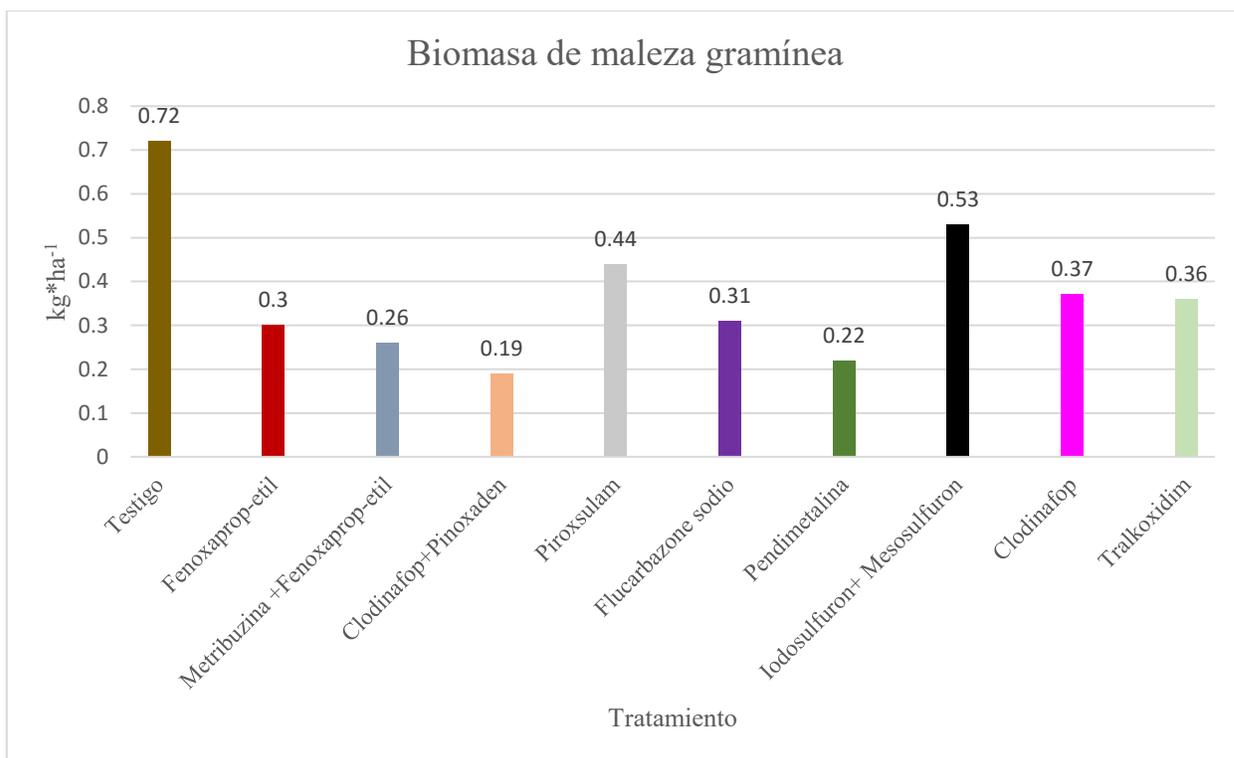


Figura 14. Biomasa total en kg*ha^{-1} de especies arvenses gramíneas en el cultivo de trigo bajo diferentes tratamientos de herbicidas.

Tabla 6. Análisis de varianza para el contenido de biomasa de maleza gramínea ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) en el cultivo de trigo bajo diferentes tratamientos de herbicidas..

Variable		N	CV		
Biomasa maleza $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$.		20	28.24		
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Herbicidas	0.46	9	0.05	4.69	0.0120
Error	0.11	10	0.01		
Total	0.57	19			

Tabla 7. Comparación de medias para el contenido de biomasa de maleza gramínea ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) en el cultivo de trigo con diferentes herbicidas. (Prueba de Tukey; Alfa=0.05; DMS=0.41245; Error: 0.0109 gl: 10).

Herbicida	Medias	n	E.E.		
Clodinafop + Pinoxaden (4)	0.19	2	0.07	A	
Pendimetalina (7)	0.22	2	0.07	A	
Metribuzina + Fenoxaprop-etil (3)	0.26	2	0.07	A	
Fenoxaprop-etil (2)	0.30	2	0.07	A	
Flucarbazone sodio (6)	0.31	2	0.07	A	B
Tralkoxidim (10)	0.36	2	0.07	A	B
Clodinafop (9)	0.37	2	0.07	A	B
Piroxsulam (5)	0.44	2	0.07	A	B
Iodosulfurón + Mesosulfurón (8)	0.53	2	0.07	A	B
Testigo (1)	0.72	2	0.07		B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Como parte complementaria a la determinación de la eficiencia de una formulación herbicida, es necesario considerar una evaluación del impacto que tienen cada una de éstas, sobre los cultivos y sus componentes de rendimiento; en este trabajo se consideraron para tales fines, las

variables de número de espigas* m^{-2} , número de granos*espiga $^{-1}$, rendimiento de grano ($kg*ha^{-1}$) y peso hectolítrico (kg) de cada tratamiento.

En el cultivo de trigo se observó que no hay un efecto significativo que represente una diferencia entre los diferentes tratamientos probados, con respecto a las variables de rendimiento de grano, peso hectolítrico y número de espigas* m^{-2} (Anexo). Sin embargo, el número de granos en cada espiga, si se vio afectado de manera diferencial, porque en las espigas de las parcelas tratadas con piroxulam (Across®), se formaron un menor número de grano (11 granos*espiga $^{-1}$), en comparación con las espigas de las parcelas tratadas con flucarbazone sodio (Everest®) que promediaron una formación de 28 granos*espiga $^{-1}$ (Figura 15).

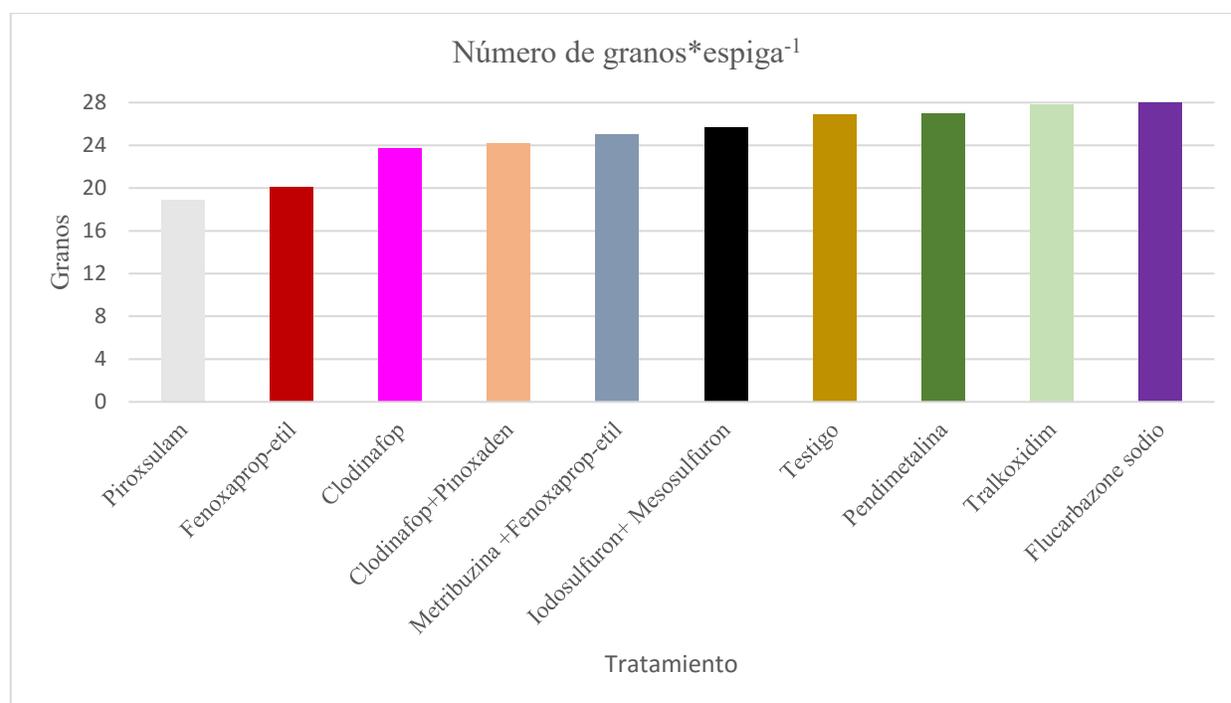


Figura 15. Promedio de granos de trigo por espiga, obtenidos bajo diferentes tratamientos de herbicidas.

Tabla 8. Análisis de varianza para el número de granos de trigo*espiga $^{-1}$ bajo diferentes tratamientos de herbicidas.

Variable	N	CV				
Granos*espiga $^{-1}$	20	8.67				
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	
Herbicidas	175.02	9	19.45	4.23	0.0172	

Error	45.97	10	4.60
Total	220.99	19	

Tabla 9. Comparación de medias para el número de granos*espiga⁻¹ obtenido bajo el tratamiento de diferentes herbicidas (Test: Tukey; Alfa=0.05; DMS=8.4878; Error: 4.597; gl: 10).

Herbicida	Medias	n	E.E.		
Piroxsulam (5)	18.93	2	1.52	A	
Fenoxaprop-etil (2)	20.09	2	1.52	A	B
Clodinafop (9)	23.74	2	1.52	A	B
Clodinafop + Pinoxaden (4)	24.18	2	1.52	A	B
Metribuzina + Fenoxaprop-etil (3)	25.03	2	1.52	A	B
Iodosulfurón + Mesosulfurón (8)	25.68	2	1.52	A	B
Testigo (1)	26.90	2	1.52	A	B
Pendimetalina (7)	26.97	2	1.52	A	B
Tralkoxidim (10)	27.80	2	1.52		B
Flucarbazone sodio (6)	28.03	2	1.52		B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Pasando a los resultados obtenidos en el cultivo de cebada, se puede apreciar, en cuanto a la eliminación de las especies arvenses gramíneas, que sólo 3 de las formulaciones herbicidas probadas ejercieron un control, éste es el caso de las parcelas tratadas con fenoxaprop-etil (Puma super®), la combinación de metribuzina con fenoxaprop-etil (Sencor® + Puma super®) y el tratamiento con clodinafop (Vigia®); en el caso del fenoxaprop-etil, la población de zacates arvenses eliminada equivalió a un 36.4% de la registrada al inicio del experimento. El herbicida con menor efectividad fue la pendimetalina (Prowl®), registrando un incremento en la

población de zacates-maleza en más del 100%, en comparación con la población inicial, establecida en la parcela al momento previo de hacer la aplicación del tratamiento (Figura 16).

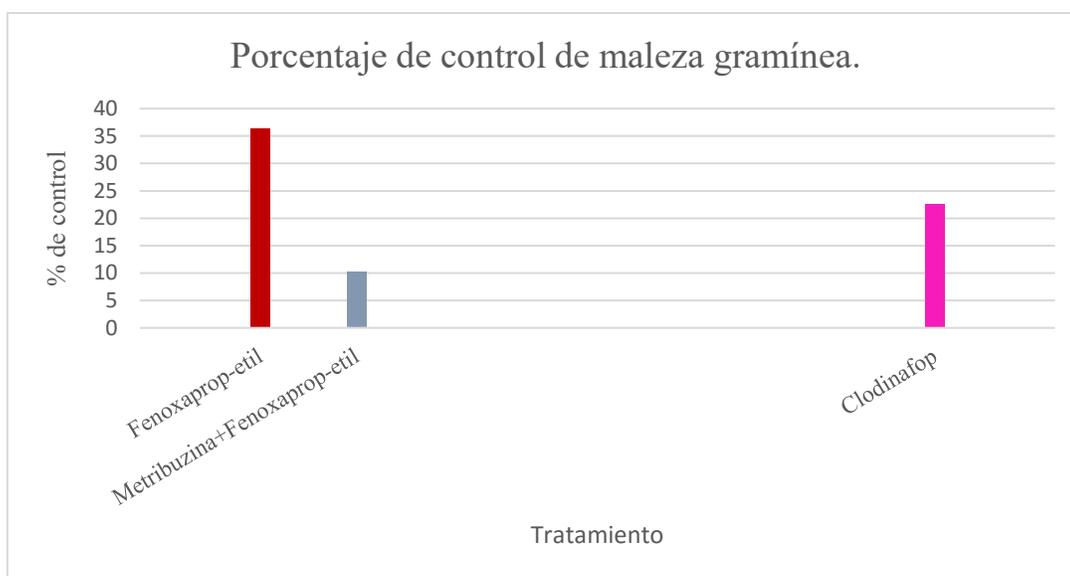


Figura 16. Porcentaje de control de plantas arvenses gramíneas en el cultivo de cebada bajo diferentes tratamientos de herbicidas.

Tabla 10. Comparación de medias para el porcentaje de control de maleza gramínea en el cultivo de cebada con diferentes herbicidas.(Prueba de Tukey Alfa=0.05; DMS=9.07766; Error: 5.2584 gl: 10).

Herbicida	Medias	E.E.	
Pendimentalina	0.00	1.62	A
Iodosulfurón+Mesosulfurón	0.00	1.62	A
Piroxsulam	0.00	1.62	A
Testigo	0.00	1.62	A
Flucarbazone sodio	0.00	1.62	A
Clodinafop+Pinoxaden	0.00	1.62	A
Tralkoxidim	0.00	1.62	A

Metribuzina+Fenoxaprop-etil..	5.13	1.62	A
Clodinafop	22.50	1.62	B
<u>Fenoxaprop-etil</u>	36.41	2	1.62
			C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

En cuanto al contenido en biomasa ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) de las densidades poblacionales de zacates arvenses presentes en el sistema cebada, no se obtuvo una diferencia significativa entre los diferentes herbicidas probados, llegando a alcanzar contenidos promedio de biomasa entre 6 y $13 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ (Anexo).

Como resultado de la evaluación sobre el impacto que tuvieron los diversos herbicidas sobre el desarrollo del cultivo de cebada y en particular sobre sus componentes de rendimiento, se observó que no hubo algún herbicida que afectara significativamente el número de espigas de cebada $\cdot\text{m}^{-2}$, el rendimiento de grano ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) y el peso hectolítrico (kg) del grano (Anexo). La variable en la que se pudo observar una respuesta diferente, fue en el número de granos contenidos en la espiga, donde las espigas de la parcela tratada con flucarbazone sodio (Everest®), promediaron un contenido de 11 granos y en el extremo opuesto, con un mayor número de granos contenidos en cada espiga, se mostraron las plantas tratadas con iodosulfurón y mesosulfurón (Sigma®); (Figura 17 y Tabla 11).

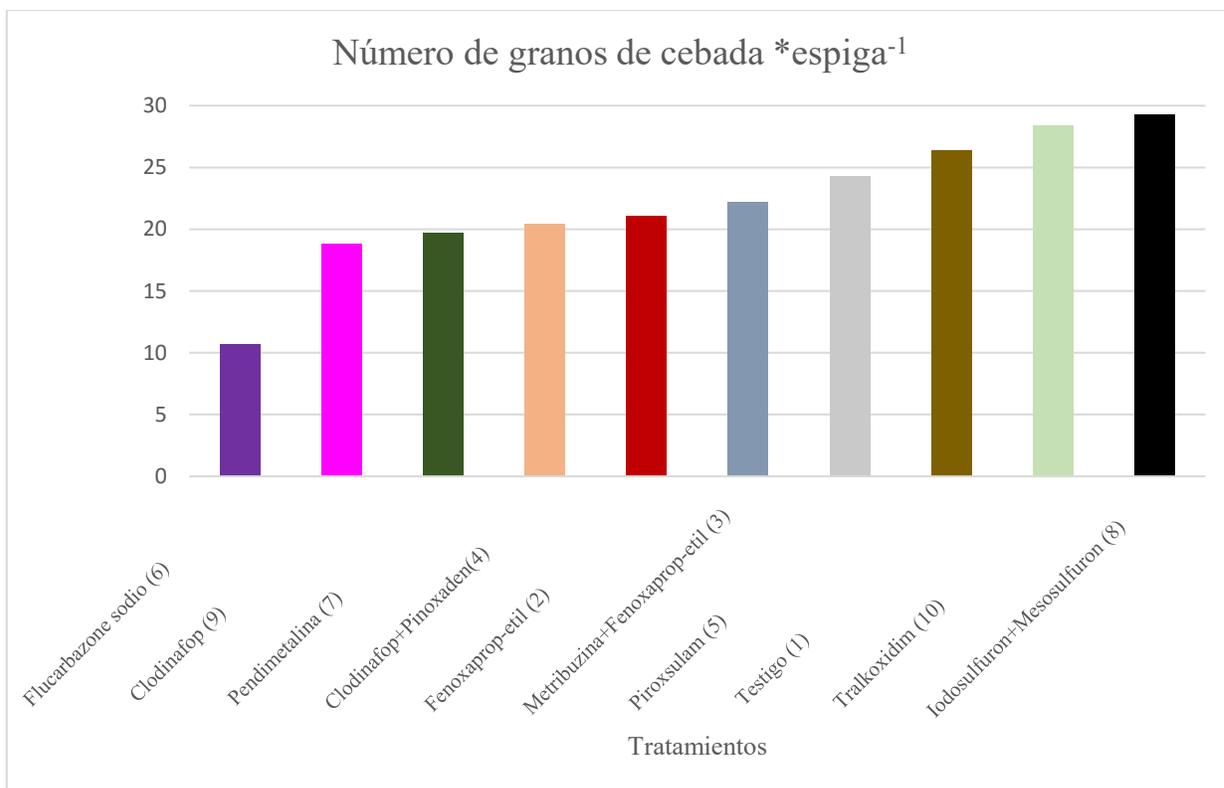


Figura 17. Promedio de granos de cebada contenidos en cada espiga, obtenidos bajo el tratamiento con diferentes herbicidas.

Tabla 10. Análisis de varianza para el número de granos de cebada*espiga⁻¹ bajo diferentes tratamientos de herbicidas.

Variable	N	CV			
Granos*espiga ⁻¹	20	12.08			
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Herbicida	529.93	9	58.88	8.25	0.0014
Error	71.40	10	7.14		
Total	601.33	19			

Tabla 11. Comparación de medias para el número de granos de cebada por espiga, obtenido bajo diferentes tratamientos herbicidas. (Prueba de Tukey; Alfa=0.05; DMS=10.57779; Error: 7.1399; gl: 10).

Herbicida	Medias	n	E.E.	
Flucarbazone sodio (6)	10.68	2	1.89	A
Clodinafop (9)	18.81	2	1.89	A B

Pendimetalina (7)	19.73	2	1.89	A	B
Clodinafop + Pinoxaden (4)	20.41	2	1.89	A	B
Fenoxaprop-etil (2)	21.04	2	1.89	A	B
Metribuzina + Fenoxaprop-etil (3)	22.20	2	1.89		B
Piroxsulam (5)	24.31	2	1.89		B
<u>Testigo (1)</u>	26.34	2	1.89		B
Tralkoxidim (10)	28.42	2	1.89		B
Iodosulfurón + Mesosulfurón (8)	29.26	2	1.89		B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

6. Discusión.

Para comprender el complejo de maleza gramínea establecido en las parcelas experimentales, hay que mencionar la rotación de cultivo que tuvo lugar, el cultivo que antecedió al cultivo de cebada, fue trigo y por otro lado, el que tuvo lugar antes de establecer la siembra de trigo fue maíz; por lo durante el presente ciclo las plantas tanto de trigo como maíz son consideradas maleza, a este complejo se suman especies como: *Eleusine multiflora*, *Chloris submútica* y *Eragrostis mexicana*.

Para hacer el análisis de los resultados obtenidos en el cultivo de trigo. Hay que partir de una distinción, que consiste en reconocer, que el grado de control de la maleza ya emergida en un sistema agrícola, está dado por 2 factores: la reducción de la densidad de población, es decir del número de plantas arvenses*unidad de superficie⁻¹, y la reducción del contenido de biomasa de éstas.

Como se vio en el cultivo de trigo, la reducción de la densidad de población de las especies de maleza gramínea fue expresada como porcentaje de control. En este sentido, el herbicida que alcanzó el mayor porcentaje de reducción de maleza arvense, fue el que contenía como ingrediente activo pendimentalina, que es un herbicida con un modo de acción de inhibición del crecimiento celular, específicamente afecta a las células de la raíz (mecanismo de acción). Pero en principio hay que considerar que para que un herbicida logre su función, es necesario que sea absorbido y translocado en una concentración suficiente en su sitio de acción, que es dónde provocará una alteración bioquímica específica conocida como mecanismo de acción; en el caso

de la pendimentalina asperjada en el cultivo de trigo, se deduce que su velocidad de translocación fue la adecuada, ya que de lo contrario, en el caso de ser menor la velocidad de transporte a través de los tejidos de conducción y su translocación, la concentración se reduciría y provocaría una pérdida drástica en la eficacia del herbicida al llegar en forma insuficiente a su sitio de acción (radícula) y en este caso no lograr inhibir el crecimiento celular.

Con respecto a la misma variable, porcentaje de control, en el caso contrario, se encuentra lo ocurrido con la prueba de combinación de 2 herbicidas (metribuzina + fenoxaprop-etil) con diferente modo de acción (inhibición de la fotosíntesis y de la síntesis de lípidos), esta mezcla no mostró reducción alguna en el número de plantas de maleza gramínea por unidad de superficie, por lo contrario, se duplicó; sin embargo, al determinar su contenido de biomasa, se pudo observar un contenido muy bajo ($0.26 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$), estadísticamente similar al obtenido con pendimentalina ($0.22 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$) y clodinafop + pinoxaden ($0.19 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$), que fueron los herbicidas que redujeron más el contenido de biomasa en la maleza gramínea. Esto sugiere un efecto sinérgico entre los 2 modos de acción de la metribuzina y el fenoxaprop-etil, por un lado, la metribuzina, secuestrando electrones en el fotosistema II, lo que interrumpe el flujo de electrones y no se permite se lleve a cabo de manera eficiente en el siguiente fotosistema, la formación de ATP ni de NADPH como resultado de la fase luminosa de la fotosíntesis en general; y por otro, el fenoxaprop-etil, bloqueando la producción de ácidos grasos, los cuales son necesarios para formar la mono o bicapa lipídica de cualquier membrana presente en la célula, al afectarse la constitución de la membrana se ve afectado su potencial (voltaje), y con ello, el ingreso de protones o cationes, llegando a un punto de alteración en el equilibrio de los solutos presentes en la célula; pero en el caso particular, que la membrana afectada sea la de la mitocondria, no va a poder establecerse con normalidad el diferencial de carga que se requiere para la síntesis de ATP. Por lo que, de manera indirecta, por el efecto de estos herbicidas, se ve afectada la molécula energética a nivel celular, que interviene en la realización de numerosas reacciones metabólicas; que al ser incapaces de llevarse a cabo bajo condiciones estándares, requieren de energía (P_i) para lograrse.

La maleza gramínea con mayor contenido de biomasa fue la que se presentó en las parcelas testigo, es decir, donde no se hizo aplicación alguna de un herbicida, esto es lógico porque las plantas de maleza al no estar en condiciones de estrés por la incorporación alguna molécula

química herbicida en su sistema vascular, no sufrirá alteraciones en alguna de sus rutas metabólicas, que le generen algún mal funcionamiento, que repercutan en la translocación de nutrientes o en el desarrollo de sus órganos.

Siguiendo con los resultados obtenidos en el cultivo de trigo, en lo referente a los componentes del rendimiento, la formación de granos*epiga⁻¹ mostró respuestas diferentes con base al tratamiento herbicida aplicado, dónde las espigas presentes en las parcelas en las que se aplicó piroxulam, formaron en promedio 19 granos por unidad, y el mayor promedio se observó en las espigas de las parcelas tratadas con flucarbazone sodio (28 granos). Podría esperarse que al ver este resultado, se tendrá un efecto en el mismo sentido sobre el rendimiento, es decir, esperar un mayor rendimiento en las parcelas tratadas con flucarbazone sodio y uno menor en las parcelas tratadas con piroxulam; sin embargo, hay que considerar el peso hectolítrico de ambos tratamientos, ya que en el caso del piroxulam la calidad del grano fue mayor alcanzando un promedio de 82.14 kg*hl⁻¹, en cambio, los granos obtenidos de las plantas tratadas con flucarbazone sodio promediaron un peso de 80 kg*hl⁻¹, lo que indica que aunque hubo un menor número de granos por cada espiga en el caso del tratamiento con piroxulam, éstos llenaron mejor, al haber menos unidades, hubo una mejor asimilación de nutrientes por cada grano, compensando así la cantidad con calidad. Un factor que es determinante para el número de granos en una espiga es el tiempo en que dura la elongación del tallo, mientras más dure la elongación del tallo, mayor número de granos contendrá la espiga (Solís, 2009).

En cuanto a los rendimientos de grano en kg*ha⁻¹ alcanzados en el cultivo de trigo (Anexo), no importó el tratamiento herbicida aplicado, se muestran superiores con respecto al rendimiento referencia para el rendimiento bajo condiciones de temporal en un sistema convencional, que es de 2,000 kg*ha⁻¹ (Ramírez, 2016).

Pasando al caso de la cebada, el complejo de maleza estuvo integrado por *Eleusine multiflora*, *Chloris submítica*, *Eragrostis mexicana* y *Triticum aestivum* (trigo); el trigo se presentó como maleza debido a que, en el ciclo anterior, fue el cultivo principal, sin embargo, tras la cosecha, los granos que quedaron en el suelo, germinaron y se establecieron para formar parte del complejo de especies que compiten con la cebada. Debido a esto, tanto la densidad, como el contenido de biomasa es más alto en las parcelas de cebada, es decir, donde se llevó a cabo esta rotación trigo-cebada. Tras observar los % de control deficientes en este cultivo (cebada) hay

que tener en mente la rotación que tuvo lugar y la similitud que hay entre las características fisiológicas entre las plantas de trigo y cebada, por lo que si alguna formulación hubiese disminuido tanto el número de plantas de trigo, ahora consideradas como maleza, seguramente se habría observado un efecto igual en las plantas de cebada; sin embargo, lo que se observó fue la condición selectiva del herbicida, tanto para las plantas de trigo como de cebada, esta selectividad obedece a diversas rutas según el herbicida y el mecanismo de acción que tenga el mismo, esta selectividad estará en función de la densidad de los estomas de las hojas, el contenido de ceras en la epidermis y la capacidad de detoxificación que tengan las plantas en general, dónde se pueden distinguir 3 fases; en la primera algunos enlaces de la molécula del ingrediente activo del herbicida (lipofílico), son rotos por alguna reacción de reducción, de oxidación, o bien por hidrólisis, de las cuales el resultado es un compuesto más soluble en agua (anfófilico), bajando así su potencial fitotóxico; las siguientes 2 fases consisten en formar conjugados de los grupos sustituyentes del herbicida o metabolitos formados por presencia de éstos, con alguna azúcar, o un aminoácido, o también, pueden unirse con el glutatión; esto con la finalidad de incrementar su solubilidad en agua (hidrofílico) y bajar aún más su toxicidad. En el caso de trigo y cebada es común la detoxificación por hidroxilación, donde tras la incorporación de un grupo hidroxilo (OH) a la molécula del herbicida, se forma un conjugado glucosídico, regulado por una enzima oxidativa (citocromo P-450); y esta enzima, en conjunto con otras como son las peroxidasas, polifenol-oxidasas, tirosinasas, etc.; son las responsables de que la planta genere modificaciones en su metabolismo en presencia de moléculas herbicidas y de las condiciones de estrés que desencadenan.

En el caso del rendimiento de grano de cebada ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) se observó un efecto fitotóxico en las parcelas dónde se aplicó flucarbazone sodio, este herbicida es una sulfonil-carboniltriazolinona, que ejerce un mecanismo de acción de inhibición de la acetolactato-sintasa (ALS), es selectivo al cultivo de trigo, y presenta residualidad. La similitud entre la anatomía y la fisiología de las plantas de trigo y cebada, generó una hipótesis de que podría ser igual de eficaz que en el caso del cultivo de trigo, sin embargo, se obtuvieron resultados adversos, en la variable de rendimiento y en sus componentes como número de granos por espiga y peso hectolítrico. Un factor que marcó la tendencia hacia la ineficacia fue la rotación de trigo con cebada, porque este herbicida al ser aplicado para erradicar la población de trigo (maleza), no presentará ningún nivel de control porque las plantas de trigo presentan altas tasas de detoxificación a las

aplicaciones de flucarbazone, por otro lado, cabe destacar que la cebada no mostró la misma capacidad para activar su metabolismo detoxificante, y al ser más susceptible que el trigo, se produjeron una serie de acontecimientos bioquímicos que comenzaron con la inhibición de la enzima ALS, que es la primera que interviene para la síntesis de aminoácidos valina, leucina e isoleucina, al haber falta de estos aminoácidos la síntesis de proteína se ve afectada, sin embargo, la toxicidad va más allá porque es la acumulación de amino-butirato y ceto-butirato, la que va a provocar una interferencia con la producción de vitamina B (pantotenato) y con ello se dará una interrupción de la división celular (Qingyan, 2007); y este cese en particular es de suma importancia según la etapa fenológica en la que se dé, porque si tiene lugar durante el encañe, que es la fase de alargamiento del tallo, se verá afectado el número de granos contenidos en la espiga (Solis, 2009), mientras más tiempo dure esta etapa, más número de granos contendrá una espiga; el cambio de fase estará dado por el genotipo del cultivar, por las condiciones ambientales y por el cómo estas últimas provocan estadios de estrés en el cultivo, como lo es la aplicación de un herbicida, o bien, el incremento de la temperatura. Sin embargo las plantas de cebada fueron capaces de activar cierto mecanismo de detoxificación, ya que de no hacerlo, se continúa con el resto de los efectos de provocar la inhibición de la ALS; posteriormente a la detención del crecimiento celular, se va a provocar el incremento de una proteína clave para activar la respiración en la planta, esta proteína es la alternativa oxidasa, que va a ser sintetizada a partir de una desregulación de electrones en la mitocondria, lo que provocará fallas en la síntesis de ATP, acumulación de ésta proteína y piruvato, dónde al llegar ambos a un nivel crítico, se activa una ruta alternativa a la respiración (fermentación), la cual tiene como productos acetaldehído, etanol y lactato (tóxico para las plantas) (Qingyan, 2007).

Para cerrar el análisis sobre el rendimiento de grano y el impacto que tuvieron los herbicidas sobre el cultivo de cebada y tener otra fuente de contraste, vale la pena hacer la comparación del rendimiento de grano obtenido en un sistema convencional de producción bajo condiciones de temporal en México (ciclo primavera-verano) y de los rendimientos obtenidos bajo el esquema de conservación aquí propuesto con los diversos tratamientos herbicidas; en el caso del rendimiento bajo el sistema convencional, oscila entre 0.8 toneladas*ha⁻¹ y 1.9 toneladas*ha⁻¹ (zonas de alta productividad), y en el caso del sistema propuesto, de todas las parcelas experimentales, sólo las correspondientes a los tratamientos con fenoxaprop-etil y flucarbazone

sodio mostraron un promedio menor a los 1, 900 kg*ha⁻¹ o 1.9 toneladas, con 1.7 toneladas y 1.0 tonelada*ha⁻¹, respectivamente.

7. Conclusión.

En los sistemas de producción agrícola de conservación, es importante tomar en cuenta que el control de la maleza es multifactorial, hay que considerar el tipo de maleza, su ciclo biológico, su fenología y el ciclo de producción bajo el cual se trabajará (P-V u O-I).

La maleza siempre va a estar presente en un sistema de producción agrícola, la decisión sobre, en qué momento y cómo controlarla, hará la diferencia entre el éxito que se puede alcanzar con miras ambientales al implementar un sistema de conservación, y el cambio de un problema ambiental por otro; como puede ser, ayudar a bajar los contenidos de CO₂, pero provocar contaminación por el mal uso de los herbicidas. Este último punto radica en que una elección errónea sobre el compuesto herbicida, o realizar labores de control fuera de tiempo, pueden derivar en usos rebasados de los herbicidas, lo que a su vez, genera 2 situaciones: contaminación del entorno y presión sobre la maleza existente, que en un inicio podrá ser controlada, sin embargo, esa presión ejercida, por evolución inherente a las especies ruderales (maleza), será superada y como resultado se podrán vislumbrar fenotipos con características de resistencia a las aplicaciones de los mismos herbicidas.

Controlar la maleza gramínea en un sistema de conservación de cultivo de gramíneas significa un esfuerzo, en el sentido de no sólo contemplar como única solución de manejo, al control químico. Al respecto, sobre las rotaciones de cultivo, no se recomienda hacer rotaciones de trigo con cebada, por las complicaciones que sugiere y el porcentaje de impurezas que puede alcanzar el que se establezcan ambos biotipos.

Una premisa fundamental en el control de maleza, es no permitir la formación de semilla por parte de estas especies. El hacer un reconocimiento del complejo de maleza del sitio, es importante para saber qué tipo de estrategias se pueden implementar para su control, esto se puede hacer mediante una caracterización de las plantas en caso de estar presentes, o bien de las semillas almacenadas en el suelo como banco de semillas; de ésta forma se puede llegar a

conocer el complejo y prepararse para su ciclo de aparición, pudiendo variar su constitución, del ciclo primavera-verano al otoño invierno.

El sistema de conservación bloquea el paso de luz hacia las semillas de maleza por lo que por éste efecto no serán capaces de germinar, dando como resultado un cambio en el complejo de maleza existente, dónde prevalecerán especies de ciclo biológico perenne y aquellas de ciclo biológico anual serán desplazadas, y al no permitir que se produzca semilla en la maleza, las especies perennes que se caracterizan por tener otra alternativa de dispersión a parte de la semilla, disminuirán su capacidad de reproducción, por lo que llegado el momento, el control químico deberá ser dirigido a este tipo de especies. Con la implementación, se pueden vislumbrar 3 mejoras potenciales en el ambiente: La reducción de la tasa de erosión de los suelos destinados a la agricultura, principalmente los destinados a la producción de trigo y cebada (granos en general); fungir como sumidero de CO₂ y el uso racional de los herbicidas, que de ser aplicados en tiempo y forma, puede significar una tendencia a la baja en el uso de estos agroquímicos.

ANEXO.

Componentes del rendimiento de trigo.

- a) Rendimiento de grano.

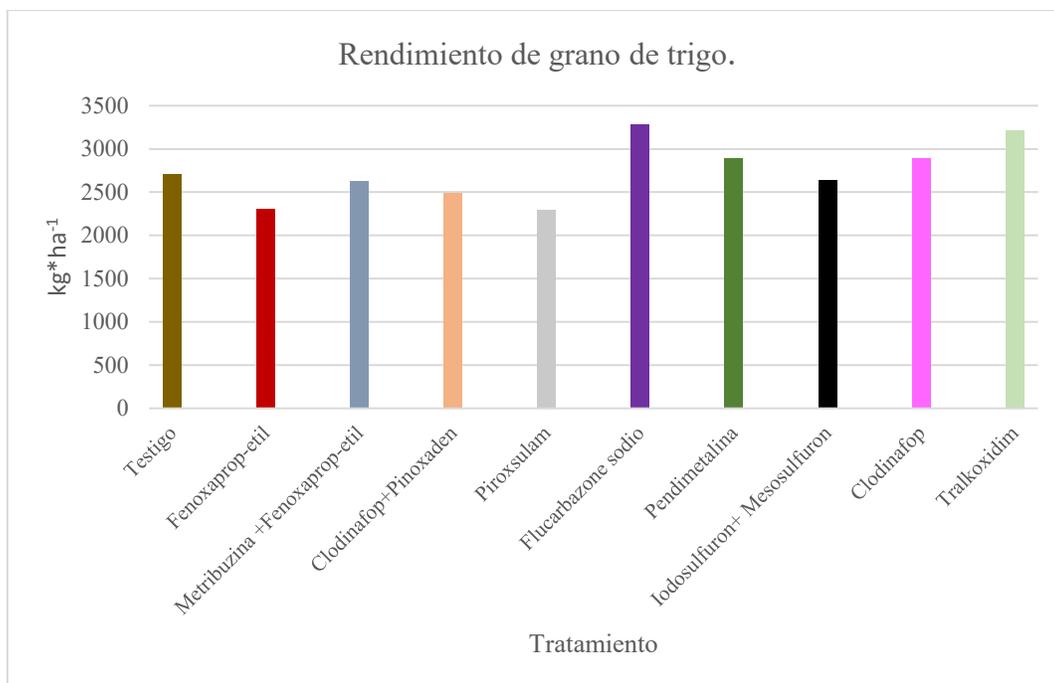


Fig. A1. Rendimiento de grano de trigo por hectárea con diferentes tratamientos herbicidas.

Tabla A1. Análisis de varianza para el rendimiento de grano de trigo (kg*ha⁻¹) obtenido bajo el tratamiento con diferentes herbicidas.

Rendimiento de grano en kg*ha ⁻¹						
Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Herbicidas	1969906.718	9	218878.524	0.890	0.565	3.020
Error	2460163.106	10	246016.311			
Total	4430069.823	19				

Tabla A2. Comparación de medias para el rendimiento de grano de trigo (kg*ha⁻¹) obtenido bajo el tratamiento con diferentes herbicidas. (Prueba de Tukey; Alfa= 0.05; DMS= 1963.49038; Error: 246015.1207; gl: 10).

Tratamiento	Medias	n	E.E.
Fenoxaprop-etil (2)	2,323.51	2	350.72 A
Piroxsulam (5)	2,380.10	2	350.72 A
Clodinafop + Pinoxaden (4)	2,492.39	2	350.72 A

Iodosulfurón + Mesosulfurón (8)	2,639.28	2	350.72	A
Metribuzina + Fenoxaprop-etil (3)	2,710.54	2	350.72	A
Testigo (1)	2,714.06	2	350.72	A
Pendimetalina (7)	2,893.32	2	350.72	A
Clodinafop (9)	2,899.56	2	350.72	A
Tralkoxidim (10)	3,235.68	2	350.72	A
Flucarbazone sodio (6)	3,303.92	2	350.72	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

b) Número de espigas.

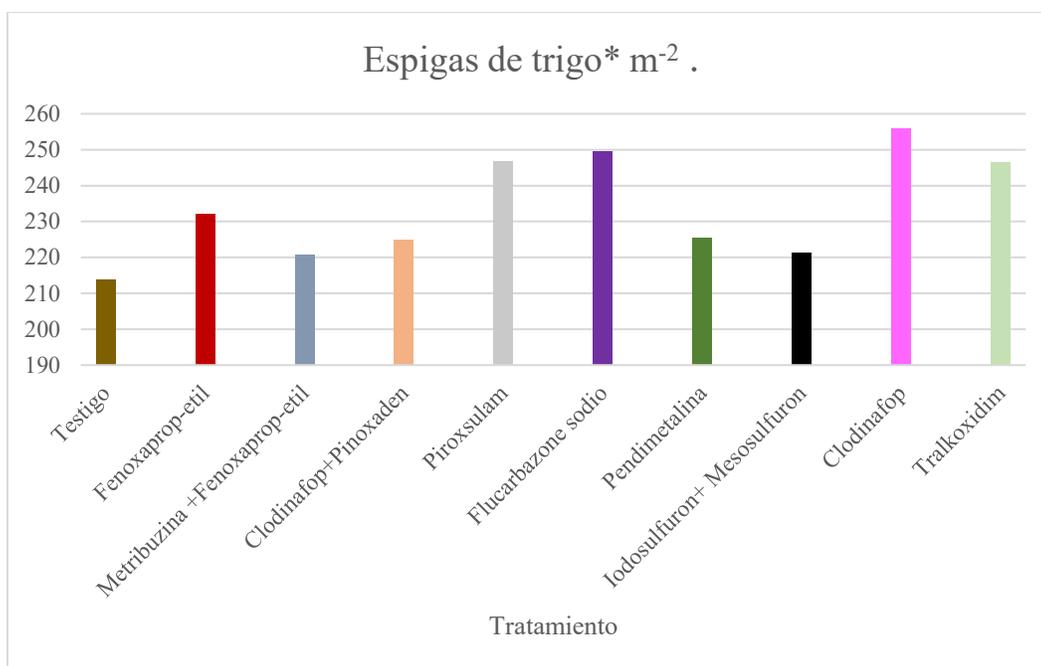


Fig. A2. Número de espigas de trigo*m⁻² obtenido con diferentes tratamientos herbicidas.

Tabla A3. Análisis de varianza para el número de espigas de trigo*m⁻² obtenido bajo el tratamiento con diferentes herbicidas.

Número de espigas *m-2						
Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Herbicidas	4042.823	9	449.203	0.405	0.905	3.020
Error	11094.898	10	1109.490			
Total	15137.721	19				

Tabla A4. Comparación de medias para el número de espigas de trigo por m⁻² obtenidos bajo diferentes tratamientos herbicidas. (Prueba de Tukey; Alfa=0.05; DMS=131.57697; Error: 1104.7500; gl: 10).

Tratamiento	Medias	n	E.E.	
Testigo (1)	215.00	2	23.50	A
Iodosulfurón + Mesosulfurón (8)	222.00	2	23.50	A
Metribuzina + Fenoxaprop-etil (3)	223.00	2	23.50	A
Clodinafop + Pinoxaden (4)	225.50	2	23.50	A
Pendimetalina (7)	226.00	2	23.50	A
Fenoxaprop-etil (2)	232.00	2	23.50	A
Tralkoxidim (10)	247.00	2	23.50	A
Piroxulam (5)	250.50	2	23.50	A
Flucarbazone sodio (6)	251.50	2	23.50	A
Clodinafop (9)	257.00	2	23.50	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

c) Peso hectolítrico.

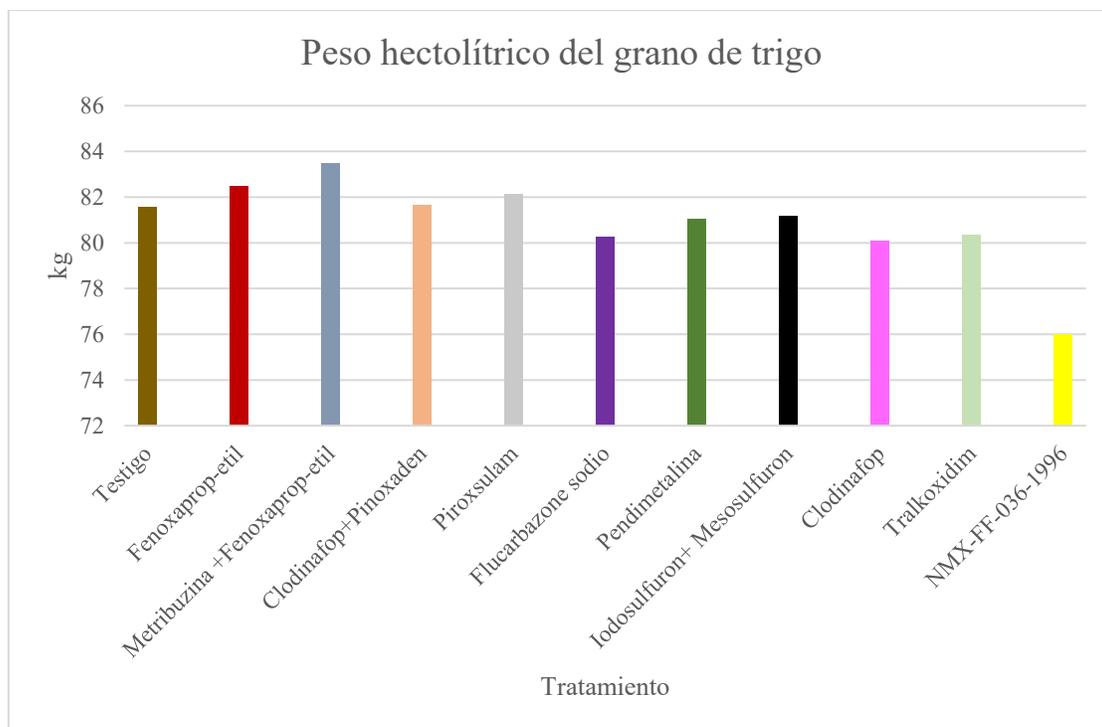


Fig. A3. Peso hectolítrico del grano de trigo obtenido con diferentes tratamientos herbicidas comparado con el valor mínimo establecido en la NMX-FF036-1996 para el grano de clase 1.

Tabla A5. Análisis de varianza para el peso hectolítrico (kg) del grano de trigo obtenido bajo diferentes tratamientos herbicidas.

Peso hectolítrico en kg						
Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Herbicidas	20.844	9	2.316	1.970	0.153	3.020
Error	11.754	10	1.175			
Total	32.598	19				

Tabla A6. Comparación de medias para el peso hectolítrico (kg) del grano de trigo obtenido con diferentes tratamientos herbicidas. (Prueba de Tukey Alfa= 0.05 DMS= 4.29172; Error: 1.1753;

gl: 10).

<u>Tratamiento</u>	<u>Medias</u>	<u>n</u>	<u>E.E.</u>	
Clodinafop (9)	80.09	2	0.77	A
Flucarbazone sodio (6)	80.29	2	0.77	A
Tralkoxidim (10)	80.33	2	0.77	A
Pendimetalina (7)	81.02	2	0.77	A
Iodosulfurón + Mesosulfurón (8)	81.20	2	0.77	A
Testigo (1)	81.58	2	0.77	A
Clodinafop + Pinoxaden (4)	81.67	2	0.77	A
Piroxsulam (5)	82.14	2	0.77	A
Fenoxaprop-etil (2)	82.48	2	0.77	A
Metribuzina + Fenoxaprop-etil (3)	83.48	2	0.77	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

d) Relación entre la densidad de maleza y el rendimiento en el cultivo de trigo.

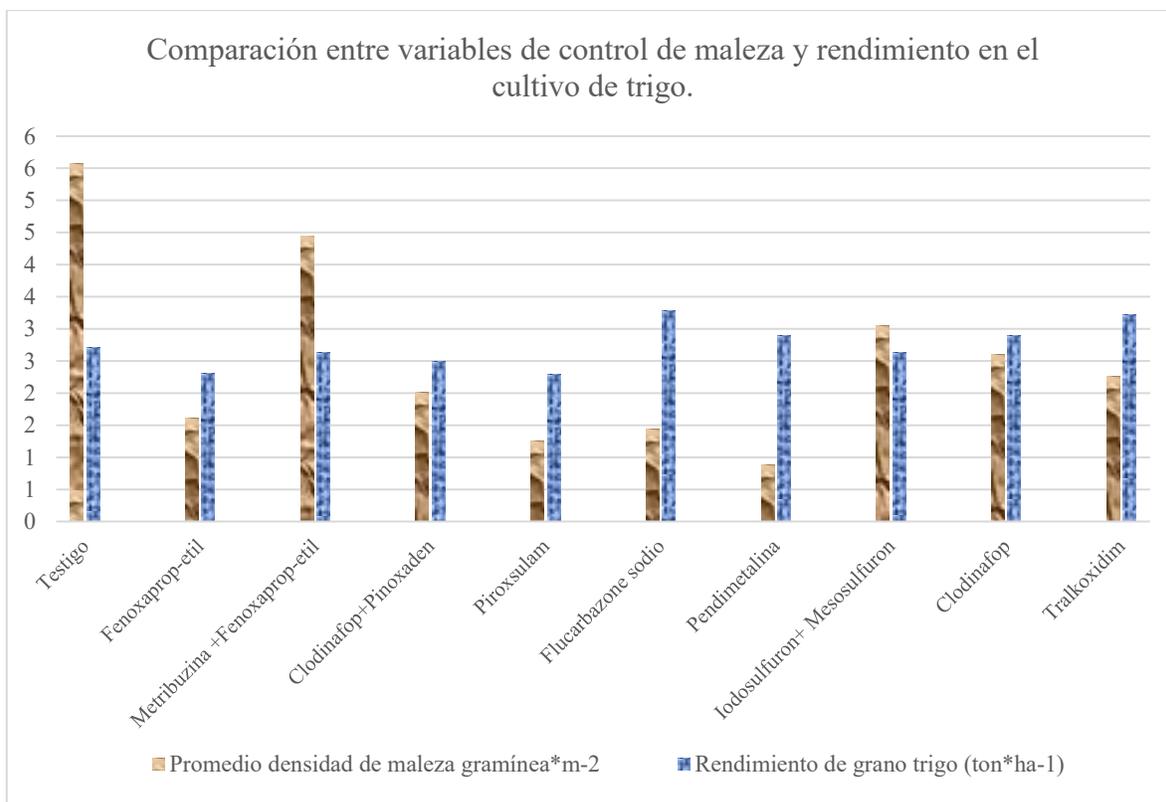


Fig. A4. Gráfica comparativa entre la densidad de maleza gramínea persistente en las parcelas experimentales y el rendimiento de grano de trigo, bajo diferentes tratamientos herbicidas.

La relación entre la densidad de maleza gramínea y el rendimiento en el presente trabajo presentó un coeficiente de correlación (r) de -0.052 , que al ser negativo indica la relación inversa entre la presencia de la maleza gramínea y el rendimiento en grano de trigo, es decir a mayor número de maleza, menor rendimiento en grano; sin embargo es un valor poco significativo porque está más cercano a 0 que a 1, lo que denota que en este caso la variación del rendimiento en el grano de trigo no se debe exclusivamente a los diferentes niveles de presencia de maleza gramínea.

Variables de respuesta sobre el control de la maleza gramínea en el cultivo de cebada.

a) Contenido de biomasa en la maleza gramínea.

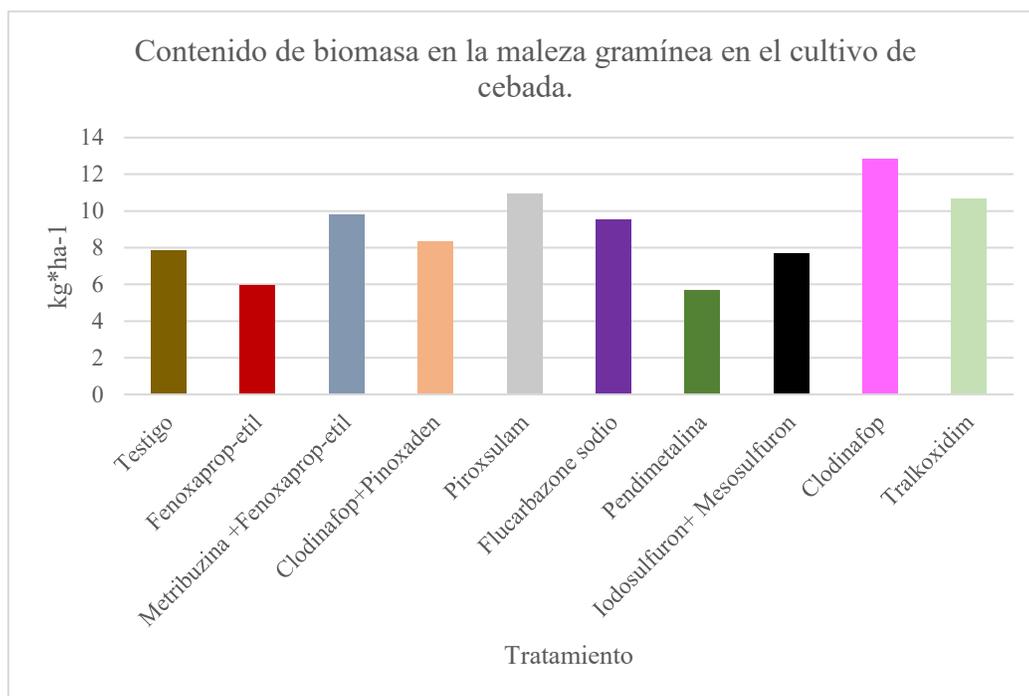


Fig. A5. Contenido de biomasa en kg*ha⁻¹ de la maleza gramínea presente en el cultivo de cebada, obtenido bajo diferentes tratamientos herbicidas.

Tabla A7. Análisis de varianza para el contenido de biomasa (kg*ha⁻¹) de la maleza gramínea presente en el cultivo de cebada, obtenido bajo diferentes tratamientos herbicidas.

Biomasa de maleza gramínea en kg*ha-1						
Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Herbicidas	76.865	9	8.541	0.311	0.953	3.020
Error	274.472	10	27.447			
Total	351.337	19				

Tabla A8. Comparación de medias para el contenido de biomasa (kg*ha⁻¹) de la maleza gramínea presente en el cultivo de cebada, obtenido bajo diferentes tratamientos herbicidas. (Prueba de Tukey; Alfa=0.05; DMS=4.196; Error: 1.1237 gl: 10).

Herbicida	Medias	n	E.E.
-----------	--------	---	------

Pendimetalina (7)	1.77	2	0.75	A
Fenoxaprop-etil (2)	2.64	2	0.75	A
Testigo (1)	2.83	2	0.75	A
Iodosulfurón + Mesosulfurón (8)	2.83	2	0.75	A
Clodinafop + Pinoxaden (4)	3.08	2	0.75	A
Flucarbazone sodio (6)	3.12	2	0.75	A
Metribuzina + Fenoxaprop-etil (3)	3.13	2	0.75	A
Tralkoxidim (10)	3.27	2	0.75	A
Piroxsulam (5)	3.31	2	0.75	A
Clodinafop (9)	3.61	2	0.75	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Componentes del rendimiento de la cebada.

a) Rendimiento de grano.

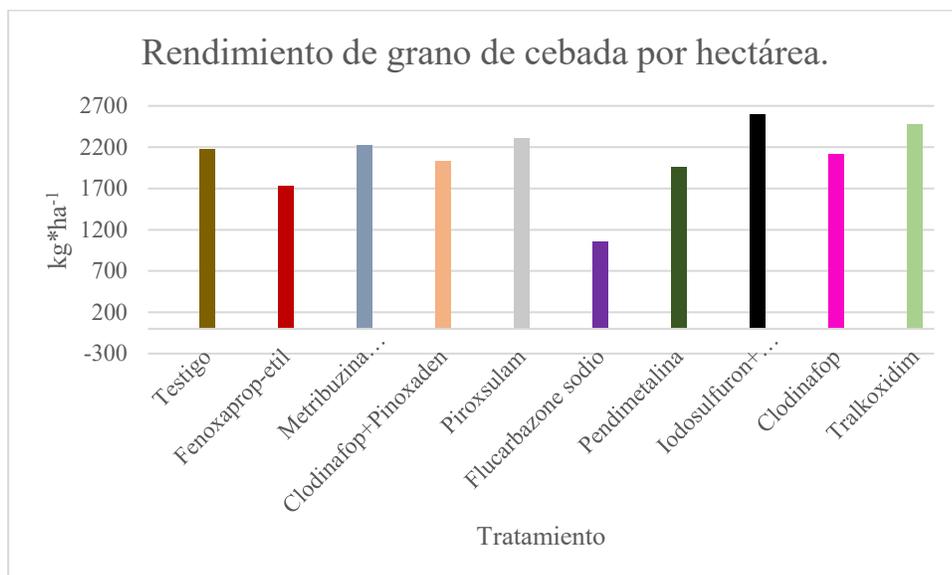


Fig. A6. Rendimiento de grano de cebada por hectárea con diferentes tratamientos herbicidas.

Tabla A9. Análisis de varianza para el rendimiento de grano de cebada (kg*ha⁻¹) obtenido bajo el tratamiento con diferentes herbicidas.

Rendimiento de grano en kg*ha-1						
Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Herbicidas	3355840.746	9	372871.194	2.474	0.087	3.020
Error	1507241.621	10	150724.162			
Total	4863082.367	19				

Tabla A10. Comparación de medias para el rendimiento de grano de cebada en kg*ha⁻¹ bajo diferentes tratamientos de herbicidas (Prueba de Tukey; Alfa=0.05; DMS=1536.877; Error: 150724.162; gl: 10).

Herbicida	Medias	n	E.E.
Flucarbazone sodio (6)	1069.08	2	274.52 A

Fenoxaprop-etil (2)	1767.17	2	274.52	A	B
Pendimetalina (7)	1989.63	2	274.52	A	B
Clodinafop + Pinoxaden (4)	2031.86	2	274.52	A	B
Clodinafop (9)	2119.20	2	274.52	A	B
Metribuzina + Fenoxaprop-etil (3)	2223.55	2	274.52	A	B
Testigo (1)	2236.89	2	274.52	A	B
Piroxulam (5)	2309.62	2	274.52	A	B
Tralkoxidim (10)10.00	2487.66	2	274.52	A	B
Iodosulfurón + Mesosulfurón (8)	2611.18	2	274.52		B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

b) Espigas*m⁻²

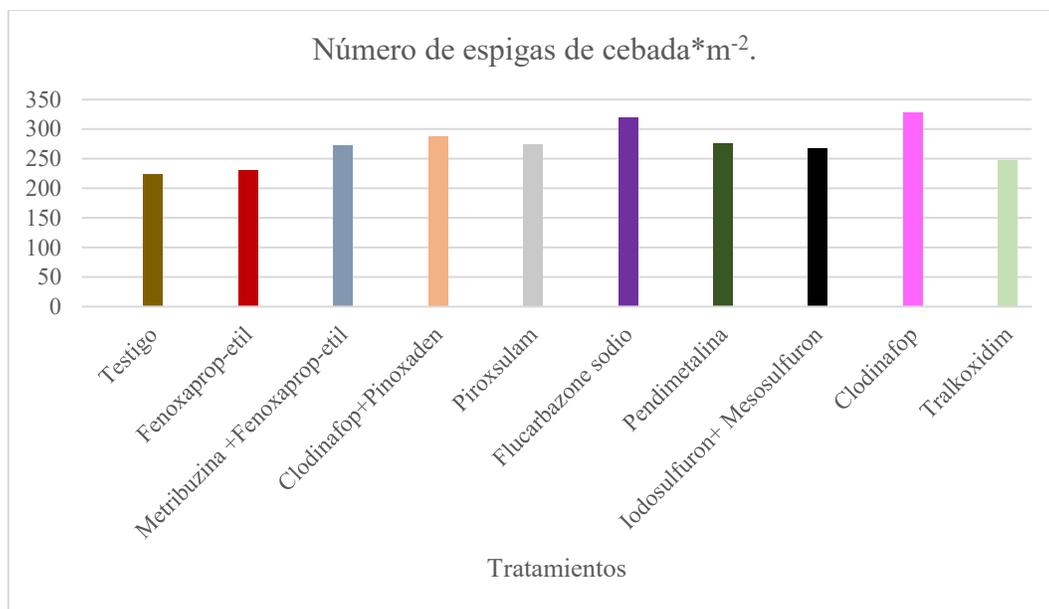


Fig. A7. Número de espigas de cebada*m⁻², obtenido bajo diferentes tratamientos herbicidas.

Tabla A11. Análisis de varianza para el número de espigas de cebada*m⁻² obtenido bajo el tratamiento con diferentes herbicidas.

Número de espigas *m-2						
Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Herbicidas	20067.911	9	2229.768	2.316	0.103	3.020
Error	9626.311	10	962.631			
Total	29694.222	19				

Tabla A12. Comparación de medias para el número de espigas de cebada*m⁻², obtenido bajo diferentes tratamientos herbicidas. (Prueba de Tukey; Alfa=0.05; DMS=122.82247; Error: 962.6311; gl: 10).

Herbicida	Medias	n	E.E.
Testigo (1)	226.93	2	21.94 A
Fenoxaprop-etil (2)	232.27	2	21.94 A
Tralkoxidim (10)	248.80	2	21.94 A
Iodosulfurón + Mesosulfurón (8)	268.27	2	21.94 A
Metribuzina + Fenoxaprop-etil (3)	273.60	2	21.94 A
Piroxsulam (5)	276.27	2	21.94 A
Pendimetalina (7)	279.47	2	21.94 A
Clodinafop + Pinoxaden (4)	287.47	2	21.94 A
Flucarbazone sodio (6)	320.80	2	21.94 A
Clodinafop (9)	328.80	2	21.94 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

c) Granos*espiga⁻¹

Tabla A13. Análisis de varianza para el número de granos de cebada por espiga, obtenido bajo el tratamiento con diferentes herbicidas.

Número de granos*espiga-1						
Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Herbicidas	529.928	9	58.881	8.247	0.001	3.020
Error	71.399	10	7.140			
Total	601.327	19				

Tabla A14. Comparación de medias para el número de granos de cebada contenidos en la espiga, bajo diferentes tratamientos herbicidas. (Prueba de Tukey; Alfa= 0.05; DMS= 10.57779; Error: 7.1399;

gl: 10).

Herbicida	Medias	n	E.E.		
Flucarbazone sodio (6)	10.68	2	1.89	A	
Clodinafop (9)	18.81	2	1.89	A	B
Pendimetalina (7)	19.73	2	1.89	A	B
Clodinafop + Pinoxaden (4)	20.41	2	1.89	A	B
Fenoxaprop-etil (2)	21.04	2	1.89	A	B
Metribuzina + Fenoxaprop-etil (3)	22.20	2	1.89		B
Piroxsulam (5)	24.31	2	1.89		B
Testigo (1)	26.34	2	1.89		B
Tralkoxidim (10)	28.42	2	1.89		B
Iodosulfurón + Mesosulfurón (8)	29.26	2	1.89		B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

d) Peso hectolítrico.

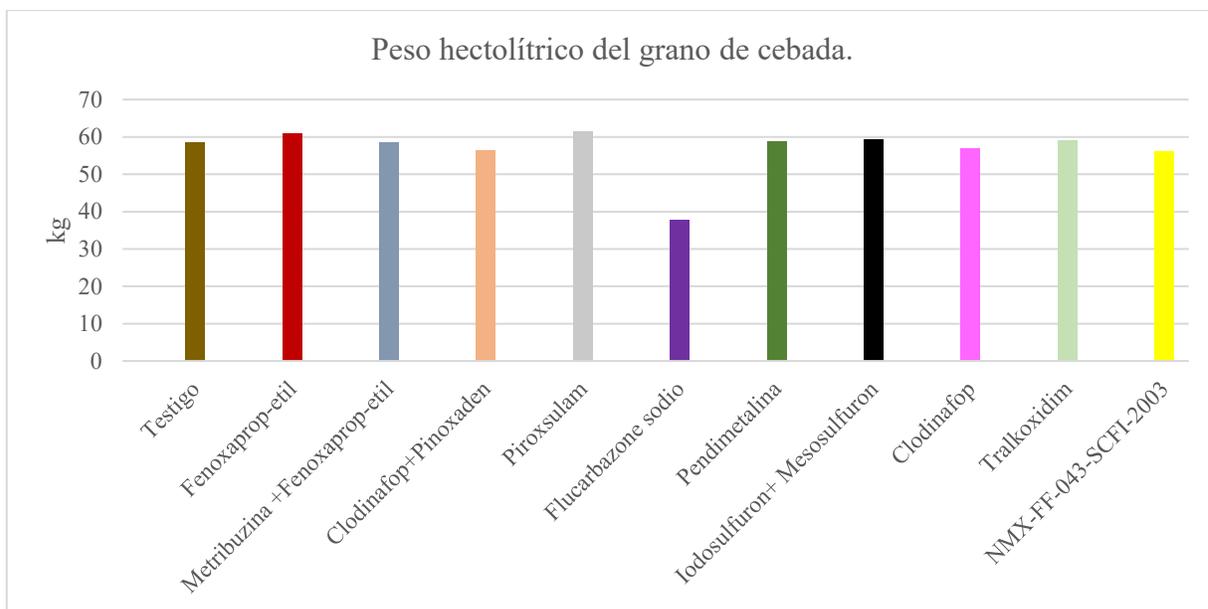


Fig. A10. Peso hectolítico del grano de cebada obtenido con diferentes tratamientos herbicidas comparado con el valor mínimo establecido en la NMX-FF-043-SCFI-2003 para el grano de clase 1.

Tabla A15. Análisis de varianza para el peso hectolítico (kg) del grano de cebada, obtenido bajo diferentes tratamientos herbicidas.

Peso hectolítico en kg						
Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Herbicidas	693.070	9	77.008	2.027	0.143	3.020
Error	379.983	10	37.998			
Total	1073.053	19				

Tabla A16. Comparación de medias para el peso hectolítico del grano de cebada (kg), obtenido bajo diferentes tratamientos herbicidas. (Prueba de Tukey; Alfa=0.05; DMS= 24.40226; Error: 37.9983; gl: 10).

Tratamiento	Medias	n	E.E.	
Flucarbazone sodio (6)	39.82	2	4.36	A
Clodinafop + Pinoxaden (4)	56.39	2	4.36	A
Clodinafop (9)	56.95	2	4.36	A
Metribuzina + Fenoxaprop-etil (3)	58.49	2	4.36	A
Testigo (1)	58.60	2	4.36	A
Pendimetalina (7)	58.67	2	4.36	A
Tralkoxidim (10)	58.98	2	4.36	A
Iodosulfurón + Mesosulfurón (8)	59.42	2	4.36	A
Fenoxaprop-etil (2)	60.88	2	4.36	A
Piroxsulam (5)	61.33	2	4.36	A

-Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

8. Bibliografía.

▯ AMSDA, 2003. Plan rector sistema nacional cebada. [En línea]

Available at: <http://www.amsda.com.mx/> [Último acceso: 11 octubre 2014].

- *Asfaw S, 2016. FAO. [En línea]*

Available at: <http://www.fao.org/3/a-i5299e.pdf> [Último acceso: 03 febrero 2016].

- *Ayala D, 2016. Bonos de carbono, Ciudad de México.*
- *Azimzadeh S, 2012. Conservation tillage in mediterranean climate (a review). Advances in environmental biology. pp. 1880-1890.*
- *Banco Mundial, 2012. Climate-smart agriculture- a call to action. [En línea]*
Available at:
http://www.worldbank.org/content/dam/Worldbank/document/CSA_Brochure_web_WB.pdf [Último acceso: 09 noviembre 2015].
- *Blanco G, 2014. Drivers, trends and mitigation. fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change. Cambridge, England; New York, United States.*
- *CANIMOLT, 2015. Cámara nacional de la industria molinera de trigo. [En línea]*
Available at: <http://www.canimolt.org/home> [Último acceso: 11 octubre 2015].
- *CANIMOLT, 2014. Reporte estadístico 2014. Ciudad de México.*
- *CIMMYT, 2013. Programa de intensificación sustentable. [En línea]*
Available at: <http://conservacion.cimmyt.org/index.php/es/promaf> [Último acceso: 22 diciembre 2015].
- *COFEPRIS, 2010. Comisión Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios. [En línea]. Available at:*
<http://www.cofepris.gob.mx/AZ/Paginas/Plaguicidas%20y%20Fertilizantes/CatalogoPlaguicidas.aspx> [Último acceso: 30 abril 2016].
- *CONABIO, 2012. Biodiversidad mexicana. [En línea]. Available at:*
<http://www.biodiversidad.gob.mx/genes/centrosOrigen/centrosPlantas1.html>
[Último acceso: 13 diciembre 2015].
- *CONABIO, 2012. Malezas de México. [En línea]. Available at:*
<http://www.conabio.gob.mx/malezasdemexico/2inicio/home-malezas-mexico.htm>
[Último acceso: 1 febrero 2016].

- CONAFOR, 2009. *Inventario nacional forestal y de suelos México 2004-2009*. Zapopan, Jalisco. Comisión Nacional Forestal.
- De la Vega R. G., 2009. *Proteínas de la harina de trigo: Clasificación y propiedades funcionales*. *Temas de ciencia y tecnología*. Agosto. vol. 13 no.38 pp. 27-32.
- Duke S., 2015. *Proving allelopathy in crop–weed interactions*. [En línea] Available at: <http://wssajournals.org/doi/pdf/10.1614/WS-D-13-00130.1> [Último acceso: 09 julio 2016].
- EWRS, 2015. *European Weed Research Society*. [En línea] Available at: http://www.ewrs.org/doc/17th_EWRS_Symposium_Proceedings_Montpellier_France_2015.pdf [Último acceso: 30 abril 2016].
- FAO, 2006. *Normas internacionales para medidas fitosanitarias 1 a 24*. Roma. Secretaría de la Convención Internacional de Protección Fitosanitaria.
- FAO, 2014^a. *Noticias sobre el cambio climático*. [En línea] Available at: <http://www.fao.org/home/es/> [Último acceso: 2 febrero 2016].
- FAO, 2015^b. *The extra benefits of legumes-before-wheat*, Roma.
- FAO, 2015^c. *Cambio climático*. [En línea] Available at: <http://www.fao.org/climatechange/49361/es/> [Último acceso: 2 febrero 2016].
- FAO, 2015^d. *Agriculture and consumer protection department*. [En línea] Available at: <http://www.fao.org/ag/ca/> [Último acceso: 15 mayo 2016].
- FAO, 2015^e. *FAOSTAT*. [En línea] Available at: <http://faostat3.fao.org/download/Q/QC/S> [Último acceso: 10 febrero 2016].
- FAO, 2016^f. *Regional office for near east and north Africa*. [En línea] Available at: <http://www.fao.org/neareast/countries/en/> [Último acceso: 13 noviembre 2015].
- FAO, 2016^g. *Save and grow in practice maize, rice, wheat a guide to sustainable cereal production*. [En línea] Available at: <http://www.fao.org/3/a-i4009e.pdf> [Último acceso: 14 marzo 2016].
- FAO, 2016^h. *Mitigación del cambio climático en la agricultura*. [En línea] Available at: <http://www.fao.org/in-action/micca/overview/es/> [Último acceso: 02 febrero 2016].

- *Fernández S. R., 2015. Calidad de la semilla de trigo de temporal en función del ambiente de producción. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas. vol.6 núm.6 pp. 1239-1251.*
- *FIRA, 2014. Red de valor: cebada maltera del estado de Hidalgo. [En línea] Available at: <https://www.fira.gob.mx/OportunidadNeg/DetalleOportunida.jsp?Detalle=33> [Último acceso: 04 mayo 2016].*
- *Fontana L, 2014. Producción y calidad del forraje de alfalfa con gramíneas megatérmicas en el año de implantación. Semiárida-UNLPam. vol. 24(2). pp.21-29.*
- *Grewer U, 2016. FAO. [En línea] Available at: http://www.fao.org/fileadmin/templates/ex_act/pdf/Technical_guidelines/EXACT_Quick_Guidance_Final_Draft_3.pdf [Último acceso: 15 junio 2016].*
- *Grupo Banco Mundial, 2015. Financiamiento climático: Panorama general. [En línea] Available at: <http://www.bancomundial.org/es/topic/climatefinance/overview> [Último acceso: 18 diciembre 2015].*
- *HRAC, 2015. Herbicide Resistance Action Committee. [En línea] Available at: <http://www.hracglobal.com/pages/classificationofherbicidesiteofaction.aspx> [Último acceso: 3 03 2016].*
- *INECC, 2010. Cambio Climático en México. [En línea] Available at: <http://cambioclimatico.inecc.gob.mx/sectprivcc/mercadobonoscarbono.html> [Último acceso: 1 02 2016].*
- *INECC, 2012. Lucha contra la desertificación y el calentamiento global. [En línea] Available at: <http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones/libros/437/chapela.html> [Último acceso: 4 enero 2016].*
- *INIFAP, 2008. Guía para producir semilla de cebada maltera en surcos en el Bajío, Celaya, Guanajuato. INIFAP*
- *IPCC, 2014. Climate change 2014: Mitigation of climate change. [En línea] Available at: <http://www.ipcc.ch/report/ar5/wg3/> [Último acceso: 15 diciembre 2015].*
- *Kassam A., Friedrich, T., Derpsch, R.; 2010. Conservation agriculture in the 21st century. [En línea] Available at:*

http://www.fao.org/AG/CA/CA-Publications/ECAF_congress_Madrid_2010.pdf

[Último acceso: 04 julio 2015].

- Kleemann, S., Preston, C., Gill, G.; 2016. *WSSA Weed Science Society of América*. [En línea] Available at: [http://wssajournals.org/doi/full/10.1614/WS-D-15-00119.1?=&](http://wssajournals.org/doi/full/10.1614/WS-D-15-00119.1?) [Último acceso: 09 julio 2016].
- López H. J., Galván L. R., Reyes, G. A.; 2008. *Trigo y otros cereales de grano pequeño, Durango*.
- Maldonado G., 2009. *Anatomía de monocotiledóneas*. [En línea]
- Available at: <http://es.slideshare.net/vinamielato/9-monocotiledoneas-glumiflorales>
- [Último acceso: 11 febrero 2016].
- Nichols V., Verhulst N., Cox R., Govaerts, B.; 2015. *Weed dynamics and conservation agriculture principles: A review*. *Field Crops Research*, pp. 56-68.
- Palm C., 2013. *Conservation agriculture and ecosystem services: An overview*. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. vol. 187 pp. 87-105.
- Qingyan Z., 2007. *Action mechanisms of acetolactate synthase-inhibiting herbicides*. *Pesticide Biochemistry and Physiology*. pp.89-96.
- Ramírez V. J., 2016. *Evaluación de variedades y líneas uniformes de trigo harinero de temporal en Valles Altos*. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. vol. 7 núm. 3 pp. 655-667.
- Ramírez N. U., 2014. *Manejo agronómico de cebada maltera. rendimiento de semilla y componentes*. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*. vol. 2 pp. 24-29.
- Rosales R. E., Sánchez C. R.; 2006. *Clasificación y uso de los herbicidas por su modo de acción*. *Río Bravo*. INIFAP.
- SAGARPA, 2014. *SIAP*. [En línea] Available at: <http://www.siap.gob.mx/cierre-de-la-produccion-agricola-por-estado/> [Último acceso: 10 febrero 2016].
- SAGARPA, 2015. *OEIDRUS Baja California.gob.mx*. [En línea] Available at: http://www.oeidrus-bc.gob.mx/oeidrus_bca/ [Último acceso: 3 diciembre 2015].

- SAGARPA-SNICS, 2015. *Graphic handbook for variety description in wheat (Triticum spp.)*. [En línea] Available at: http://snics.sagarpa.gob.mx/dov/Documents/Manuales/MG_Trigo.pdf [Último acceso: 15 febrero 2016].
- Sandoval E. M., 2003. *El secuestro de carbono en la agricultura y su importancia con el calentamiento global. Theoria. vol. 12 pp. 65-71.*
- SEMARNAT, 2010. *Compendio de estadísticas ambientales*. [En línea] Available at: http://aplicaciones.semarnat.gob.mx/estadisticas/compendio2010/10.100.13.5_8080/ibi_apps/WFServlet7e34.html [Último acceso: 12 junio 2016].
- SEMARNAT, 2011. *Comisión Nacional Forestal*. [En línea] Available at: <http://www.conafor.gob.mx:8080/documentos/docs/6/2144Resumen%20de%20Asignaci%c3%b3n.pdf> [Último acceso: 2016 marzo 02].
- SEMARNAT, 2012. *Informe de la situación del medio ambiente en México-Compendio de estadísticas ambientales indicadores clave y desempeño ambiental. Edición 2012. México: Dirección General de Estadística e Información Ambiental.*
- SIAP, 2015. *Atlas agroalimentario 2015*. [En línea] Available at: http://nube.siap.gob.mx/publicaciones_siap/#section2014 [Último acceso: 12 abril 2016].
- SNICS, 2016. *Catálogo nacional de variedades vegetales, México.*
- Solís M. E., 2009. *Respuesta de variedades de trigo al riego restringido en el Bajío. Celaya, Guanajuato, México. INIFAP.*
- Sosa C. V., 2009. *Programa de pago por servicios ambientales. Ciudad de México.*
- Swanton C. J., Nkoa R., Blackshaw, R. E.; 2015. *Experimental methods for crop-weed competition studies. Weed Science Society of America. pp. 2-11.*
- Tamayo E. L., 2011. *Manejo integrado de maleza. Agronomía del trigo en el sur de Sonora. Ciudad Obregón, Sonora, México. INIFAP pp. 93-128.*
- UNFCCC, 2005. [En línea] Available at: <http://unfccc.int/resource/docs/2005/cmp1/eng/08a02.pdf#page=17> [Último acceso: 3 febrero 2016].

- UNFCCC, 2014. *International Emissions Trading*. [En línea] Available at: http://unfccc.int/kyoto_protocol/mechanisms/emissions_trading/items/2731.php [Último acceso: 3 febrero 2016].
- UPV Universidad Politécnica de Valencia, 2015. *Familia Gramineas (Gramineae)*. [En línea] Available at: <http://www.euita.upv.es/varios/biologia/Temas%20Angiospermas/Comenilidas/Gramineas.htm> [Último acceso: 15 febrero 2016].
- Verhulst, N., Sayré, K. & Govaerts, B., 2012. *Manual de determinación de rendimiento*. Distrito Federal, México. CIMMYT.
- Zita P.G., 2012. *Resistencia de malas hierbas a herbicidas inhibidores de la enzima ACCasa*. Córdoba: Servicio de Publicaciones de la Universidad de Córdoba.
- Zita P. G., Esqueda E. V., Bojórquez, B. G., Rosales R. E.; 2011. *Manejo de malezas en México vol.1: Maleza terrestre*. México: Universidad Autónoma De Sinaloa.