



COLEGIO DE POSTGRADUADOS
INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS MONTECILLO

POSTGRADO DE EDAFOLOGÍA

**EVALUACIÓN DE TRES GENOTIPOS DE
CEBADA MALTERA EN EL ESTADO DE
HIDALGO**

RENÉ GÓMEZ MERCADO

T E S I S

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER
EL GRADO DE

DOCTOR EN CIENCIAS

MONTECILLO, TEXCOCO, EDO. DE MÉXICO

2008

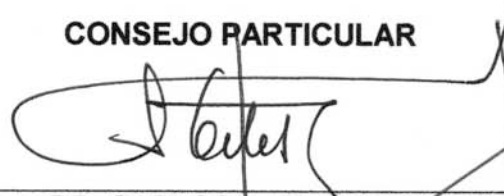
La presente tesis, titulada: **EVALUACIÓN DE TRES GENOTIPOS DE CEBADA MALTERA EN EL ESTADO DE HIDALGO**, realizada por el alumno: **RENÉ GÓMEZ MERCADO**, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

DOCTOR EN CIENCIAS

EDAFOLOGÍA

CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO



DR. CARLOS A. ORTIZ SOLORIO

ASESOR



DR. MAURO ZAMORA DÍAZ

ASESOR



DR. JESÚS SORIA RUIZ

ASESOR



DR. ANTONIO TRINIDAD SANTOS

ASESOR



DR. AQUILES CARBALLO CARBALLO

Montecillo, Texcoco, México, julio de 2008

EVALUACIÓN DE TRES GENOTIPOS DE CEBADA MALTERA EN EL ESTADO DE HIDALGO

René Gómez Mercado, Dr.

Colegio de Postgraduados, 2008

Los modelos de simulación para establecer el rendimiento de cultivos requieren de información no siempre disponible para cubrir los requerimientos de predicción, que explican de manera teórica los fenómenos que influyen en el rendimiento. La información faltante se refiere al tipo de cultivares (fenología, fisiología y genética) y su interacción con el clima y los suelos. El objetivo del presente estudio fue simular el crecimiento, desarrollo y rendimiento, para evaluar la producción de materia seca y su relación con el rendimiento y determinar diferencias entre genotipos por medio del uso de modelos de simulación dinámica como una herramienta de investigación. La metodología propuesta parte del método de la FAO para estimar el rendimiento con base a variables de clima y planta; continua con el estudio de la relación de la materia seca inicial y el rendimiento; y realizar la determinación de diferencias entre genotipos con base a sus factores de repartición; finalmente se genera y utiliza un modelo de simulación dinámico con el fin de evaluar los genotipos a un mismo nivel durante el proceso de crecimiento y estudiar en forma conjunta todos los órganos de la planta. El método FAO estima los rendimientos razonablemente para grandes regiones, pero para microregiones no. Existe una tendencia que establece que a mayor materia seca inicial, el rendimiento se incrementa. La acumulación de materia seca en los órganos reproductivos en las primeras etapas de desarrollo, es fundamental para el incremento del rendimiento. Los modelos de simulación dinámicos distinguieron las diferencias entre genotipos y el peso seco de cada órgano.

Palabras clave: *Materia seca, modelos de simulación, Hordeum vulgare.*

EVALUATION OF THREE BARLEY GENOTYPES IN THE HIDALGO STATE

René Gómez Mercado, Dr.

Colegio de Postgraduados, 2008

For application of simulation models to establish the yield of crops, not always have all require of information to cover the computational prediction requirements that it explain in a theoretical way the factors that influence in the yield. The information not aviable refers to the genotypes (phenology, physiology and genetics) and its interaction with the climate and the Soils. The objective of the present study was to simulate the growth, development and yield, to evaluate the production of dry matter and its relationship with the yield and to determine differences among genotypes by means of the use of dynamic simulation models as an research tool. The proposed methodology leaves of the FAO method to estimate the yield with base to climate and plants variables; continuous with the study of the relationship between initial dry matter and the yield; and to carry out the determination of differences among genotypes with base to their partitioning factors; finally it was generated and used a dynamic simulation model with the purpose to evaluate the genotypes to oneself level during the process of growth and to study in combined form all the organs of the plant. The FAO method estimates the yields with reasonable accuracy for large regions, but not for small regions. It was found a tendency, that is with more initial dry matter, the yield is increased. The accumulation of dry matter in the reproductive organs in the first development stages, is fundamental for the increment of the yield. Dynamic simulation models distinguished the differences between genotypes and the dry weight of each organ.

Words key: Dry matter, simulation models, *Hordeum vulgare*.

AGRADECIMIENTOS

Al Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, por brindarme la oportunidad de continuar con mi formación profesional.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, por el apoyo económico otorgado para la realización de mis estudio.

A la Industria Maltera – Cervecera por el apoyo económico otorgado para la realización del proyecto de investigación.

Al Dr. Carlos A. Ortiz Solorio por la valiosa orientación y enseñanza durante el desarrollo de mis estudios, el apoyo incondicional y por la dirección y revisión al presente documento. Con un reconocimiento muy especial al mejor Maestro que he tenido en mi formación académica y profesional.

Al Dr. Mauro Zamora por su enseñanza, revisión y sugerencias a este escrito. Reconociendo su apoyo y amistad que me otorgó en todo momento.

Al Dr. Jesús Soria Ruiz por su amistad, sus valiosos consejos y por la revisión y sugerencias al presente documento.

Al Dr. Antonio Trinidad Santos por lo atinado de sus comentarios para la revisión de del presente documento.

Al Dr. Aquiles Carballo Carballo por el apoyo moral que me otorgó y por la revisión y sugerencias al presente documento.

A mi equipo de trabajo más cercano: Eduardo, Miguel y Fran, reconociendo todo el apoyo incondicional que otorgaron en todo momento.

A todo el Personal del INIFAP – Hidalgo, parte importante para la realización de mis estudios de doctorado.

A Todas aquellas personas que de uno u otro modo colaboraron para el cumplimiento mis metas y que quizás escapan de mi mente.

DEDICATORIA

A **Dios** y a **Jesucristo** por todo lo que me han dado en la vida y por la transformación que han hecho en mi, a pesar de mi.

A mis Padres **Gloria y Ramón**, con todo mi amor y reconocimiento, pues con su ejemplo me han impulsado en cada proceso de formación de mi vida profesional y sentimental.

A mi Esposa **Dicla** por su apoyo, comprensión y amor que me da en cada momento de mi vida.

A mis Hijos **Paola Carolina y René Alejandro**, porque han sido y serán la fuente inagotable de inspiración en mi desarrollo académico y por la eterna alegría y orgullo que dan en mi vida.

A mi Hermano **Abdiel** y su esposa **Olga**, por su apoyo moral y espiritual que he recibido a cada instante.

A mi Hermano **Ramón**, por su apoyo que recibí y que sé que siempre lo tendré en toda mi vida.

A mis Hermanos **Uriel, Ada y Job**, porque con sus acciones me han enseñado que el amor aún sin palabras, esta presente entre nosotros.

CONTENIDO

	Página
INTRODUCCIÓN GENERAL.	.. 1
CAPÍTULO I. ESTIMACIÓN DEL RENDIMIENTO DE CEBADA MALTERA DE TEMPORAL	... 4
Introducción..	..... 5
Materiales y métodos.	.. 6
Resultados y discusión.	..... 10
Conclusiones	..... 19
Literatura citada	.. 19
CAPITULO II. EVALUACIÓN DE LA MATERIA SECA EN CEBADA MALTERA DE TEMPORAL	... .. 22
Introducción..	..... 23
Materiales y métodos.	..... 25
Resultados y discusión.	..... 29
Conclusiones	..... 48
Literatura citada	..... 49
CAPÍTULO III. COMPARACIÓN DEL DESARROLLO DE TRES GENOTIPOS DE CEBADA A PARTIR DE MODELOS DE SIMULACIÓN DINÁMICA	... .. 51
Introducción..	..... 52
Materiales y métodos.	..... 54
Resultados y discusión.	..... 60
Conclusiones	..... 74
Literatura citada	..... 75
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES GENERALES	.. 78
ANEXO I Descripción de los perfiles de suelos en los sitios experimentales	.. 80

LISTA DE CUADROS

		Página
Cuadro 1.1	Características de las regiones de estudio del estado de Hidalgo, México ...	6
Cuadro 1.2	Fotosíntesis máxima (Pm) $\text{kg ha}^{-1} \text{h}^{-1}$ de CH_2O , como función de la temperatura (T) media del ciclo para el cultivo de cebada (FAO, 2000)	9
Cuadro 1.3	Niveles de inversión, IAF y IC para el cultivo de cebada (FAO, 2000).....	9
Cuadro 1.4	Variables determinadas en los experimentos de campo en tres localidades de Hidalgo y tres genotipos de cebada.....	11
Cuadro 1.5	Fenología de la cebada en tres localidades del estado de Hidalgo (ciclo primavera – verano de 2006) ...	11
Cuadro 1.6	Resultados de R_g , R_A , A_c , b_c , b_o y Pm del ciclo julio – octubre 2006 de tres localidades de Hidalgo, México	12
Cuadro 1.7	Cálculo de la tasa máxima de producción (bgm) de tres localidades de Hidalgo, México	13
Cuadro 1.8	Cálculo de la Biomasa neta (Bn) y el rendimiento de tres localidades de Hidalgo, México	13
Cuadro 1.9	Cálculo de IAF, IC y Rendimiento de grano a partir de los datos experimentales de cada localidad en estudio ..	14
Cuadro 1.10	Comparación de biomasa neta (Bn) y rendimiento de grano estimada vs rendimiento experimental	15
Cuadro 1.11	Ajuste de rendimientos estimados, obtención del factor de ajuste y % variación de las regiones y genotipos utilizados ..	16
Cuadro 1.12	Factores de ajuste obtenidos con los promedios de FAO y de los rendimientos estimados y la DE obtenida en parcelas experimentales ...	17
Cuadro 2.1	Materia seca inicial determinada en los experimentos de invernadero en suelos de tres localidades de Hidalgo y tres genotipos de cebada ..	29
Cuadro 2.2	Promedios por localidad de MSI y rendimiento de tres localidades de Hidalgo, México .	31
Cuadro 2.3	Resultados del experimento de MSI en el cultivar Esmeralda en siete regiones del estado de Hidalgo, México	32
Cuadro 2.4	Precipitación pluvial anual (PP), temperatura media anual (Tm) y cociente PP / T_m de siete regiones de Hidalgo de los años 2003, 2005 y 2006	35
Cuadro 2.5	Materia seca (MS) acumulada de tres genotipos en tres localidades de Hidalgo ($\text{g en } 0.09 \text{ m}^2$) .	37
Cuadro 2.6	Cálculo de tasa de acumulación de MS y factores de repartición (FDR) de la Línea M – 152 A, en Villa de Tezontepec, Hidalgo, México	38
Cuadro 2.7	Ajustes de congruencia de los FDR e interpolación a valores fijos de las EMD de la Línea M–152 A en Villa de Tezontepec, Hidalgo	40
Cuadro 2.8	Valores de los FDR de la Línea M – 152 A en tres localidades de Hidalgo .	40
Cuadro 2.9	Factores de repartición de la Línea M – 152 A, promedio en Hidalgo	40

LISTA DE CUADROS

Cuadro 2.10	Factores de repartición del cultivar Esmeralda, promedio en Hidalgo	41
Cuadro 2.11	Factores de repartición del cultivar Adabella, promedio en Hidalgo	42
Cuadro 2.12	Factor de repartición de la raíz FR de tres genotipos evaluados en Hidalgo	43
Cuadro 2.13	Factor repartición de la hoja FH de tres genotipos evaluados en Hidalgo	44
Cuadro 2.14	Factor repartición del tallo FR de tres genotipos evaluados en Hidalgo	46
Cuadro 2.15	Factor repartición del grano FG de tres genotipos evaluados en Hidalgo	47
Cuadro 3.1	Datos decenales de las variables climáticas requeridas para el modelo de simulación ..	61
Cuadro 3.2	Producción potencial de materia seca (Fgs) y factor de reducción de tres genotipos de cebada en tres localidades del estado de Hidalgo, México. Ciclo P-V 2006 ..	62
Cuadro 3.3	Procedimiento del cálculo de rendimientos potenciales de cebada variedad Esmeralda, en la localidad de Villa de Tezontepec, Hidalgo. México, ajustada por plantas por hectárea y área foliar específica (AFE)	63
Cuadro 3.4	Procedimiento del cálculo de rendimientos potenciales de cebada variedad Esmeralda, en la localidad de Apan, Hidalgo. México, ajustado por plantas por hectárea y área foliar específica (AFE).....	64
Cuadro 3.5	Procedimiento del cálculo de rendimientos potenciales de cebada variedad Esmeralda, en la localidad de Almoloya, Hidalgo. México, ajustado por plantas por hectárea y área foliar específica (AFE).....	65
Cuadro 3.6	Rendimientos experimentales y estimados de tres genotipos en tres localidades y sus diferencias en el estado de Hidalgo, México. Ciclo P-V 2006 ..	67
Cuadro 3.7	Valores finales de los factores área foliar específica (AFE) y densidad de población a la emergencia (DPE) que se utilizaron para el ajuste al modelo dinámico utilizado ..	68
Cuadro 3.8	Peso seco promedio por órgano del cultivar Esmeralda en el estado de Hidalgo. México. ..	69
Cuadro 3.9	Peso seco promedio por órgano del cultivar Adabella en el estado de Hidalgo. México ..	69
Cuadro 3.10	Peso seco promedio por órgano de la Línea M – 152 A en el estado de Hidalgo. México ..	70

LISTA DE FIGURAS

		Página
Figura 1.1	Ecuación de regresión entre el factor de ajuste del método de la FAO y la DE	18
Figura 1.2	Ecuación de regresión entre el factor de ajuste de la media de los Rendimientos Estimados y la DE	18
Figura 2.1	Ecuación de regresión entre la MSI de hoja y el rendimiento	29
Figura 2.2	Ecuación de regresión entre la MSI de raíz y el rendimiento	30
Figura 2.3	Ecuación de regresión entre la MSI total y el rendimiento	30
Figura 2.4	Ecuaciones de regresión entre la MSI total y el rendimiento de tres años en Hidalgo, México	33
Figura 2.5	Relación entre el rendimiento y la Tm de tres años en Hidalgo, México	35
Figura 2.6	Relación entre la MSI total y el rendimiento de 2003 y 2005 en Hidalgo, México	36
Figura 2.7	Representación grafica de los FDR (Cuadro 6) de la Línea M – 152 A en Villa de Tezontepec, Hidalgo, México	39
Figura 2.8	Representación grafica de los FDR ajustados (Cuadro 7) de la Línea M – 152 A en Villa de Tezontepec, Hidalgo, México	39
Figura 2.9	Representación grafica de los FDR promedio en Hidalgo de la Línea M – 152 A.	41
Figura 2.10	Representación grafica de los FDR promedio en Hidalgo del cultivar Esmeralda	41
Figura 2.11	Representación grafica de los FDR promedio en Hidalgo del cultivar Adabella	42
Figura 2.12	Análisis de la fracción raíz FR de tres genotipos evaluados en Hidalgo	43
Figura 2.13	Análisis de la fracción hoja FH de tres genotipos evaluados en Hidalgo	45
Figura 2.14	Análisis de la fracción tallo FT de tres genotipos evaluados en Hidalgo	46
Figura 2.15	Análisis de la fracción grano FG de tres genotipos evaluados en Hidalgo	47
Figura 3.1	Comparación de los rendimientos estimado y experimentales de tres genotipos evaluados en Hidalgo	68
Figura 3.2	Análisis gráfico del peso seco de raíz de tres genotipos de cebada maltera	70
Figura 3.3	Análisis gráfico del peso seco de hoja de tres genotipos de cebada maltera	71
Figura 3.4	Análisis gráfico del peso seco del tallo de tres genotipos de cebada maltera	72
Figura 3.5	Análisis gráfico del peso seco de grano de tres genotipos de cebada maltera	73
Figura 3.6	Análisis gráfico del peso seco total de la planta de tres genotipos de cebada maltera	74

INTRODUCCIÓN GENERAL

En México durante el ciclo agrícola primavera - verano 2006 se cultivo cebada de temporal en una superficie total de 275,486 ha, siendo la principal área productora el altiplano central, que abarca los valles altos (2000 – 2800 m) en los estados de Hidalgo, Tlaxcala, Puebla y Estado de México, que representa el 85% de la superficie sembrada a nivel nacional con 235,205 ha (SAGARPA, 2006). El estado de Hidalgo fue el primer lugar en superficie y producción durante este ciclo agrícola (Gómez *et al.*, 2007).

En dicho ciclo y como parte del presente estudio, se realizaron 3 ensayos experimentales con tres genotipos de cebada en el estado de Hidalgo. Los sitios experimentales presentan una temperatura media anual que varía de 12 ° a 16° C, y sus suelos de acuerdo a la Taxonómica de Suelos (2006) se clasificaron como: Lithic Haplustoll, Typic Eutrudepts y Typic Haplustoll; y de acuerdo a WRB (2006) como: Chernozems epiléptico, Cambisol háplico – eútrico y Phaozems epiléptico para Villa de Tezontepec, Almoloya y Apan, Hidalgo, respectivamente. Presentan un pH que va desde 5.6 hasta 7.5 y la topografía en su mayor parte tienen pendientes menores a 4%, que facilitan la mecanización de la cebada, predominan los suelos someros (menores de 60 cm). La precipitación pluvial durante el ciclo del cultivo varía desde los 300 mm hasta los 600 mm.

El rendimiento de las plantas pueden verse afectados por factores intrínsecos a la fisiología y la genética, así como a la interacción de los propios componentes fisiológicos con los factores genéticos. También, se ven afectados por factores externos ambientales tales como radiación solar, temperatura, disponibilidad de nutrimentos y humedad del suelo, presencia de maleza, plagas y enfermedades. La

tasa de crecimiento está determinada por la radiación solar y la temperatura, siempre y cuando los demás factores no sean una limitante (Nieves, 1995).

De acuerdo con el método de la FAO (2000), la producción de biomasa parte de la fotosíntesis, es decir, con la energía solar (Radiación), agua y temperatura, que dentro de la planta la convierte en fotosintetizados, que dan origen la formación de raíces, tallo, hojas y frutos en diferentes porcentajes o fracciones.

Para conocer anticipadamente el rendimiento de cultivos, se han utilizado desde modelos simples empíricos y complejos para la simulación y predicción de rendimientos como el método de la FAO (Nieves, 1995), el uso de parámetros como el índice de área foliar (Medina *et al.*, 2003) y el uso de índices de vegetación (NDVI) y Unidades calor (UC) por medio de sensores remotos (Soria, 1999). Sin embargo, estos modelos pueden ser utilizados también para la interpretación de resultados, como una herramienta para la investigación agrícola y para el establecimiento y desarrollo de cultivos (Hernández, 1991).

El presente trabajo tiene como propósito el simular el crecimiento, desarrollo y rendimiento del cultivo de cebada maltera, para evaluar la producción de materia seca y su relación con el rendimiento y determinar diferencias entre genotipos por medio del uso de modelos de simulación dinámica como una herramienta de investigación.

La estructura de este documento consta de tres capítulos independientes: I. Estimación del rendimiento de cebada maltera de temporal, que tiene como propósito evaluar el método de la FAO para estimar de manera razonable el rendimiento de cebada; II. Evaluación de la materia seca en cebada maltera de temporal, que tuvo como propósito el encontrar una relación entre la materia seca inicial (al momento de la emergencia de la plúmula y la radícula que crece con las

reservas de la semilla) y el rendimiento, así como analizar y determinar diferencias de los factores de repartición de los genotipos evaluados; y III. Comparación del desarrollo de tres genotipos de cebada a partir de modelos de simulación dinámica, que tuvo como objetivo el comparar genotipos de cebada con un modelo de simulación dinámico que permitiera evaluarlos de manera integral y determinar entre ellos las causas de las diferencias.

LITERATURA CITADA

- Gómez M, R., J. P. Pérez C., A. Magallanes E., V. Rueda G., T Lozada F., M. Benavides J., H. Monroy R., M. A. Meneses L., E. Reyes C., A. Hernández T. y R. A. Arias C. 2007. Diagnostico de Producción y Rentabilidad de Cebada Grano Temporal en el Estado de Hidalgo del Ciclo Primavera Verano 2006.
- Hernández, M. J. A. 1991. Validación del modelo CERES – MAICE en diferentes fechas de siembra en Apodaca, N. L. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados. Montecillos, Estado de México.
- INIFAP. 2000. Informe del Programa Nacional de cebada Maltera 1997-2000. SAGAR-INIFAP. Chapingo, México.
- Medina, G. G. *et al.* 2003. Sistema de Monitoreo Climático y Predicción de Cosechas para el estado de Zacatecas: Avances. In: Simposio Binacional de Modelaje y Sensores Remotos en Agricultura Ed. Alba, A. A., L. Reyes M. y M. Tiscareño L. Aguascalientes, Ags., México. 3 y 4 de Junio de 2003.
- Nieves, F. J. L. 1995. Modelos de simulación para la estimación del rendimiento potencial del cultivo del maíz en el Ejido de Atenco, México. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Estado de México.
- SAGARPA-SIAP. 2007. Estadística básica Agrícola. Serie Histórica. <http://www.siap.gob.mx>. Disponible al 25 de abril de 2008.
- Soria, R. J. 1999. Determinación de sitios de ocurrencia y estimación de rendimientos de maíz (*Zea mays* L.) a través de sensores remotos. Tesis Doctoral. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Estado de México.
- USDA. 2006. Claves para la Taxonomía de Suelos Departamento de Agricultura de los Estados Unidos. Servicio de Conservación de Recursos Naturales. Décima Edición. Traducción de: Carlos A. Ortiz S. y M. C. Gutiérrez C. Colegio de postgraduados, Montecillo, Texcoco, Estado de México. 56230.
- ISSS – AISS –IBG. ISRIC. FAO. 2006. World Referente Base for Soil Resources. Wageningen/Rome.

**CAPÍTULO I. ESTIMACIÓN DEL RENDIMIENTO DE CEBADA
MALTERA DE TEMPORAL.**

CAPÍTULO I. ESTIMACIÓN DEL RENDIMIENTO DE CEBADA MALTERA DE TEMPORAL.

INTRODUCCIÓN

La cebada se siembra principalmente, para cosechar su grano y utilizar su grano en la elaboración de malta, y para ello requiere índices de calidad industrial, que estén determinados por las cualidades genéticas, manejo, suelo y cantidad y distribución de la precipitación. Las características genéticas y el manejo agronómico son variables que pueden controlarse, pero algunas propiedades del suelo y lluvia son factores incontrolables, que resultan determinantes para obtener un buen rendimiento y una buena calidad de grano para malta (Gómez *et al.*, 2001).

La diferencia climática y de suelo para producir cultivos, hace más complejo obtener tecnología y en consecuencia crea modelos de simulación que tengan un mejor ajuste y estimen los rendimientos de acuerdo a la fluctuación que existe entre los diferentes ambientes (Ortiz *et al.*, 2005; Benmoussa *et al.*, 2005). Bajo este principio, el cultivo de la cebada no escapa a esa variación, además de tener un ciclo de cultivo corto y de requerimientos hídricos menores que otros cultivos, como el maíz, el trigo y la avena (Castañeda *et al.*, 2004).

De manera general, los modelos de simulación de rendimientos se clasifican en simples y complejos. Los primeros se relacionan con el clima, la biomasa y el índice de área foliar (Tinoco *et al.*, 2003; Gómez *et al.*, 2003; Torres *et al.*, 2005); los segundos, involucran estas variables, pero incluyen aspectos genéticos y del suelo (Ovalle *et al.*, 2005).

El índice de área foliar (IAF) es una variable determinante en los modelos de predicción de rendimiento que permite la estimar el rendimiento de cultivos (Loke y Soós, 2002).

Para simular y predecir el rendimiento, se han utilizado desde modelos simples empíricos hasta los complejos (Ortiz *et al.*, 2005; Castellano *et al.*, 2006). Sin embargo, al tratar de simular el rendimiento de cultivos no existe información para cubrir los requerimientos de la mayoría de los modelos, que explican de manera teórica, los fenómenos que influyen en el rendimiento. Los modelos empíricos son más simples, pero no aclaran los procesos que ocurren para obtener rendimientos. La información no disponible se refiere al tipo de cultivares (fenología, fisiología y genética) y cómo interactúa con el clima y los suelos (Barrales *et al.*, 2004).

El propósito de este trabajo fue determinar un modelo que simule adecuadamente el rendimiento de cebada maltera para el estado de Hidalgo, con base en variables de planta y clima, sustentado en el método propuesto por la Organización para la Alimentación y la Agricultura (FAO, 2000).

La Hipótesis a comprobar fue: El método propuesto por la FAO simula de manera acertada el rendimiento de cebada en Hidalgo.

MATERIALES Y MÉTODOS

La presente investigación se realizó en tres regiones del estado de Hidalgo donde se siembra cebada maltera; en cada región se instaló un experimento que permitiera explorar ámbitos diferentes de producción en altitud y temperatura media anual, por lo que se eligieron tres localidades representativas (Cuadro 1.1).

Cuadro 1.1 Características de las regiones de estudio del estado de Hidalgo, México.

Región	Localidad	Latitud	Precipitación mm (Ciclo)	Altitud (m)	Temperatura media anual
1	Almoloya	19° 41' 14.4"	481.2	2730	12.2° C
2	Apan	19° 41' 16.6"	396.6	2547	14.1° C
3	Villa de Tezontepec	19° 54' 12.2"	423.2	2355	15.4° C

Se parte del supuesto que tiene la metodología de la FAO para estimar rendimiento, es decir, se considera que no existen limitaciones en cuanto a la humedad del suelo. La metodología adoptada para realizar la presente investigación constó de tres etapas:

Etapa 1. Determinación de componentes de rendimiento de cebada en las tres regiones del estado. Para ello, se condujeron tres experimentos (Cuadro 1.1), con tres genotipos (Esmeralda, Adabella y M-152A) para obtener su biomasa neta (Bn), índice de Cosecha (IC), densidad de espigas por hectárea (DE) y rendimiento de grano (R). El diseño experimental fue de bloques completos al azar, con 10 repeticiones de cada genotipo (30 parcelas experimentales). Cada unidad experimental constó de cuatro surcos a 0.30 m por 5 m de largo (6 m²). Se obtuvo la Bn, con base en la raíz, el tallo, las hojas y las espigas; el IC se calculó con la relación $IC = \text{Rendimiento de grano} / Bn \text{ total}$; el rendimiento de grano se calculó de acuerdo con Gómez *et al.*, 2003, con la ecuación $R = PMC * (100 - PHG) / 86.5 * FC$, donde R= Rendimiento del grano en kg/ha 13.5 de humedad, PMC= Peso de la muestra de campo en kg, PHG= % de humedad del grano y FC= Factor de conversión a ha (10,000 / área muestreada); se cuantificó la densidad de espigas por hectárea (DE); y el índice de área foliar (IAF) se calculó con base en la Bn de hojas y el área foliar específica (AFE) para el cultivo de cebada (FAO, 2000), de acuerdo con la siguiente ecuación: $IAF = (Bn \text{ de hojas}) * (AFE / 10,000)$.

Etapa 2. Aplicación del método FAO. La información climática se obtuvo directamente de las estaciones agroclimáticas automatizadas que se encuentran en cada localidad de estudio, localizado de 2 a 5 km de distancia en línea recta donde

se establecieron los experimentos de campo. Este método se basa en principios ecofisiológicos que consisten en obtener la cantidad total de biomasa neta (Bn) generada por el cultivo y multiplicarla por el índice de cosecha (IC), para obtener el rendimiento estimado (Y), esto es: $Y = Bn \times IC$. Para tener la Bn se calcula la diferencia entre biomasa total (Bg) y las pérdidas por respiración (R), por lo que es necesario calcular la tasa de producción de biomasa neta (bn), con la tasa de producción de biomasa gruesa (bg) y la tasa de respiración r. Es decir, $bn = bg - r$. Se asume que la Bn, durante el ciclo, sigue una curva sigmoideal perfecta y que bn es una curva normal, lo que resulta en una tasa promedio diaria de producción de biomasa neta de la mitad de la tasa de biomasa neta máxima ($0.5 \times bnm$), con lo que se calcula $Bn = 0.5 \times bnm \times N$, donde N es la duración, en días, del ciclo del cultivo. Es necesario generar la tasa máxima de producción de biomasa (bgm), la cual se relaciona con la fotosíntesis máxima (Pm) la que a su vez depende de la temperatura media, el tipo de cultivo (C3 o C4) y la concentración de CO₂ en la atmósfera (Ortiz *et al.*, 2005).

Se calculó bgm con base a la producción de biomasa en días despejados (bc), en días nublados (bo) y la fracción del día en la que el ciclo está nublado (F): $bgm = F \times b_o + (1 - F) \times b_c$, donde $F = (A_c - 0.5 \times R_g) / (0.8 \times A_c)$, R_g es la radiación global y A_c es la radiación fotosintéticamente activa. Los valores de A_c, b_c y b_o se calcularon con modelos que emplean valores de radiación teórica (R_A), se consideró que si se tiene una Pm de 20 kg ha⁻¹ h⁻¹ de CH₂O, entonces $bgm = F \times b_o + (1 - F) \times b_c$; y si es menor que 20, la fórmula cambia a: $bgm = F \times b_o \left(\frac{100 - (x/2)}{100} \right) + (1 - F) \times b_c \times \left(\frac{100 - x}{100} \right)$, donde $x = | (Pm - 20) / 20 | \times 100$.

Por otra parte, la respiración involucra dos procesos: el de crecimiento y el de mantenimiento, que se expresa por la ecuación $Bn = 0.36 \times bgm / \left[(1/N) + (0.25 \times$

Ct)]; donde Ct es el coeficiente de respiración y se obtiene de la ecuación $C_t = C_{30} \times (0.044 + 0.0019 \times T + 0.001 \times T^2)$, con $C_{30} = 0.0283$ para leguminosas y 0.0108 para no leguminosas, T es la temperatura media mensual del ciclo; y N es el número de días del ciclo del cultivo. La expresión matemática de Bn es válida para un IAF > 5; cuando el IAF es < 5, se multiplica por L que es un factor de corrección ($L = 0.3424 + 0.9051 \times \log_{10} \times \text{IAF}$).

La radiación global (Rg) y la temperatura media se obtuvieron de las estaciones agroclimáticas automatizadas. Para el cálculo de fotosíntesis máxima (Pm), se emplearon los datos determinados por FAO (2000) (Cuadro 1.2). Los diversos niveles de inversión empleados para la estimación de rendimientos genera diferentes índices de cosecha (IC) e índices de área foliar máxima (IAF), las cuales se muestran en el Cuadro 1.3 (FAO, 2000). Para realizar las estimaciones de rendimiento con el método FAO, se utilizó la hoja de cálculo de Excel 2003.

Cuadro 1.2 Fotosíntesis máxima (Pm) kg ha⁻¹ h⁻¹ de CH₂O, como función de la temperatura (T) media del ciclo para el cultivo de cebada (FAO, 2000) .

T °C	5	10	15	20	25	30	35	40	45
Pm	5	15	20	20	15	5	0	0	0

Cuadro 1.3 Niveles de inversión, IAF y IC para el cultivo de cebada (FAO, 2000).

Cultivo	Ciclo del cultivo	Grupo del cultivo	Nivel de inversión					
			Alto		Medio		Bajo	
			IAF max	IC	IAF max	IC	IAF max	IC
Cebada	100 días	C3	3.5	0.4	2.5	0.3	1.5	0.2

Etapa 3. Comparación del resultado de Bn y rendimiento estimado por región y genotipo vs rendimiento experimental. Con el esquema de cálculo del libro de Excel se estima el rendimiento con base a la duración del ciclo fenológico, IAF y IC de cada genotipo. Para el cálculo del IAF se utiliza la ecuación $IAF = Bn \text{ de hojas} \times (AFE/10000)$, donde AFE = área foliar específica ($25 \text{ m}^2 \text{ kg}^{-1}$ de hoja para cebada). Se realiza la comparación de los rendimientos estimados y los experimentales por medio de una regresión, para obtener una relación entre ambos rendimientos. Así mismo, se obtiene un cociente por genotipo y región, como factor de ajuste para reducir la variación (porcentaje de sobrestimación y subestimación) entre los rendimientos estimados y experimentales. Finalmente, se busca un cociente con base al promedio de la metodología de la FAO y el promedio de los rendimientos estimados, para obtener una relación con la DE que permita estimar rendimientos en una etapa anticipada a la cosecha (en el espigamiento).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la primera etapa de la metodología utilizada, se obtuvieron los componentes del rendimiento evaluados en campo, en peso seco (Cuadro 1.4). Es conveniente hacer notar que los valores de IAF y Bn fueron mayores en la variedad Adabella, pero sólo en la región 1 se obtuvo el mayor en rendimiento de grano. El genotipo de mayor rendimiento fue M – 152 A, debido al alto valor de IC. Las diferencias de los cultivos observada en campo fue determinante en los resultados obtenidos, como lo afirman Akcura *et al.* (2005).

Cuadro 1.4 Variables determinadas en los experimentos de campo en tres localidades de Hidalgo y tres genotipos de cebada.

Localidad	Cultivar	Bn [†] kg ha ⁻¹	DsE [‡] Núm./ha	IAF [§]	IC [¶]	Rendimiento kg ha ⁻¹
Almoloya	Esmeralda	10990	3976676	3.32	0.406	4462
	Adabella	11485	4641399	4.32	0.414	4755
	M – 152 A	11707	4139942	3.83	0.42	4917
Apan	Esmeralda	7913	3853061	2.43	0.401	3173
	Adabella	7729	3926531	2.65	0.412	3184
	M – 152 A	7844	3983673	2.37	0.417	3271
V. Tezontepec	Esmeralda	5906	3689796	2.72	0.406	2398
	Adabella	6340	3567347	3.14	0.382	2422
	M – 152 A	6426	3551020	2.90	0.426	2738

[†] Bn = Biomasa neta. [‡] DsE = Densidad de espigas. [§] IAF = índice de área foliar. [¶] Hi = índice de cosecha.
[§] Variable estimada con IAF = Bn de hojas x (AFE/10000),
donde AFE = área foliar específica (25 m² kg⁻¹ de hoja para cebada).

Para aplicar la metodología propuesta por la FAO, es necesario conocer la duración del ciclo del cultivo; que se desarrolló en el ciclo primavera – verano de 2006 (Cuadro 1.5).

Cuadro 1.5 Fenología de la cebada en tres localidades del estado de Hidalgo (ciclo primavera – verano de 2006).

Región	Localidad	Genotipo	Fecha de siembra [†]	Emergencia [†]	Madurez fisiológica [†]
1	Almoloya	Esmeralda	186 (julio 5)	193 (7 DDS [‡])	296 (110 DDS)
		Adabella		193 (7 DDS)	300 (114 DDS)
		M – 152 A		193 (7 DDS)	293 (107 DDS)
2	Apan	Esmeralda	167 (junio 16)	175 (8 DDS)	270 (103 DDS)
		Adabella		175 (8 DDS)	275 (108 DDS)
		M – 152 A		175 (8 DDS)	267 (100 DDS)
3	Villa de Tezontepec	Esmeralda	180 (junio 29)	187 (7 DDS)	280 (100 DDS)
		Adabella		187 (7 DDS)	286 (106 DDS)
		M – 152 A		187 (7 DDS)	276 (96 DDS)

[†] Día Juliano [‡] DDS = Días después de la siembra

La duración del ciclo varió de acuerdo con el cultivar; Esmeralda presenta una duración de 100 hasta 110 días, la variedad Adabella desde 105 hasta 114 días, y la línea experimental M – 152 A de 95 a 107 días, debido a las diferentes altitudes de las localidades (Cuadro 1.1).

Los datos climatológicos usados para estimar rendimientos por el método de la FAO, fueron promedios mensuales de cada localidad (Almoloya, de julio a octubre; Apan y V. de Tezontepec, de junio a octubre) de la emergencia a la madurez fisiológica de cada genotipo.

Cuadro 1.6 Resultados de Rg, R_A, A_C, b_C, b_O y Pm del ciclo julio – octubre 2006 de tres localidades de Hidalgo, Mexico.

Variable	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Promedio
Almoloya						
Rg [†]	-	509.5	471.2	467.6	450.4	475
R _A [‡]	-	932	909	849	754	861
A _C [§]	-	388	379	354	314	359
b _C [§]	-	472	460	430	382	436
b _O [§]	-	249	243	227	201	230
T med °C [†]	-	12.1	12.1	12.3	12.1	12.2*
Apan						
Rg [†]	585.9	532.0	521.9	495.0	-	534
R _A [‡]	933	931	909	850	-	906
A _C [§]	389	388	379	354	-	377
b _C [§]	472	471	460	430	-	459
b _O [§]	249	249	243	227	-	242
T med °C [†]	14.1	14.2	14.0	14.1	-	14.1*
V. Tezontepec						
Rg [†]		585.4	551.6	515.5	513.3	541
R _A [‡]		931	909	850	754	861
A _C [§]		388	379	354	314	359
b _C [§]		471	460	430	382	436
b _O [§]		249	243	227	201	230
T med °C [†]		15.6	15.5	15.7	15	15.5*

[†] Radiación global (Rg), T media obtenida de la estación agroclimática automatizada de Almoloya, Hgo.
[‡] R_A = Radiación Teórica obtenida de Torres (1983). [§] Calculado de: A_C = 0.4166 x R_A; b_C = 0.5063 x R_A; b_O = 0.2671 x R_A. * Pm < 20 para Almoloya y Apan y Pm = 20 para Villa de Tezontepec.

Cálculo de la tasa bruta o gruesa de producción de biomasa (bgm), biomasa neta (Bn) y rendimiento de grano.

Se determinó el valor promedio para el ciclo del cultivo de: la radiación global (Rg); radiación teórica (R_A); la radiación fotosintéticamente activa (A_c); la producción fotosintética para días despejados (b_c) y para días nublados (b_o); y la temperatura media. Con base a la temperatura media del ciclo se determinó la fotosíntesis máxima (Pm) kg ha⁻¹ h⁻¹ de CH₂O (Cuadros 1.6).

Se obtuvo la bgm con base a A_c, b_c, b_o, la Rg y la Pm de cada localidad en estudio (Cuadro 1.7).

Cuadro 1.7 Cálculo de la tasa máxima de producción (bgm) de tres localidades de Hidalgo, México.

Localidad	A _c	b _c	b _o	Rg	F ^ϕ	x	bgm ^{††}
Almoloya	359	436	230	475	0.422896845	15	307.89
Apan	377	459	242	534	0.365998361	5	363.33
V. Tezontepec	359	436	230	541	0.306556366	20	373.00

* $F = (A_c - 0.5 \times R_g) / (0.8 \times A_c)$ †† $bgm = F \times b_o \times ((100 - (x/2))/100) + (1 - F) \times b_c \times ((100 - x)/100)$ donde $x = |(Pm - 20)/20| \times 100$ kg/ha/día para $Pm < 20$, y $bgm = F \times b_o + (1 - F) \times b_c$ kg/ha/día para $Pm = 20$

La bgm, se utiliza para el cálculo de la Bn y el rendimiento de grano (Cuadro 1.8).

Cuadro 1.8 Cálculo de la Biomasa neta (Bn) y el rendimiento de tres localidades de Hidalgo, México.

Localidad	IAF*	IC*	bgm	L ^{†††}	ct ^{§§}	Bn ^ϕ	Rendimiento (kg ha ⁻¹) ^{**}
Almoloya	3.5	0.4	307.89	0.8348	0.002094	9496.4	3850
	2.5	0.3	307.89	0.7026	0.002094	7991.9	2430
	1.5	0.2	307.89	0.5018	0.002094	5707.9	1735
Apan	3.5	4.0	363.33	0.8348	0.002596	10719.7	4288
	2.5	3.0	363.33	0.7026	0.002596	9021.4	2706
	1.5	2.0	363.33	0.5018	0.002596	6443.1	1289
V. Tezontepec	3.5	0.40	373	0.8348	0.003085	10401.6	4161
	2.5	0.30	373	0.7026	0.003085	8753.7	2626
	1.5	0.20	373	0.5018	0.003085	6443.1	1250

††† L Factor de corrección cuando IAF < 5, $L = 0.3424 + 0.9051 \times \log_{10} x$ (IAF);

§§ Coeficiente de respiración, $C_t = C_{30} \times (0.044 + 0.0019T + 0.001T^2)$, con $C_{30} = 0.0108$ para no leguminosas;

** Biomasa neta, $B_n = (0.36 \times bgm \times L) / ((1/N) + (0.25 \times C_t))$ donde N= días del ciclo del cultivo;

* IAF = Índice de área foliar y IC= Índice de cosecha, obtenidos del Cuadro 3.

** Rendimiento = Bn x IC.

Se calculó el IAF, IC y rendimiento de grano, con base en los datos de los experimentos de campo establecidos en las tres localidades de las regiones en estudio. Para el IAF, se estimó a partir de la biomasa neta (Bn) de las hojas y el área foliar específica (AFE) para el cultivo de cebada, el cual es de 25 m² kg⁻¹ de hoja seca (FAO, 2000); para el IC, se obtuvo al dividir la Bn del grano entre la Bn total; y el rendimiento de grano, se calculó al multiplicar la Bn total por el IC. Los resultados por localidad y genotipo se presentan en el Cuadro 1.9.

Cuadro 1.9 Cálculo de IAF, IC y Rendimiento de grano a partir de los datos experimentales de cada localidad en estudio.

Localidad	Genotipo	Bn total [†] g	Bn total kg ha ⁻¹	Bn hoja [†] g	Bn hoja kg ha ⁻¹	IAF [‡]	IC [†]	Rendimiento [§] Kg ha ⁻¹
Almoloya	Esmeralda	115.39	10990	16.27	1328	3.32	0.406	4462
	Adabella	140.69	11485	21.16	1727	4.32	0.414	4755
	M – 152 A	143.41	11707	18.77	1532	3.83	0.420	4917
Apan	Esmeralda	96.93	7913	10.19	970	2.43	0.401	3173
	Adabella	94.68	7729	11.12	1059	2.65	0.412	3184
	M – 152 A	96.09	7844	9.96	949	2.37	0.417	3271
Villa de Tezont.	Esmeralda	72.35	5906	13.31	1086	2.72	0.406	2398
	Adabella	77.66	6340	15.37	1255	3.14	0.382	2422
	M - 152 A	78.72	6426	14.21	1160	2.90	0.426	2738

[†] Resultado de los experimentos establecidos en campo.

[‡] Variable estimada con IAF = Bn de hojas x (AFE/10000), donde AFE = área foliar específica (25 m² kg⁻¹)

[§] Rendimiento = Bn x IC Calculado

Con estos resultados, se estimó la Bn total y los rendimientos de grano por el método FAO y se compararon con los rendimientos experimentales (Cuadro 1.10).

Es de importancia señalar que en la Región 1, la metodología de la FAO, subestima los rendimientos y la biomasa neta; mientras que en las Regiones 2 y 3, los

sobreestima; solo en la región 2 se aprecia que se estima con menor variación. El método FAO no alcanza a ser sensible a los cambios de las regiones edafoclimáticas y a la diferencia genotípica de los cultivares, sin embargo, a nivel promedio su estimación resulta razonable, como se afirma por Proyecto de Zonas Agroecológicas de la Organización para la Alimentación y la Agricultura (FAO, 2000) y por otra parte Ortiz *et al*, (2005) muestra ajustes muy aceptables pero para sitios específicos y donde se obtienen datos de campo , sin exploración de ámbitos entre regiones y de genotipos. Debido a estos resultados, se procedió a realizar una corrección a los rendimientos para obtener un factor de ajuste por región y genotipo, y así determinar la variación existente. Además, se realizó una media general para observar su variación y determinar su ajuste a nivel promedio (Cuadro 1.11).

Cuadro 1.10 Comparación de biomasa neta (Bn) y rendimiento de grano estimada vs rendimiento experimental.

Localidad	Variedad	Bn	Bn	Rendimiento	Rendimiento
		Experimental	estimado	Experimental	Estimado
kg ha ⁻¹					
Almoloya	Esmeralda	10990	9385	4462	3810
	Adabella	11485	10941	4755	4530
	M – 152 A	11707	9774	4917	4105
Apan	Esmeralda	7913	8720	3173	3497
	Adabella	7729	9564	3184	3940
	M – 152 A	7844	8204	3271	3421
Villa de Tezontepec	Esmeralda	5906	9167	2398	3722
	Adabella	6340	10327	2422	3945
	M – 152 A	6426	9039	2738	3851

Cuadro 1.11 Ajuste de rendimientos estimados, obtención del factor de ajuste y % variación de las regiones y genotipos utilizados.

Localidad	Genotipo	Rendimiento kg ha ⁻¹		Factor de ajuste	% variación
		Experimental	Estimado		
Almoloya	Esmeralda	4462	3810	1.1709	17.09
	Adabella	4755	4530	1.0497	4.97
	M – 152 A	4917	4105	1.1978	19.78
Apan	Esmeralda	3173	3497	0.9073	-9.27
	Adabella	3184	3940	0.8082	-19.18
	M – 152 A	3271	3421	0.9561	-4.39
Tezontepec	Esmeralda	2398	3722	0.6443	-35.57
	Adabella	2422	3945	0.6139	-38.61
	M – 152 A	2738	3851	0.7109	-28.91
Promedio		3480	3869	0.8994	-10.06

Las diferencias entre los rendimientos estimados y experimentales, varían desde 4.97% hasta el 19.78% cuando se subestima (Región 1) y desde 4.39% hasta el 38.61% cuando se sobreestima (Región 2 y 3). Al realizar el promedio general, la variación es baja (10.06%) y se puede considerar aceptable.

De acuerdo con los resultados, podemos señalar que el promedio general es aceptable, pero no mide o es sensible a los cambios edafoclimáticos y potencial de los cultivares de cebada. Se proponen los factores de ajuste para que estos permitan distinguir la productividad de cada región y de cada genotipo, de manera que al ser multiplicados por este factor en cada región y genotipo sean ajustados los rendimientos.

Se buscó un factor de ajuste a los rendimientos que se pudiera relacionar con variables que permitiera estimar los rendimientos de manera anticipada y que pudieran estar fundamentados en el uso de la información que se generó con los experimentos establecidos y el ajuste de la metodología de la FAO. Se utilizaron dos factores de ajuste: a) el promedio de los resultados teóricos del procedimiento de la

FAO, del nivel de inversión alto (IAF = 3.5 y IC = 0.4) de cada localidad en estudio; 3850, 4288 y 4161 kg ha⁻¹ que da un promedio de 4100 kg ha⁻¹; y b) El promedio de los rendimientos estimados. Ambos se correlacionaron con la DE, que es una variable que puede ser evaluada antes de la cosecha (Cuadro 1.12).

Cuadro 1.12 Factores de ajuste obtenidos con los promedios de FAO y de los rendimientos estimados y la DE obtenida en parcelas experimentales.

Localidad	Genotipo	Rendimiento kg ha ⁻¹		Factor 1 [†]	Factor 2 [‡]	DE x ha Millones
		Experimental	Estimado			
Almoloya	Esmeralda	4462	3810	1.09	1.15	3.98
	Adabella	4755	4530	1.16	1.23	4.64
	M - 152 A	4917	4105	1.20	1.27	4.14
Apan	Esmeralda	3173	3497	0.77	0.82	3.85
	Adabella	3184	3940	0.78	0.82	3.93
	M - 152 A	3271	3421	0.80	0.85	3.98
V.de	Esmeralda	2398	3722	0.58	0.62	3.69
Tezontepec	Adabella	2422	3945	0.59	0.63	3.57
	M - 152 A	2738	3851	0.67	0.71	3.55
Promedio		3480	3869	0.85	0.90	3.93

[†] Calculado con base en el Rendimiento Experimental entre la media de 4,100 kg ha⁻¹.

[‡] Estimado con base en el Rendimiento Experimental entre la media de los Rendimientos Estimados: 3,869 kg ha⁻¹.

Los resultados de la comparación entre los factores de ajuste obtenidos y la DE, se muestran en la Figura 1.1 y la Figura 1.2, en donde se observa que los dos factores ajustan de manera similar y con igual coeficiente de regresión, lo que permite utilizar cualquiera de los dos para la predicción de rendimientos durante el espigamiento, etapa en que se puede determinar la DE de manera precisa. Sin embargo, para hacer uso del segundo, es necesario establecer experimentos de campo y obtener datos de Bn de la hoja y total; esto provoca un costo mayor que el utilizar la media de los rendimientos teóricos que se obtienen de la metodología de la FAO.

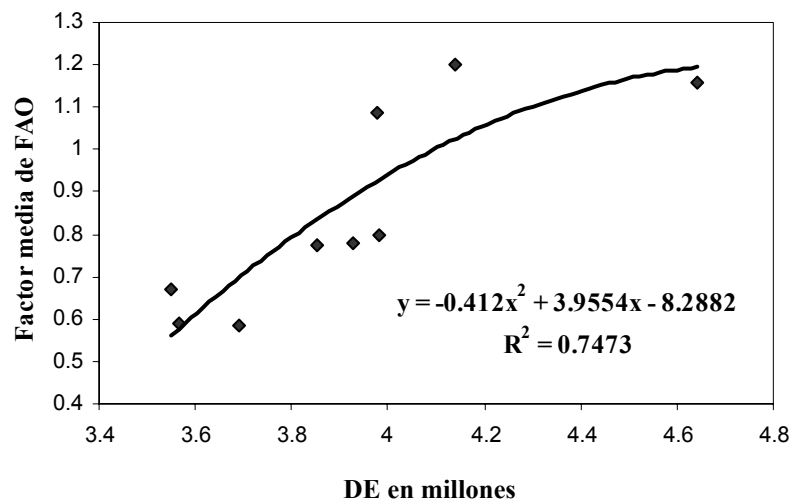


Figura 1.1 Ecuación de regresión entre el factor de ajuste del método de la FAO y la DE.

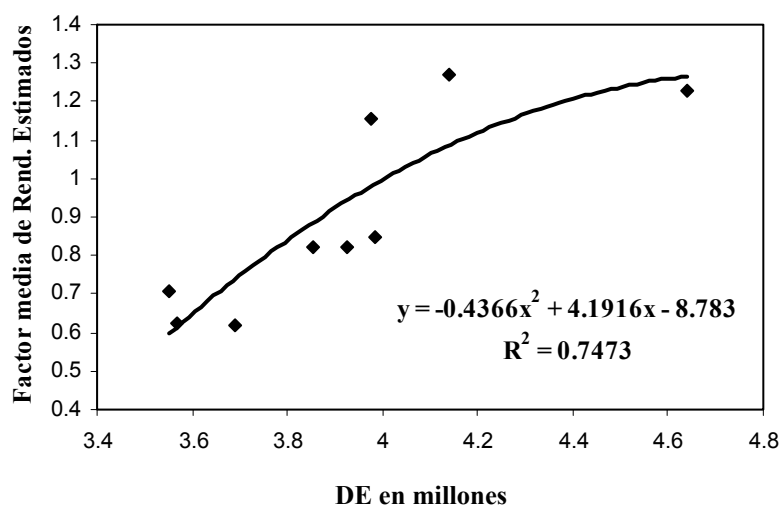


Figura 1.2 Ecuación de regresión entre el factor de ajuste de la media de los Rendimientos Estimados y la DE.

CONCLUSIONES

El método FAO es una herramienta que sirve para estimar el rendimiento promedio del cultivo de cebada a nivel de macro región, con limitaciones para establecer los diferentes potenciales de rendimiento en las regiones del área de estudio.

Es necesario calibrar o ajustar el método FAO, para una mejor estimación de rendimiento de cebada, misma que debe de realizarse con un mayor número de experimentos de campo y parcelas comerciales, de manera que se permita captar la variación del rendimiento en las diferentes regiones del estado donde se siembra este cultivo.

El método FAO en el estado de Hidalgo subestima en las regiones de alto potencial el rendimiento de cebada (Región 1, Almoloya) y sobreestima el rendimiento en las otras Regiones 2 (Apan) y 3 (Villa de Tezontepec).

El ajuste a los rendimientos derivados para la metodología de la FAO, puede ser utilizado de manera razonable, para estimar rendimientos al obtener la DE en campo (espigamiento).

LITERATURA CITADA

Akcura, M., S. Cerl, S. Taner, Y. Kaya, E. Oser and R. Ayranci. 2005. Grain yield stability of winter oat (*Avena sativa* L.) cultivars in the central Anatolian region of Turkey. *Journal Central European Agriculture* 3:203-210.

Barrales L., V., I. Peña R. y Fernández-de la Reguera B., P. 2004. Validación de modelos: un enfoque aplicado. *Agricultura Técnica* 64:6-16. Chile.

Benmoussa, M. and A. Achouch. 2005. Effect water stress on yield and its components of some cereals in Algeria. *Journal Central European Agriculture* 4:427-434.

Castañeda M. C., C. López C., J. Molina M., T.B. Colinas L. y A. Livera H. 2004. Crecimiento y desarrollo de cebada y trigo. Revista Fitotecnia Mexicana. 27:167-165.

FAO. 2000. GAEZ: Global Agro-Ecological Zones. <http://www.fao.org/ag7AGL/gaez/index.htm>

Castellaro G., G. y F. Squella N. 2006. Modelo simple de simulación para la estimación del crecimiento, fenología y balance hídrico de praderas anuales de clima mediterráneo. Agricultura Técnica 66:271-282. Chile.

Gómez M., R., A. Turrent F. C. A. Ortiz S., y B. Peña O. 2001. Productividad en cebada maltera. I. Uso de factoriales 2^k en el estudio integrado de factores controlables e incontrolables. Agricultura Técnica en México 27:84-94.

Gómez M., R., A. Turrent F. C. A. Ortiz S., y B. Peña O. 2001. Productividad en cebada maltera. II. Análisis de las interacciones de seis factores de la producción. Agricultura Técnica en México 27:95-105.

Gómez M., R., J. L. Gómez C. y M. Tiscareño L. 2003. Predicción de rendimientos de maíz de riego en el Valle del Mezquital, Hidalgo. In: Simposio Binacional de Modelaje y Sensores Remotos en Agricultura Ed. Alba, A. A., L. Reyes M. y M. Tiscareño L. Aguascalientes, Ags., México. 3 y 4 de junio de 2003.

Loke, Zs. and G. Soós. 2002. Determination of leaf area and plant cover by using digital image processing. Journal Central European Agriculture 4:343-352.

Microsoft office. 2003. Programa de Excel. Redmont, Washington. E. U. A.

Ortiz S., C. A., M. C. Gutiérrez C. y J. Nieves F. 2005. Estimación de rendimientos de maíz con el método FAO en el ejido de Atenco, Estado de México. Revista de Geografía Agrícola 35: 57-65.

Ovalle C., M., A. del Pozo L., S. Arredondo S. y J. Cavaría M. 2005. Crecimiento y producción de nuevas leguminosas forrajeras anuales en la zona mediterránea de Chile. I. Comportamiento de las especies en la Cordillera Andina. Agricultura Técnica 65:35-47.

Theo C., C., E. Benjamin and N. Okechukwu. 2005. Relation between global radiation and food production in a humdtropical climate of West Africa. Journal Central European Agriculture 2:179-184.

Tinoco A., C.A., M. Tiscareño L., y A. Baéz G. 2003. Predicción de cosechas de Maíz: Experiencias generadas en el sur de Veracruz, México. In: Simposio Binacional de Modelaje y Sensores Remotos en Agricultura. Ed. Alba, A. A., L. Reyes M. y M. Tiscareño L. Aguascalientes, Ags., México. 3 y 4 de junio de 2003.

Torres B., E., E. Mejía S., J. Cortés B., E. Palacios V. y A. Exebio G. 2005. Adaptación de un modelo de simulación hidrológica a la cuenca del río Laja, Guanajuato, México. Agrociencia 39:481-490.

**CAPITULO II. EVALUACIÓN DE LA MATERIA SECA EN CEBADA
MALTERA DE TEMPORAL.**

CAPITULO II. EVALUACIÓN DE LA MATERIA SECA EN CEBADA MALTERA DE TEMPORAL.

INTRODUCCIÓN

La superficie sembrada con cebada maltera (*Hordeum vulgare*, L) bajo temporal en la región de los Valles Altos del estado de Hidalgo fue de 112,023 ha y cosechada 104,977 ha (ciclo avícola P – V 2007). El rendimiento promedio regional fue de 1.694 t ha⁻¹ (SAGARPA – SIAP, 2007).

Esta región presenta variabilidad edáfica y climática (climas Bs y Cw según la clasificación de Köppen modificada por E. García, 1973). En cuanto a la abundancia de la precipitación, se pueden distinguir tres subregiones, con precipitación limitativa, de 300 a 350 mm; otra con precipitación intermedia de 350 a 450 mm; y la de mayor precipitación de mas de 450 mm (Gómez *et al.*, 2001). El establecimiento de las lluvias ocurre entre la segunda quincena de mayo y la segunda quincena de junio, en tanto que la frecuencia de las primeras heladas es alta entre la primera quincena de septiembre y la primera quincena de octubre. Esta situación genera una estación de crecimiento corta (110 a 120 días) que impone variedades de cebada maltera precoces (Gómez *et al.*, 2006).

La cebada posee una raíz principal que penetra hasta una profundidad de 12 a 15 cm durante la germinación, y puede llegar hasta una profundidad de 1 m, durante su desarrollo el nudo de “ahijamiento” es el origen del tallo principal, de los tallos secundarios y del sistema de raíces adventicias espesas al tiempo de amacollar, estos son los que realizan la función de transporte de agua y nutrimentos a la planta, además de anclaje durante toda su vida a partir de las primeras semanas. Una sola semilla produce varios tallos, a esto se le llama amacollamiento, el tallo es tipo herbáceo aéreo erguido y alargado con entrenudos (5 a 6). El tallo es parte de la

planta que sostiene a las hojas y a la espiga. Es una caña que mide de 60 a 100 cm de altura, es además erecto estolonífero, hueco, cilíndrico. Las hojas son tipo linear con borde liso con un ápice en forma de punta. Las hojas emergen de cada nudo en posición opuesta una tras otra. La parte inferior de cada hoja forma una estructura llamada vaina, la lámina se desarrolla en forma horizontal, tiene 15 a 20 nervaduras paralelas entre sí, mide de 20 a 30 cm de longitud por 1 a 2 cm de ancho. La cebada posee una inflorescencia que es una espiga cilíndrica, terminal que mide de 7 a 12 cm de longitud, sin barbas. Está conformada por estructuras llamadas espiguillas, cada una integrada por el grano y dos glumas con barba de longitud variable, lisa o aserrada, las cuales son alternas y están adheridas en forma de zigzag al eje llamado raquis; y en cada nudo de éste, nacen tres flores, cada una de las cuales se encuentran encerradas dentro de una lema y una palea. Los granos son ovoides con cascarilla rugosa y adherida al endospermo (lema y palea) de color crema a crema amarillento cuando está maduro (Molina, 1989).

La temperatura óptima para el desarrollo de la cebada es 15 a 25 °C en promedio en los meses de junio a octubre. Es tolerante a temperaturas mínimas de 0 °C en las etapas de amacollo e inicio del encañe, pero es susceptible desde el embuche hasta el llenado de grano. Los umbrales para el crecimiento son de 5 y 30 °C, es decir, la planta detiene su crecimiento a temperaturas menores de 5 °C y más de 30 °C (Gómez *et al.*, 2006). Los requerimientos térmicos son de 1300 a 1700 unidades calor (días grado de desarrollo) para las variedades generadas en el INIFAP. Para temporal demanda una precipitación de 300 a 600 mm durante el ciclo del cultivo distribuidos uniformemente y requiere de suelos francos bien drenados con un pH óptimo que va de 6.0 a 7.5, aunque puede desarrollarse desde un pH 5.0 hasta 8.0 (Franco e Hidalgo, 2003).

Uno de los problemas para la estimación de modelos de predicción de rendimiento, es obtener información real en las parcelas establecidas, para ser incluidas en tales modelos (Boote *et al.*, 1996). Entre estos se encuentra: la acumulación de materia seca durante el ciclo del cultivo, índice de cosecha, índice de área foliar, tasas de acumulación de materia seca por órgano y factores de repartición (Harlan, 1992; van Keulen y Wolf, 1986). Sin embargo, esta información varía de acuerdo al ambiente, genotipo y su interacción (INIFAP. 2006). Se han realizado predicciones antes de establecer el cultivo y en las diferentes etapas de cultivo con datos de clima y planta, por lo que es importante generar información de campo de la relación que existe entre las etapas tempranas y el rendimiento del cultivo, así como determinar la influencia de los factores de repartición y su influencia en el rendimiento en diferentes ambientes y genotipos de cebada maltera (van Keulen y Wolf, 1986).

Los objetivos planteados en este trabajo fueron: a) Estudiar la relación entre la Materia Seca Inicial (MSI) y el rendimiento de la cebada; b) Analizar y determinar diferencias entre los genotipos estudiados y los factores de repartición.

Las hipótesis planteadas fueron: a) El potencial de producción de la cebada se expresa con la germinación; b) La acumulación de biomasa de hojas en las primeras etapas, indica un aumento el rendimiento de grano en el cultivo de cebada; c) La acumulación temprana de biomasa en los órganos reproductivos (grano o espiga) incrementa el rendimiento de grano de cebada.

MATERIALES Y MÉTODOS

La presente investigación se realizó en dos ambientes: campo e invernadero. Para los experimentos de campo se realizaron en tres regiones del estado de Hidalgo; en cada región se instaló un experimento para explorar ámbitos diferentes de

producción en el cultivo de cebada maltera (*Hordeum vulgare*, L) de temporal durante el ciclo P-V 2006; las características de los experimentos, diseño experimental y metodología utilizada, se presentan en el Capítulo I.

Los genotipos utilizados fueron los cultivares Esmeralda, Adabella y M – 152 A, proporcionados por el Programa Nacional de Cebada Maltera del INIFAP, los cuales fueron generados para condiciones de temporal para los Valles Altos de la Mesa Central de México (INIFAP, 2003; González *et al.*, 2006).

Experimento de invernadero. Los experimentos de invernadero se condujeron con un diseño de tratamientos completamente al azar con 4 repeticiones, con tres genotipos de cebada y suelo de cada localidad establecida en campo. La unidad experimental fue de una planta, sembrada en vasos de unicel de 1.5 a 2 kg de suelo de cada región en donde se estableció el experimento de campo, en cada vaso con suelo se depositaron 5 semillas para tomar cuatro plántulas por vaso (2 vasos por 4 plántulas = 8 repeticiones por genotipo) para determinar materia seca inicial (MSI) al momento de la germinación (emergencia de la plúmula y la radícula que crece con las reservas de la semilla). La MSI se determinó extrayendo la plántula de cebada de cada genotipo, por planta, repetición y separando la raíz de la hoja; estas se colocaron en sobres perforados para someterse en una estufa de secado a temperatura de 65 °C durante 48 horas. Las muestras de hoja y raíz se pesaron en una balanza analítica para determinar la MSI total y por órgano.

La comparación de datos de MSI se basó en el análisis de regresión con el rendimiento obtenido de los experimentos de campo en las tres regiones de estudio, para establecer y determinar la relación entre la MSI y el rendimiento de grano de cebada.

Experimento de Campo. Se llevaron a cabo en terrenos de productores en las tres regiones ya descritas en el Capítulo anterior. La toma de muestras de plantas y raíces durante las etapas fenológicas del cultivo se realizó cada 10 días a partir de

la emergencia de la planta hasta la cosecha del cultivo, con un total de 10 muestreos durante el ciclo; la superficie muestreada fue de 0.3 m lineales de surcos por 0.3 m de ancho que resulta una superficie de 0.09 m². Esta muestra se obtuvo en campo a una profundidad de 0.30 m, bajo el supuesto que en etapas después del amacollamiento, la raíz se concentra en esta capa en un 75 al 80%. Las muestras se separaron en sus componentes (hoja y raíz en los primeros muestreos y al final, raíz, hoja, tallo y grano o espiga), estas fueron secadas a la estufa a 65 °C durante 48 horas y se procedió a registrar los pesos de materia seca (MS) por órgano y la suma total de la biomasa.

El procedimiento para el cálculo de los factores de repartición (FDR), fue por medio de la base de datos de acumulación de MS en cada etapa de desarrollo fenológico y por cada órgano (experimentos de campo en cada localidad y genotipo utilizados), obteniendo primero las tasas y posteriormente, el % de las tasa de acumulación de MS, los cuales son los factores de repartición (FDR). La etapa de desarrollo (EDD) se calculo con las unidades calor (UC) a nivel diario ($UC = [(T_{max} + T_{min})/2] - T_b$, donde T_b es la temperatura base de 4 °C), es decir $EDD = UC \text{ del Periodo} / UC \text{ totales}$ ($78.5/893.95 = 0.088$) ; finalmente fue calculado el promedio de 0 a 0.088, que es 0.044 de la etapa media de desarrollo (EMD).

Los datos obtenidos de los FDR fueron: fracción hoja (FH), fracción tallo (FT), fracción grano (FG) y fracción raíz (FR), las cuales a partir de los datos de MS se calcularon como se muestra a continuación:

Tasa de la FH_1 – MSI de la FH = Tasa de acumulación de MS de la FH_1

Tasa de acumulación de MS de la FH_1 / tasa de acumulación de MS total de la FH_1 =
% Tasa de la FH_1 (FDR)

Donde FH_1 = es la MS de la fracción hoja del primer muestreo (para el ejemplo es la $EDD = 0.06$).

MSI = Materia Seca Inicial de la hoja (FH) o $EDD = 0$.

Ejemplo a partir de datos de la Línea M – 152 A

Calculo de MS acumulada, tasa de acumulación y % de tasa de acumulación

EDD	MS acumulada Línea M-152 A					Tasa de acumulación MS					% Tasa de acum. FDR			
	FH	FT	FG	FR	Total	FH	FT	FG	FR	Total	FH	FT	FG	FR
0 (MSI)	0.50	0.00	0.00	0.24	0.74	0.50	0.0	0.0	0.24	0.74	0.68	0.00	0.00	0.32
0.06	4.17	0.00	0.00	0.61	4.78	3.67	0.00	0.00	0.37	4.04	0.91	0.00	0.00	0.09
0.16	5.44	16.39	0.00	1.3	23.13	1.27	16.39	0.00	0.69	18.35	0.07	0.89	0.00	0.04

EDD: Etapa de desarrollo.

MSI de la FH = 0.5

Tasa de acumulación de la FH₁ = 4.17 – 0.5 = 3.67

FDR de la FH₁ = 3.67 / 4.04 = 0.91

Para las subsecuentes EDD, se sustituye la MSI por la etapa inmediata anterior de la FH.

El paso siguiente fue graficar los FDR y ajustar a las incongruencias que tenían las fracciones de los órganos, de acuerdo con van Keulen y Wolf (1986), quienes sugieren corregir de manera arbitraria y practica los datos erróneos, con base en el supuesto de que después de la floración las fracciones de la raíz, hoja y tallo detienen su desarrollo y el porcentaje de la tasa de crecimiento va directamente a la formación de grano, por lo que se determinó la fecha de la floración de cada genotipo en las tres localidades y se obtuvo su promedio.

El mismo procedimiento se aplicó tanto a las localidades de los experimentos como a cada uno de los cultivares utilizados. Posteriormente se procedió a uniformizar las etapas medias de desarrollo (EMD) a periodos equivalentes y poder comparar los genotipos, a través de modelos de extrapolación los diferentes factores de repartición. Las EMD fueron de 0.1, 0.2, 0.3, 0.9 y 1.0; así mismo, se generó un promedio para cada cultivar comparándolos por ambiente y entre ellos.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la primera etapa (invernadero) se analizaron los datos de MSI y se muestran en el Cuadro 1, los cuales son los promedios de 8 repeticiones.

Cuadro 2.1 Materia seca inicial determinada en los experimentos de invernadero en suelos de tres localidades de Hidalgo y tres genotipos de cebada.

Localidad	Genotipo	Materia seca inicial (MSI) g planta ⁻¹			Rend. [†] kg ha ⁻¹
		Raíz	Hoja	Total	
Almoloya	Esmeralda	0.013638	0.025488	0.039125	4,462
	Adabella	0.008363	0.023600	0.031963	4,755
	M – 152 A	0.009688	0.022750	0.032438	4,917
Apan	Esmeralda	0.016675	0.017825	0.034500	3,173
	Adabella	0.014200	0.016863	0.031063	3,184
	M – 152 A	0.014200	0.015813	0.030013	3,271
V. Tezontepec	Esmeralda	0.013763	0.018838	0.032600	2,398
	Adabella	0.011850	0.015163	0.027013	2,422
	M – 152 A	0.010888	0.018600	0.029488	2,738

† Obtenido de los experimentos en campo de cada localidad

Con la información del Cuadro 2.1, se realizaron los análisis de regresión con el fin de determinar si existía una correlación entre la MSI y el rendimiento de grano. Los resultados del análisis se presentan en la Figura 1, para la MSI de hoja, en donde se observa una tendencia que a mayor MSI de hoja, el rendimiento es mayor; sin embargo, el coeficiente de regresión es bajo ($R^2 = 0.6891$).

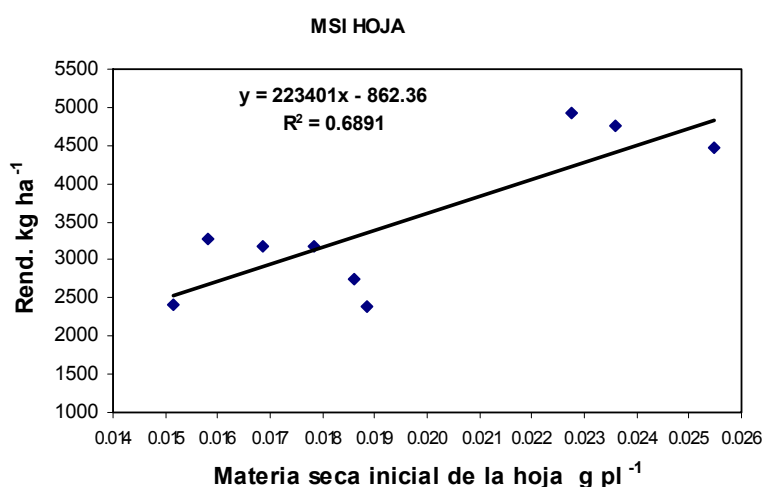


Figura 2.1 Ecuación de regresión entre la MSI de hoja y el rendimiento.

En la Figura 2.2, se muestran los resultados del análisis de regresión para la MSI de raíz y su relación con el rendimiento, la cual muestra una tendencia inversa a la MSI de hoja lineal cuadrática, pero con un menor coeficiente de regresión ($R^2 = 0.3856$). Para la MSI total (MSI de raíz + MSI de Hoja), el análisis de regresión muestra una tendencia parecida a la MSI de Hoja, con una R^2 menor (0.2711) como se observa en la Figura 2.3; esto por la influencia inversa de la MSI de raíz y de la MSI de hoja. Para determinar una relación entre la MSI y el rendimiento se promediaron los tres genotipos y se compararon con los rendimientos promedios de cada región (Cuadro 2.2).

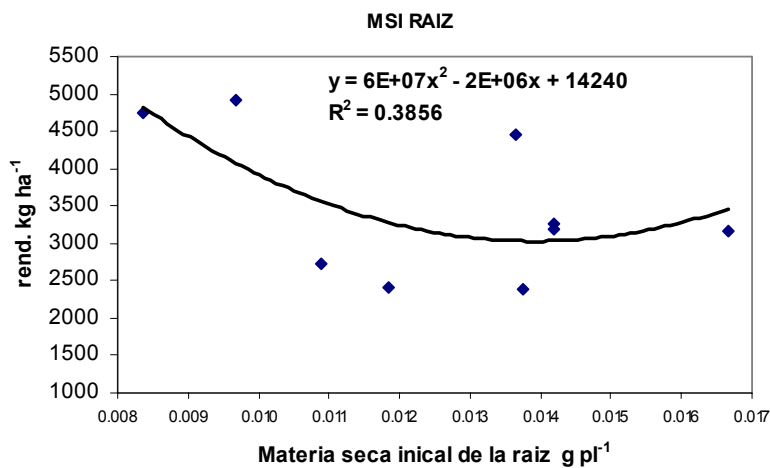


Figura 2.2 Ecuación de regresión entre la MSI de raíz y el rendimiento.

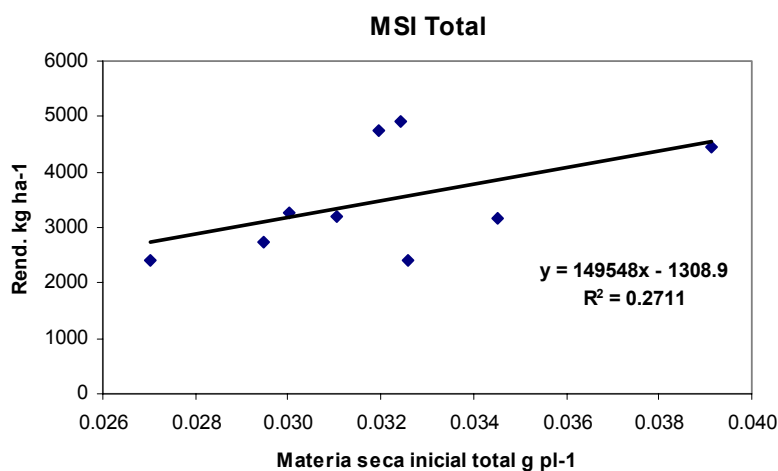


Figura 2.3 Ecuación de regresión entre la MSI total y el rendimiento.

Cuadro 2.2 Promedios por localidad de MSI y rendimiento de tres localidades de Hidalgo, México.

Localidad	Genotipo	MSI total g planta ⁻¹	Promedio MSI total	Rend. kg ha ⁻¹	Promedio Rend.
Almoloya	Esmeralda	0.039125	0.034508	4,462	4,711
	Adabella	0.031963		4,755	
	M – 152 A	0.032438		4,917	
Apan	Esmeralda	0.034500	0.031858	3,173	3,209
	Adabella	0.031063		3,184	
	M – 152 A	0.030013		3,271	
V. Tezontepec	Esmeralda	0.032600	0.029700	2,398	2,519
	Adabella	0.027013		2,422	
	M – 152 A	0.029488		2,738	

En el Cuadro 2.2, se observa que los promedios de los tres genotipos para la MSI total, muestran una clara tendencia que a mayor MSI total mayor rendimiento, es decir, en la región de mayor potencial (Almoloya) tiene mayor producción de MSI total y por consiguiente mayor rendimiento; y para la región de menor potencial (Villa de Tezontepec) menor MSI total y menor rendimiento.

Por lo anterior, se apreció que era necesario mayor profundidad de estudio y se instaló un experimento con suelos de siete regiones del altiplano de Hidalgo, únicamente con el cultivar Esmeralda con 50 unidades experimentales, para determinar MSI y utilizar una base de datos de rendimientos evaluados en las parcelas comerciales georeferenciadas y evaluado su rendimiento en campo, de donde se tomaron las muestras de suelo para este experimento y donde se obtuvieron la base de datos de la producción alcanzada en estos lotes de los años 2003, 2005 y 2006 (Gómez *et al.*, 2005, 2006 y 2007). Así mismo, se contó con la información de clima de las estaciones automatizadas del INIFAP en Hidalgo.

En el Cuadro 2.3, se muestran los resultados del experimento de suelos de las siete regiones estudiadas, estos datos promedio por región, se utilizaron en análisis de regresión lineal, para corroborar la tendencia de que a mayor MSI mayor rendimiento.

Cuadro 2.3 Resultados del experimento de MSI en el cultivar Esmeralda en siete regiones del estado de Hidalgo, México.

Región	MSI Total	Prom. region	Rend. 2003	Prom. Rend.	Rend. 2005	Prom. Rend.	Rend. 2006	Prom. Rend.
Almoloya	0.031263	0.034552	2614	2,173	1512	1,789	3347	2,945
	0.037656		3140		1512		3519	
	0.038742		2188		2085		2655	
	0.034281		1398		1998		2059	
	0.032444		1480		1544		3180	
	0.032925		2218		2085		2907	
Cuautepec - Singuilucan	0.033508	0.032361	1592	1,739	2209	1,777	3170	2,048
	0.031125		1424		1783		2510	
	0.032856		2788		1723		1592	
	0.032694		766		1322		1257	
	0.031125		768		1899		1592	
	0.032856		3096		1723		2167	
Apan	0.032463	0.032136	782	1,492	1276	1,716	2761	2,587
	0.03133		1522		1753		2068	
	0.030956		1663		983		2513	
	0.033975		1759		1731		2473	
	0.034438		471		1276		2858	
	0.031092		1675		1544		2709	
	0.032983		1582		2380		2783	
	0.031113		1117		1753		2525	
	0.030881		2856		2753		2594	
	E. Zapata		0.031538		0.030164		341		878	1382	1,205	2329	2,714
0.027531		1066	686	2463				
0.030333		1195	1382	2329				
0.031342		488	1200	2637				
0.030075		1302	1377	3810				
Tepeapulco	0.027694	0.030870	646	890	1583	1,607	2620	2,364
	0.031870		2478		1598		1781	
	0.031213		588		1583		2620	
	0.031208		458		1583		3236	
	0.031342		536		1487		1868	
	0.031894		636		1809		2061	
San Javier	0.032450	0.029738	472	1,104	618	1,012	1888	1,953
	0.030850		223		1207		2160	
	0.029574		2664		1352		1708	
	0.030225		673		970		1882	
	0.030813		1475		1038		1538	
	0.029926		528		1125		2139	
	0.027925		2175		992		1552	
	0.027225		634		618		1888	
	0.029175		803		1207		2745	
	0.029217		1389		992		2026	
Zempoala	0.026354	0.028617	376	1,147	909	1,074	2167	2,184
	0.031064		1181		959		1496	
	0.032916		1556		909		2031	
	0.029713		1340		1,668		2133	
	0.029500		1051		909		2568	
	0.027269		981		798		2802	
	0.027250		1896		770		2140	
	0.024867		799		1668		2133	

Al analizar los diferentes modelos de regresión utilizados, se observó que al efectuar el análisis con los tres años en estudio, la correlación de la MSI y el rendimiento fue baja; sin embargo, al realizar con los años 2003 y 2005 el coeficiente de regresión del modelo aumenta considerablemente debido a que la precipitación y temperatura fueron muy similares (Cuadro 2.4), así como también al elaborar el modelo para el año 2006, aumenta la relación pero en menor proporción. En la Figura 2.4, se muestran los modelos para cada año, y su congruencia entre el año 2003 y 2005 que presentan rendimientos similares, pero no para el año 2006 que fue de mayores rendimientos, año en el que se establecieron los experimentos de campo. No obstante, la tendencia es clara: a mayor MSI, mayor rendimiento.

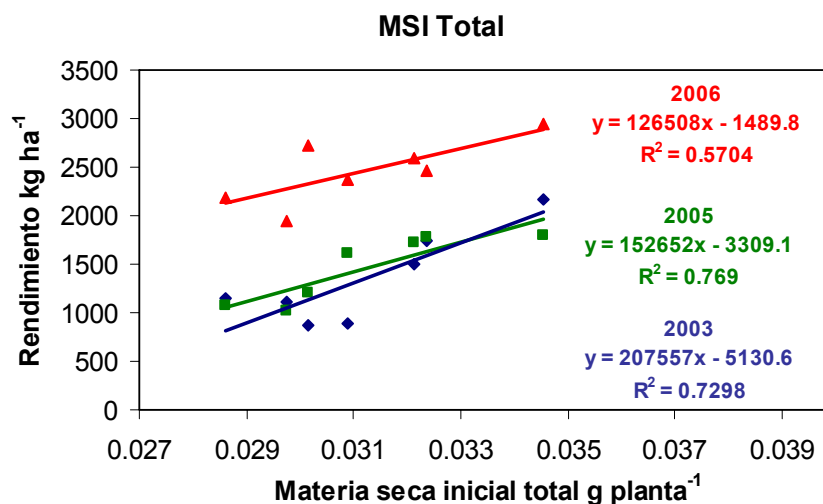


Figura 2.4 Ecuaciones de regresión entre la MSI total y el rendimiento de tres años en Hidalgo, México.

Estos resultados obligaron a la búsqueda de una explicación más convincente, por lo que se analizó la temperatura media anual (T_m) y la precipitación anual (PP) para evaluar las diferentes grados de respuesta de la MSI con el rendimiento; en el Cuadro 4, se muestran estas variables mas un cociente calculado PP / T_m y sus promedio de cada año en estudio. Se observa que en los años 2003 y 2005 el

comportamiento medio de la precipitación pluvial y la temperatura media anual es muy similar, en consecuencia los rendimientos son semejantes (1346 y 1454 kg ha⁻¹). No así en el año 2006, en el que la precipitación pluvial media fue mayor que los años 2003 y 2005 (688 mm) y la temperatura media anual es menor en 0.5 a 0.6 °C; esto puede explicar las ecuaciones de regresión que se observan en la Figura 2.4, en donde los años 2003 y 2005 la tendencia es similar y la del año 2006 que muestra menor correlación, aunque con la misma tendencia, pero que por la influencia de la mayor PP anual y menor Tm el modelo presenta una R² menor.

Se probaron otras ecuaciones de regresión, para explicar la influencia en el rendimiento de la PP anual y la Tm anual, solo se encontró tendencias de que a mayor PP y menor Tm, mayor rendimiento. La tendencia de mayor correlación, fue con la Tm en donde se establece que a medida que disminuye la Tm, el rendimiento aumenta (Figura 2.5). Esta influencia de la Tm anual, podemos relacionarla con las teorías del cambio climático: a medida que la temperatura media anual aumenta, los rendimientos tenderán a disminuir de manera significativa. De acuerdo con estudios climáticos la temperatura del planeta ha subido 0.6 °C en el último siglo y se espera que para fines del siglo XXI aumente 3 °C (Garduño, 2004); si se cumple esto, la tendencia de la disminución de rendimiento que se observa en la Figura 2.4, los rendimientos bajarían considerablemente, y se cumpliría lo que Alatorre (1994) señala con respecto a al cambio climático, que pocos agrosistemas serían capaces de adaptarse bajo estas condiciones en un solo siglo.

Por lo anterior, se puede señalar que en los años 2003 y 2005 que presentan PP y Tm anual similar, con cocientes PP/Tm menores a 45, son representativos de años con restricción hídrica, mientras que para el año 2006, es representativo de años sin restricción hídrica y con menor Tm anual, con un cociente PP / Tm mayor a

55. Por lo que se calculo una ecuación de regresión para los años 2003 y 2005, de manera conjunta y que puede ser utilizado para años con restricción hídrica y mayor Tm anual (Figura 2.6); y para años sin restricción hídrica se puede utilizar la ecuación del año 2006 (Figura 2.4).

Cuadro 2.4 Precipitación pluvial anual (PP), temperatura media anual (Tm) y cociente PP / Tm de siete regiones de Hidalgo de los años 2003, 2005 y 2006.

Región	Rend. kg ha ⁻¹	Prom. anual	PP anual mm	Prom. anual	Tm anual °C	Prom. anual	Cociente PP / Tm	Prom. anual
Almoleya	2173		571.8		11.9		48.0	
Cuautepec- Sing.	1739		737.8		11.9		62.0	
Apan	1492		462.6		12.5		37.0	
E. Zapata	878		538.2		13.6		39.7	
Tepeapulco	890		538.2		13.6		39.7	
San Javier	1104		525.4		14.0		37.4	
Zempoala	1147	1346[†]	502.4	554[†]	14.3	13.1[†]	35.2	42.7[†]
Almoleya	1789		524.2		11.9		43.9	
Cuautepec- Sing.	1777		526.5		11.9		44.1	
Apan	1716		524.2		12.6		41.7	
E. Zapata	1205		640.4		13.6		47.2	
Tepeapulco	1607		640.4		13.6		47.2	
San Javier	1012		486.4		14.2		34.2	
Zempoala	1074	1454^{††}	485.6	547^{††}	14.4	13.2^{††}	33.8	41.7^{††}
Almoleya	2945		911.2		11.5		79.2	
Cuautepec- Sing.	2460		911.2		11.5		79.2	
Apan	2587		571.2		12.0		47.6	
E. Zapata	2714		559.0		13.1		42.6	
Tepeapulco	2364		559.0		13.1		42.6	
San Javier	1953		735.6		13.4		54.7	
Zempoala	2184	2458[§]	569.1	688[§]	13.3	12.6[§]	42.7	55.5[§]

[†] Promedios del Año 2003 ^{††} Promedios del año 2005 [§] Promedios del año 2006

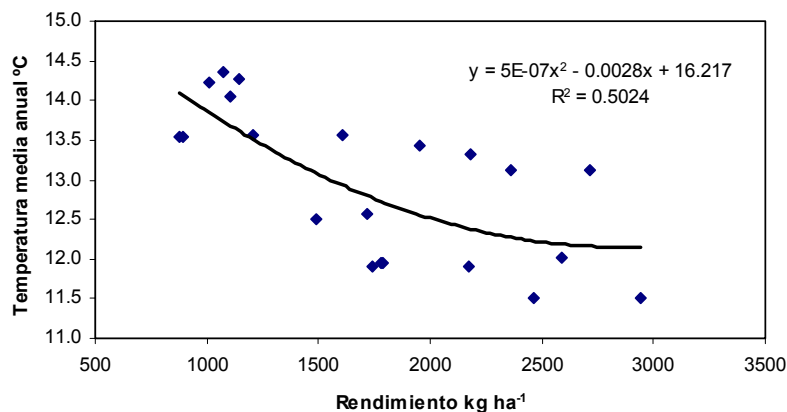


Figura 2.5 Relación entre el rendimiento y la Tm de tres años en Hidalgo, México.

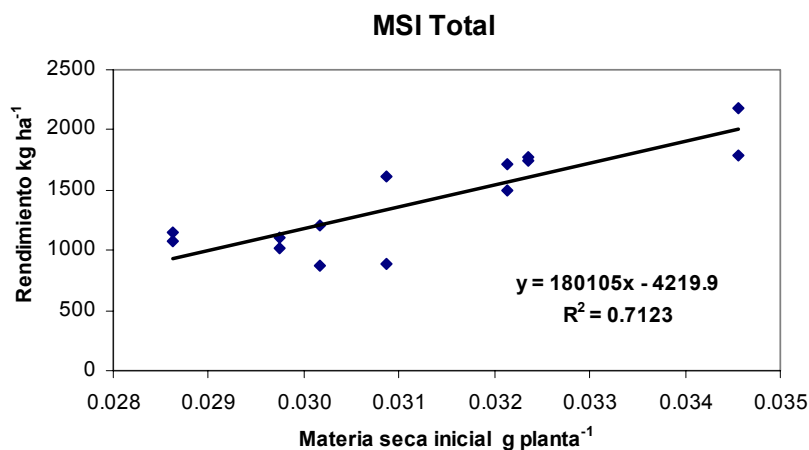


Figura 2.6 Relación entre la MSI total y el rendimiento de 2003 y 2005 en Hidalgo, México.

En el Cuadro 2.5, se muestran los resultados de los muestreos de materia seca de los tres genotipos evaluados en las tres localidades establecidas del estado de Hidalgo de cada componente de la planta de cebada, correspondiente a la segunda etapa de experimentos en campo. Los cálculos de obtención de materia seca y la EMD, se obtuvieron conforme a la metodología descrita anteriormente. Estos resultados se utilizaron para el cálculo de la tasa de acumulación de materia seca por órgano de la planta de cebada y el % de la misma, es decir, los factores de repartición. En el Cuadro 2.6, se muestran los resultados del procedimiento para la obtención de estas tasas y factores de repartición para la línea M – 152 A en la localidad de Villa de Tezontepec, Hidalgo.

Obtenidos los FDR, se graficaron para observar el comportamiento de los datos de campo (Figura 2.7) y se realizaron los ajustes de incongruencias para dejar los FDR definitivos por cada genotipo (Figura 2.8). En la Figuras 2.7 y 2.8, se observan los ajustes en los factores de repartición que se realizaron en el muestreo 3 para FH y en el muestreo 7 para todas la fracciones, por considerarse incongruentes o erróneos (Cuadro 2.7).

Cuadro 2.5 Materia seca (MS) acumulada de tres genotipos en tres localidades de Hidalgo (g en 0.09 m²).

Localidad	Cultivar Esmeralda										Cultivar Adabella										Línea M – 152 A									
	EMD [†]		FT [‡]		FH [§]		FG [◊]		FR [*]		TOTAL		EMD		FT		FH		FG		FR		TOTAL							
V. de Tezontepec	0.00	0.00	0.30	0.00	0.23	0.53	0.00	0.30	0.00	0.23	0.53	0.00	0.00	0.30	0.00	0.23	0.53	0.00	0.30	0.00	0.23	0.53	0.00	0.00	0.50	0.00	0.24	0.74		
	0.06	0.00	4.98	0.00	0.51	5.49	0.06	0.00	5.03	0.00	0.45	5.48	0.06	0.00	5.03	0.00	0.45	5.48	0.06	0.00	4.17	0.00	0.61	4.78	0.16	16.39	5.44	0.00	1.30	23.12
	0.27	18.90	9.69	0.00	1.78	30.37	0.26	18.90	9.69	0.00	2.78	31.37	0.26	18.90	9.69	0.00	2.78	31.37	0.27	35.45	12.31	0.00	1.40	49.16	0.38	35.76	17.52	15.51	1.57	70.36
	0.48	39.75	18.09	39.22	2.06	99.12	0.46	42.24	18.45	31.53	2.89	95.11	0.46	42.24	18.45	31.53	2.89	95.11	0.48	36.21	18.78	45.77	2.06	102.82	0.59	38.15	20.40	59.08	3.35	120.98
	0.70	40.00	19.57	55.38	3.49	118.4	0.66	43.44	22.30	54.10	2.99	122.83	0.66	43.44	22.30	54.10	2.99	122.83	0.70	38.15	20.40	73.67	3.35	135.57	0.80	38.15	20.40	78.77	3.35	140.67
	0.91	29.90	19.57	51.14	3.21	103.8	0.87	41.61	21.03	51.61	2.38	116.63	0.87	41.61	21.03	51.61	2.38	116.63	0.90	38.15	20.40	79.76	3.35	141.66	1.00	38.13	20.10	79.73	3.33	141.29
Apan	0.00	0.00	0.27	0.00	0.23	0.51	0.00	0.00	0.26	0.00	0.21	0.47	0.00	0.00	0.30	0.00	0.27	0.57	0.000	0.30	0.00	0.00	0.27	0.57	0.063	0.00	5.14	0.00	0.85	5.99
	0.16	10.60	4.66	0.00	1.51	16.77	0.16	10.36	5.83	0.00	2.05	18.24	0.16	10.36	5.83	0.00	2.05	18.24	0.178	16.39	5.44	0.00	2.05	23.87	0.279	20.95	5.63	0.00	2.43	29.01
	0.36	34.21	9.13	0.00	2.78	46.12	0.35	34.78	9.07	0.00	2.97	46.82	0.35	34.78	9.07	0.00	2.97	46.82	0.379	26.56	6.82	0.00	2.48	35.86	0.482	35.41	9.43	41.26	2.49	88.59
	0.56	34.38	9.89	46.70	2.86	93.83	0.53	45.18	12.17	45.42	2.98	105.75	0.53	45.18	12.17	45.42	2.98	105.75	0.581	35.51	9.49	51.51	2.49	99.00	0.682	35.52	9.49	58.41	2.46	105.88
	0.77	40.55	10.19	53.25	2.87	106.86	0.72	45.18	12.17	45.42	2.98	105.75	0.72	45.18	12.17	45.42	2.98	105.75	0.791	33.43	9.85	58.90	2.25	104.43	0.905	30.57	9.42	58.01	2.25	100.25
	0.96	33.42	9.89	51.00	2.56	96.87	0.92	45.18	12.17	45.42	2.98	105.75	0.92	45.18	12.17	45.42	2.98	105.75	0.982	29.61	9.39	55.16	1.93	96.09						

† EMD Etapa media de desarrollo.

‡ FT Materia seca acumulada de la fracción tallo.

§ FH Materia seca acumulada de la fracción hoja.

◊ FG Materia seca acumulada de la fracción grano.

* FR Materia seca acumulada de la fracción raíz.

Cuadro 2.5 (Continuación)

Localidad	Cultivar Esmeralda						Cultivar Adabella						Línea M – 152 A					
	EMD	FT	FH	FG	FR	TOTAL	EMD	FT	FH	FG	FR	TOTAL	EMD	FT	FH	FG	FR	TOTAL
	Almoleya	0.00	0.00	0.48	0.00	0.35	0.82	0.00	0.00	0.48	0.00	0.35	0.82	0.00	0.00	0.69	0.00	0.37	1.06
	0.05	0.00	1.69	0.00	0.32	2.01	0.05	0.00	1.58	0.00	0.51	2.09	0.05	0.00	1.89	0.00	0.49	2.38
	0.14	2.60	3.31	0.00	0.73	6.64	0.13	1.63	2.87	0.00	0.56	5.06	0.15	2.03	3.15	0.00	0.72	5.89
	0.23	6.89	6.57	0.00	1.35	14.81	0.22	7.20	7.90	0.00	1.19	16.29	0.24	7.23	6.47	0.00	1.27	14.97
	0.32	16.37	11.61	0.00	1.72	29.70	0.31	14.53	12.64	0.00	1.94	29.11	0.33	15.10	12.44	0.00	2.08	29.62
	0.42	35.63	15.37	8.43	1.82	61.25	0.40	35.76	18.20	0.00	1.95	55.91	0.43	45.70	17.60	12.12	2.13	77.55
	0.51	40.41	16.61	16.90	1.81	75.73	0.49	38.79	18.93	15.34	1.98	75.03	0.53	50.39	18.40	18.57	2.53	89.89
	0.62	41.79	16.27	27.09	1.81	86.96	0.58	38.79	20.16	26.71	2.74	88.40	0.64	50.39	18.40	37.61	2.81	109.22
	0.72	41.79	16.28	57.23	2.12	117.42	0.68	38.79	20.16	53.16	2.74	114.84	0.75	50.39	18.40	66.61	2.81	138.22
	0.81	41.80	16.26	54.78	2.09	114.93	0.77	38.79	20.16	68.16	2.74	129.84	0.84	50.39	18.40	72.14	2.81	143.75
	0.91	41.78	16.26	54.10	2.09	114.23	0.86	38.79	20.16	68.09	2.74	129.77	0.94	50.39	18.40	73.46	2.81	145.06
	0.98	41.77	16.25	54.00	2.08	114.10	0.96	38.77	20.15	68.07	2.08	129.07	1.00	50.39	18.40	73.46	2.81	145.06

Cuadro 2.6 Cálculo de tasa de acumulación de MS y factores de repartición (FDR) de la Línea M – 152 A, en Villa de Tezontepec, Hidalgo, México.

EMD	Materia seca acumulada						Tasa de acumulación de materia seca						FDR (% tasa de acumulación de MS)					
	FH	FT	FG	FR	Total		EMD	FH	FT	FG	FR	Total	EMD	FH	FT	FG	FR	
	0.00	0.50	0.00	0.00	0.24	0.74	0.00	0.50	0.00	0.00	0.24	0.74	0.00	0.68	0.00	0.00	0.00	0.32
0.06	4.17	0.00	0.00	0.61	4.78	0.06	3.67	0.00	0.00	0.37	4.04	0.06	0.91	0.00	0.00	0.00	0.09	
0.16	5.44	16.39	0.00	1.30	23.13	0.16	1.27	16.39	0.00	0.69	18.35	0.16	0.07	0.89	0.00	0.00	0.04	
0.27	12.30	35.45	0.00	1.40	49.15	0.27	6.86	19.06	0.00	0.10	26.02	0.27	0.26	0.73	0.00	0.00	0.00	
0.38	17.50	35.76	15.51	1.57	70.34	0.38	5.20	0.31	15.51	0.17	21.19	0.38	0.25	0.01	0.73	0.01	0.01	
0.48	18.80	36.21	45.77	2.06	102.84	0.48	1.30	0.45	30.26	0.49	32.50	0.48	0.04	0.01	0.93	0.02	0.02	
0.59	20.40	38.15	59.08	3.35	120.98	0.59	1.60	1.94	13.31	1.29	18.14	0.59	0.09	0.11	0.73	0.07	0.07	
0.70	20.40	38.15	59.08	3.35	120.98	0.70	0.00	0.00	3.35	0.00	3.35	0.70	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	
0.80	20.40	38.15	59.08	3.35	120.98	0.80	0.00	0.00	3.35	0.00	3.35	0.80	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	
0.90	20.40	38.15	59.08	3.35	120.98	0.90	0.00	0.00	3.35	0.00	3.35	0.90	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	
1.00	20.40	38.15	59.08	3.35	120.98	1.00	0.00	0.00	3.35	0.00	3.35	1.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	

Los resultados de los ajustes a los FDR se interpolaron a valores fijos de EMD de 0.0, 0.1, 0.2, 0.3, ..., 1.0 con el fin de comparar los genotipos en los mismos valores de EMD (Cuadro 2.7). Se presentan estos resultados en la localidad de Villa de Tezontepec y se realizaron en las otras dos localidades para la Línea M – 152 A (Cuadro 8). Finalmente se obtuvo el promedio de las tres localidades para la Línea M – 152 A. De acuerdo con los procedimientos seguidos para la Línea M – 152 A, se efectuó el cálculo de la misma manera con los dos cultivares Esmeralda y Adabella, los promedios se presentan en los Cuadros 2.9, 2.10 y 2.11 y en las Figuras 2.9, 2.10 y 2.11.

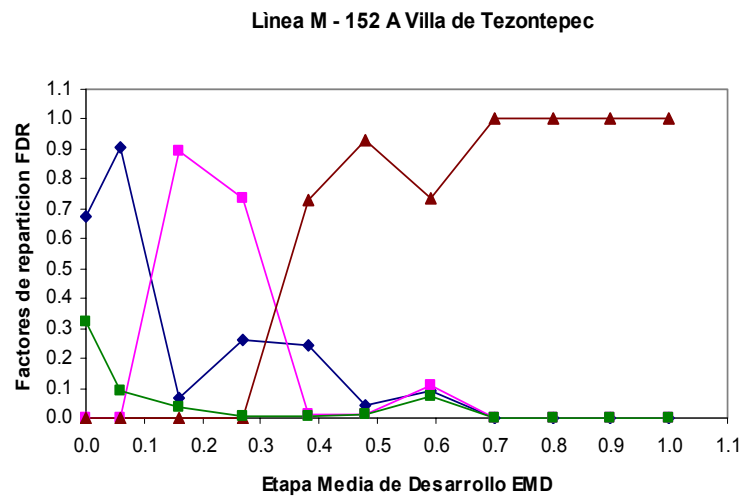


Figura 2.7 Representación grafica de los FDR (Cuadro 6) de la Línea M – 152 A en Villa de Tezontepec, Hidalgo, México.

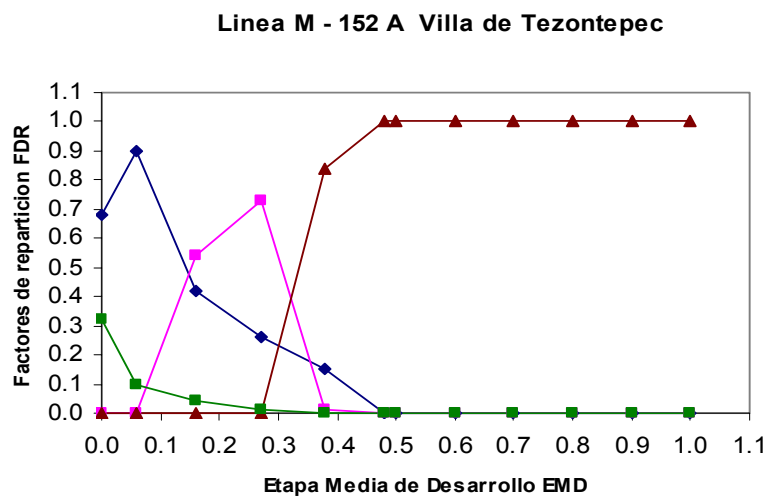


Figura 2.8 Representación grafica de los FDR ajustados (Cuadro 7) de la Línea M – 152 A en Villa de Tezontepec, Hidalgo, México.

Cuadro 2.7 Ajustes de congruencia de los FDR e interpolación a valores fijos de las EMD de la Línea M-152 A en Villa de Tezontepec, Hidalgo.

Ajuste de Congruencia de la FDR					Interpolación a valores fijos de EMD				
EMD	FH	FT	FG	FR	EMD	FH	FT	FG	FR
0.00	0.68	0.00	0.00	0.32	0.00	0.68	0.00	0.00	0.32
0.06	0.90	0.00	0.00	0.10	0.10	0.71	0.22	0.00	0.08
0.16	0.42	0.54	0.00	0.04	0.20	0.36	0.61	0.00	0.03
0.27	0.26	0.73	0.00	0.01	0.30	0.23	0.53	0.23	0.01
0.38	0.15	0.01	0.84	0.00	0.40	0.12	0.01	0.87	0.00
0.48	0.00	0.00	1.00	0.00	0.48	0.00	0.00	1.00	0.00
0.50	0.00	0.00	1.00	0.00	0.50	0.00	0.00	1.00	0.00
0.60	0.00	0.00	1.00	0.00	0.60	0.00	0.00	1.00	0.00
0.70	0.00	0.00	1.00	0.00	0.70	0.00	0.00	1.00	0.00
0.80	0.00	0.00	1.00	0.00	0.80	0.00	0.00	1.00	0.00
0.90	0.00	0.00	1.00	0.00	0.90	0.00	0.00	1.00	0.00
1.00	0.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	0.00	1.00	0.00

Cuadro 2.8 Valores de los FDR de la Línea M – 152 A en tres localidades de Hidalgo

Villa de Tezontepec					Apan					Almolya				
EMD	FH	FT	FG	FR	EMD	FH	FT	FG	FR	EMD	FH	FT	FG	FR
0.00	0.68	0.00	0.00	0.32	0.00	0.53	0.00	0.00	0.47	0.00	0.53	0.00	0.00	0.47
0.10	0.71	0.22	0.00	0.08	0.10	0.70	0.18	0.00	0.12	0.10	0.60	0.30	0.00	0.10
0.20	0.36	0.61	0.00	0.03	0.20	0.37	0.57	0.00	0.06	0.20	0.33	0.63	0.00	0.04
0.30	0.23	0.53	0.23	0.01	0.30	0.23	0.74	0.00	0.03	0.30	0.22	0.74	0.00	0.01
0.40	0.12	0.01	0.87	0.00	0.40	0.15	0.69	0.16	0.00	0.40	0.11	0.35	0.53	0.00
0.50	0.00	0.00	1.00	0.00	0.50	0.00	0.00	1.00	0.00	0.50	0.02	0.05	0.93	0.00
0.60	0.00	0.00	1.00	0.00	0.60	0.00	0.00	1.00	0.00	0.60	0.00	0.00	1.00	0.00
0.70	0.00	0.00	1.00	0.00	0.70	0.00	0.00	1.00	0.00	0.70	0.00	0.00	1.00	0.00
0.80	0.00	0.00	1.00	0.00	0.80	0.00	0.00	1.00	0.00	0.80	0.00	0.00	1.00	0.00
0.90	0.00	0.00	1.00	0.00	0.90	0.00	0.00	1.00	0.00	0.90	0.00	0.00	1.00	0.00
1.00	0.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	0.00	1.00	0.00

Cuadro 2.9 Factores de repartición de la Línea M – 152 A, promedio en Hidalgo.

EMD	FH	FT	FG	FR
0.00	0.58	0.00	0.00	0.42
0.10	0.67	0.23	0.00	0.10
0.20	0.36	0.60	0.00	0.04
0.30	0.23	0.67	0.08	0.02
0.40	0.13	0.35	0.52	0.00
0.50	0.00	0.00	1.00	0.00
0.60	0.00	0.00	1.00	0.00
0.70	0.00	0.00	1.00	0.00
0.80	0.00	0.00	1.00	0.00
0.90	0.00	0.00	1.00	0.00
1.00	0.00	0.00	1.00	0.00

RT = 977.6 UC Tb = 4 Floración EMD = 0.50

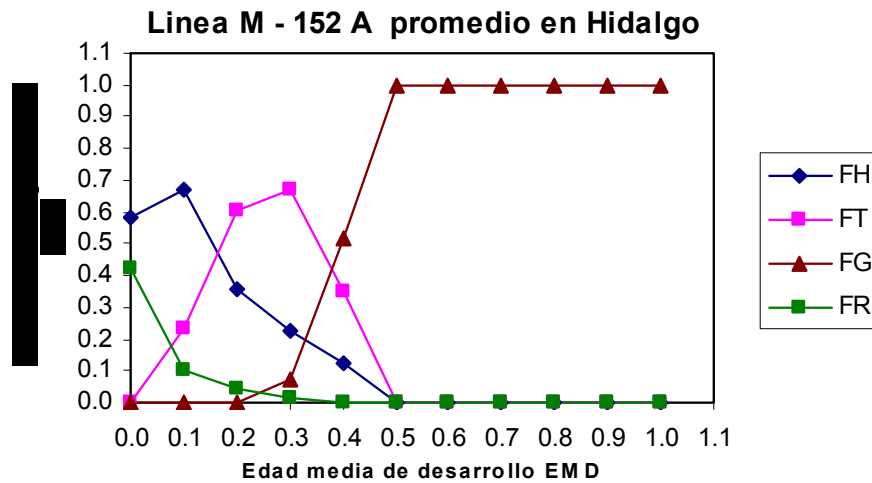


Figura 2.9 Representación grafica de los FDR promedio en Hidalgo de la Línea M – 152 A.

Cuadro 2.10 Factores de repartición del cultivar Esmeralda, promedio en Hidalgo.

EMD	FH	FT	FG	FR
0.00	0.56	0.00	0.00	0.44
0.10	0.67	0.18	0.00	0.15
0.20	0.45	0.48	0.00	0.07
0.30	0.32	0.62	0.03	0.03
0.40	0.15	0.48	0.36	0.01
0.50	0.03	0.17	0.80	0.00
0.60	0.00	0.00	1.00	0.00
0.70	0.00	0.00	1.00	0.00
0.80	0.00	0.00	1.00	0.00
0.90	0.00	0.00	1.00	0.00
1.00	0.00	0.00	1.00	0.00

RT = 1014 UC Tb = 4 Floración EMD = 0.52

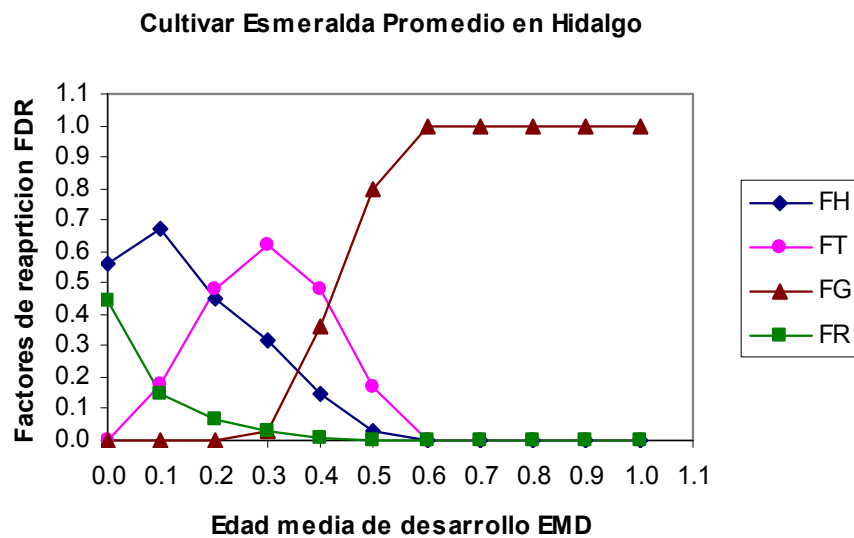


Figura 2.10 Representación grafica de los FDR promedio en Hidalgo del cultivar Esmeralda.

Cuadro 2.11 Factores de repartición del cultivar Adabella, promedio en Hidalgo.

EMD	FH	FT	FG	FR
0.00	0.55	0.00	0.00	0.45
0.10	0.61	0.27	0.00	0.12
0.20	0.33	0.61	0.00	0.06
0.30	0.19	0.76	0.01	0.03
0.40	0.11	0.55	0.34	0.00
0.50	0.02	0.09	0.90	0.00
0.60	0.00	0.00	1.00	0.00
0.70	0.00	0.00	1.00	0.00
0.80	0.00	0.00	1.00	0.00
0.90	0.00	0.00	1.00	0.00
1.00	0.00	0.00	1.00	0.00

RT = 1065 UC Tb = 4 Floración EMD = 0.54

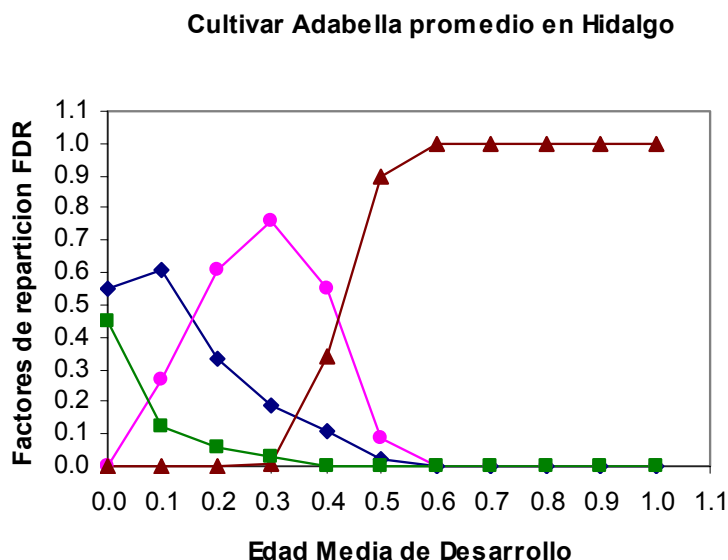


Figura 2.11 Representación grafica de los FDR promedio en Hidalgo del cultivar Adabella.

Obtenidos los promedios de los factores de repartición de cada genotipo, se realizaron las comparaciones por cada factor de repartición de cada genotipo (por cada órgano de la planta).

Para la fracción raíz, presenta una tendencia logarítmica descendente, en el cual el factor de repartición mayor, fue al inicio de la germinación, disminuyendo la EMD de

0.1 y 0.2 y detienen su desarrollo en la EDM 0.3 el cultivar Adabella y la Línea M – 152 A, mientras que el cultivar Esmeralda interrumpe su desarrollo en la EDM 0.4 (Cuadro 2.12). Se observa que el porcentaje de tasa de desarrollo (FDR) de la raíz para los cultivares Esmeralda y Adabella, son muy similares a la germinación, aunque es mayor para Esmeralda en las siguientes EMD. La Línea M – 152 A presenta un menor factor de repartición que los otros dos cultivares (Figura 2.12), tal vez por presentar un ciclo de cultivo mas corto.

Cuadro 2.12 Factor de repartición de la raíz FR de tres genotipos evaluados en Hidalgo.

EMD	Esmeralda	Adabella	M – 152 A
0.0	0.44	0.45	0.42
0.1	0.16	0.12	0.10
0.2	0.07	0.06	0.04
0.3	0.03	0.03	0.02
0.4	0.01	0.00	0.00
0.5	0.00	0.00	0.00

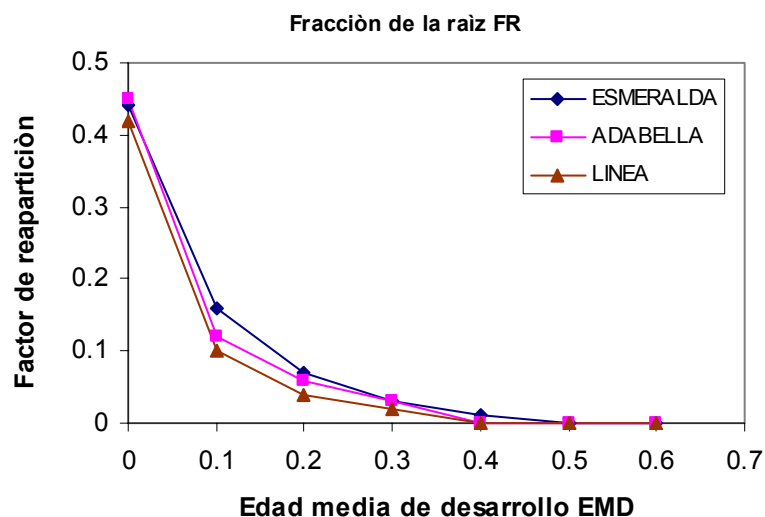


Figura 2.12 Análisis de la fracción raíz FR de tres genotipos evaluados en Hidalgo.

Al analizar la fracción hoja FH, se observó que en la germinación (EMD = 0.0) la Línea M – 152 A presenta el mayor valor, siendo el genotipo con el ciclo de cultivo mas corto e inicia con mayor precocidad. En EMD = 0.1 la fracción de la hoja aumenta en los tres genotipos, con equivalentes resultados para el cultivar Esmeralda y la Línea M – 152 A, mayores que el del cultivar Adabella; para las siguientes EMD, el factor de repartición fue mayor para el cultivar Esmeralda, seguido de la Línea M – 152 A, y finalmente el cultivar Adabella con el menor factor de repartición (Cuadro 2.13). Una característica que tiene la Línea M – 152 A es su mayor precocidad, que se manifiesta en el factor de repartición de la hoja que termina una EMD antes que los otros dos cultivares. Cabe señalar que el cultivar Esmeralda, siempre presenta mayor fracción de hoja (Figura 2.13), lo que puede notarse que es mas precoz que el cultivar Adabella, que presenta su fracción de hoja menor, porque su ciclo es mayor; no obstante, al comparar el cultivar Esmeralda y la Línea M – 152 A, no parece congruente con lo descrito anteriormente, pero se puede explicar por las características fenotípicas identificadas en campo de estos genotipos, que el cultivar Esmeralda presenta mayor follaje que la Línea M – 152 A, así como el cultivar Adabella también presenta esta característica de mayor follaje, pero con un ciclo de cultivo mas largo.

Cuadro 2.13 Factor repartición de la hoja FH de tres genotipos evaluados en Hidalgo.

EMD	Esmeralda	Adabella	M – 152 A
0.0	0.56	0.55	0.58
0.1	0.67	0.61	0.67
0.2	0.45	0.33	0.36
0.3	0.32	0.19	0.23
0.4	0.15	0.11	0.13
0.5	0.03	0.02	0.00
0.6	0.00	0.00	0.00

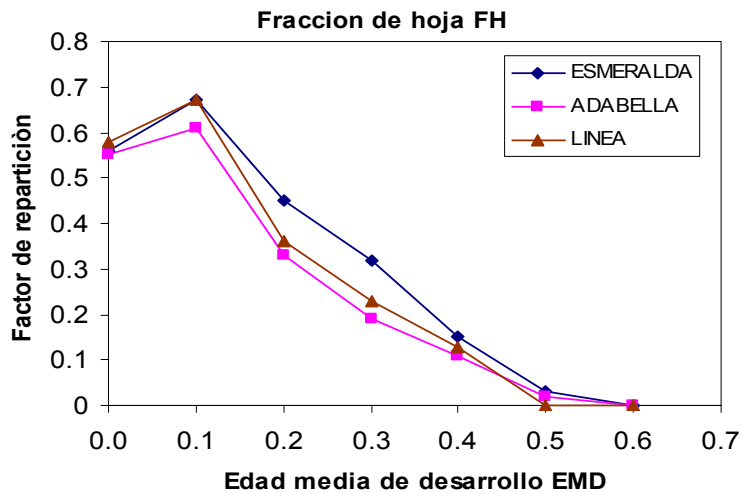


Figura 2.13 Análisis de la fracción hoja FH de tres genotipos evaluados en Hidalgo.

Los resultados del factor de repartición del tallo, muestran que el cultivar Adabella presenta el valor más alto en casi todas las EMD y el cultivar Esmeralda presenta el menor valor (Cuadro 2.14). Lo anterior se debe a la estructura fenotípica del cultivar Adabella, que tiene una altura de planta mayor que el del cultivar Esmeralda; no obstante la Línea M – 152 A, aunque presenta valores mayores que el cultivar Esmeralda, estos valores se obtiene en menor cantidad de tiempo que los otros dos cultivares, sustentado en la mayor precocidad que tiene este genotipo (menor ciclo de cultivo). En el Cuadro 1, se observa que los resultados de rendimientos obtenidos (el cultivar Adabella y la Línea M – 152 A mostraron mayor rendimiento que el cultivar Esmeralda), que a mayor factor de repartición de tallo durante las primeras etapas de desarrollo del cultivo, se manifiesta mayor rendimiento (Figura 2.14).

Cuadro 2.14 Factor repartición del tallo FR de tres genotipos evaluados en Hidalgo.

Factor repartición del tallo FT			
EMD	Esmeralda	Adabella	M – 152 A
0.0	0.00	0.00	0.00
0.1	0.18	0.27	0.23
0.2	0.48	0.61	0.60
0.3	0.62	0.76	0.67
0.4	0.48	0.55	0.35
0.5	0.17	0.09	0.00
0.6	0.00	0.00	0.00

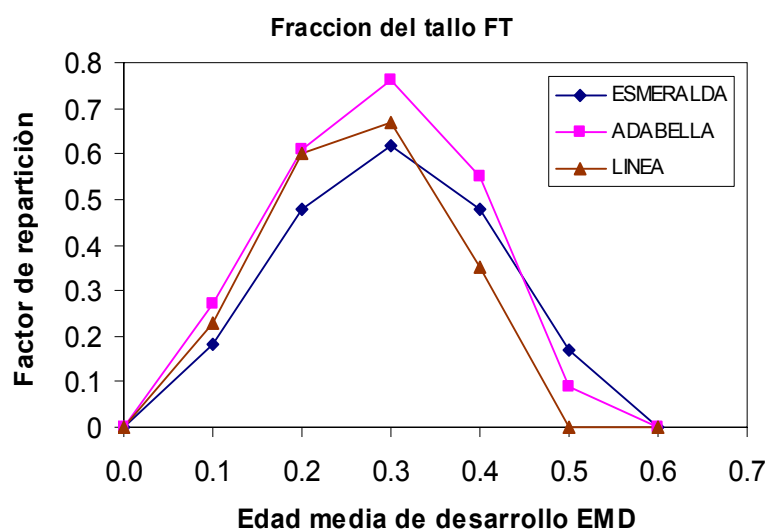


Figura 2.14 Análisis de la fracción tallo FT de tres genotipos evaluados en Hidalgo.

En el Cuadro 2.15, se muestran los resultados de la fracción grano FG de los tres genotipos de estudio, en el cual se observa que la Línea M – 152 A inicia con mayor porcentaje de tasa hasta llegar a la floración, en donde los otros dos cultivares se homologan, pero siempre es menor su porcentaje de tasa de acumulación de materia seca en grano. Estos resultados respaldan la siguiente aseveración: a mayor porcentaje de tasa de acumulación anticipada del grano o espiga, mayor

rendimiento (Figura 2.15). Los cultivares Esmeralda y Adabella, muestran un comportamiento muy similar en el desarrollo del grano, quizás por la razón de que el cultivar Adabella tiene características de herencia directa del cultivar Esmeralda (Zamora¹, 2008, comunicación personal)

Cuadro 2.15 Factor repartición del grano FG de tres genotipos evaluados en Hidalgo.

Factor repartición del grano FG			
EMD	Esmeralda	Adabella	M – 152 A
0	0.00	0.00	0.00
0.1	0.00	0.00	0.00
0.2	0.00	0.00	0.00
0.3	0.03	0.01	0.08
0.4	0.36	0.34	0.52
0.5	0.8	0.9	1.00
0.6	1.00	1.00	1.00
0.7	1.00	1.00	1.00
0.8	1.00	1.00	1.00
0.9	1.00	1.00	1.00
1.00	1.00	1.00	1.00

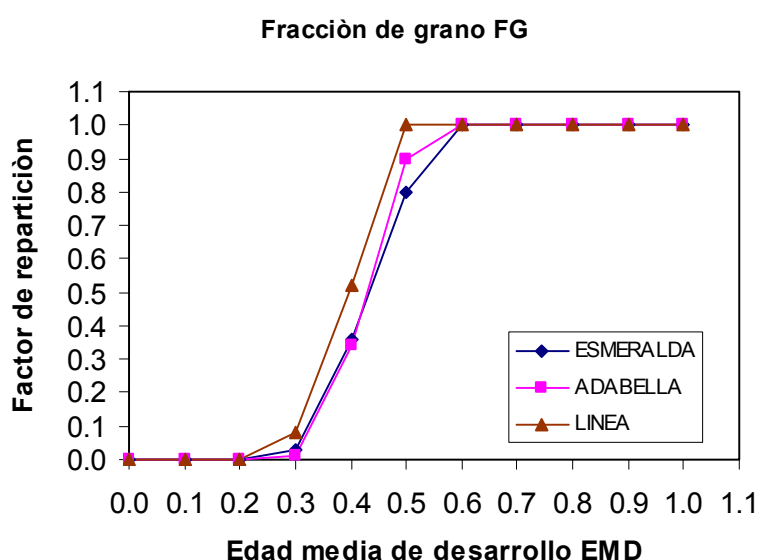


Figura 2.15 Análisis de la fracción grano FG de tres genotipos evaluados en Hidalgo.

¹ Zamora Diaz, M. Investigador INIFAP – CIRCE. abril de 2008.

CONCLUSIONES

Existe una tendencia directamente proporcional de que a mayor MSI total, el rendimiento de grano de cebada se incrementa, aunque el coeficiente de regresión es bajo, ésta es clara de acuerdo a los resultados analizados.

Para los años con restricción hídrica, existe una correlación entre la MSI total y el incremento del rendimiento, con un coeficiente de regresión aceptable; sin embargo, para los años sin restricción hídrica esta correlación disminuye, pero presenta la misma tendencia.

Se observa una relación inversamente proporcional entre el rendimiento de grano y la T_m , el rendimiento de grano se incrementa a medida que disminuye la T_m .

La Línea M – 152 A, presenta el mayor rendimiento en las tres regiones de estudio en el estado de Hidalgo; y el cultivar Esmeralda fue el de menor rendimiento.

Se observaron diferencias entre los genotipos y sus factores de repartición, no obstante, las fracciones raíz y grano de los cultivares Esmeralda y Adabella son muy similares, posiblemente una razón podría ser la herencia directa del cultivar Adabella que proviene del cultivar Esmeralda.

La biomasa acumulada de la fracción hoja en las primeras etapas de desarrollo del cultivo, no está relacionada con el rendimiento de grano, de acuerdo a los resultados obtenidos del análisis de la fracción hoja de los genotipos evaluados.

La acumulación de materia seca del grano o espiga en las primeras etapas de desarrollo del cultivo, incrementa el rendimiento de la cebada.

Se recomienda evaluar por más años estos genotipos, y así explorar años con restricciones hídricas, ya que el año 2006 en el cual se sembró los experimentos de campo, fue considerado como un año sin limitación hídrica.

LITERATURA CITADA.

Alatorre F,G. 1994 Los Retos Frente al Cambio Climático, Fundación Friedrich Ebert. Grupo de Estudios Ambientales, A.C. México.

Boote K.J, J.W. Jones and N.B. Pickering. 1996. Potential uses and limitations of crop models. Agr. J. 98:704-716.

Cambio Climático Global. <http://www.cambioclimaticoglobal.com>. Disponible al 9 de abril de 2008.

Franco T., L. y R. Hidalgo. (eds.). 2003. Análisis Estadístico de Datos de caracterización Morfológica de Recursos Fitogenéticos. Boletín técnico no. 8, Instituto Internacional de Recursos Fitogenéticos (IPGRI), Cali, Colombia. 89 p.

García, E. 1973. Modificación al sistema de clasificación climática de Köppen. Instituto de Geografía. UNAM. México. 273 p.

Garduño R. 2004. ¿Qué es el efecto invernadero? (In) Cambio climático. Una visión desde México. Cambio Climático Global. <http://www.cambioclimaticoglobal.com>.

Gómez M., R., A. Turrent F., C. A. Ortiz. S. y B. Peña O. 2001. Análisis de las interacciones de seis factores de la producción. Agricultura Técnica en México. Vol. 27 No. 2 p 95-105.

Gómez M, R., J. P. Pérez C., A. Magallanes E., V. Rueda G., T Lozada F., M. Benavides J., H. Monroy R., M. A. Meneses L., E. Reyes C., A. Hernández T. y R. A. Arias C. 2005. Diagnostico de Producción y Rentabilidad de Cebada Grano en el Estado de Hidalgo del Ciclo Primavera Verano 2003 Modalidad Temporal

Gómez M, R., J. P. Pérez C., A. Magallanes E., V. Rueda G., T Lozada F., M. Benavides J., H. Monroy R., M. A. Meneses L., E. Reyes C., A. Hernández T. y R. A. Arias C. 2006. Diagnostico de Producción y Rentabilidad de Cebada Grano en el Estado de Hidalgo del Ciclo Primavera Verano 2004 Modalidad Temporal.

Gómez M,R., J.P. Pérez C., A. Magallanes E., V. Rueda G., T. Lozada F., M. Benavides J., H. Monroy R., M. A. Meneses L., E. Reyes C., A. Hernández T. y R. A. Arias C. 2006. Diagnostico de Producción y Rentabilidad de Cebada Grano en el Estado de Hidalgo del Ciclo Primavera Verano 2005 Modalidad Temporal.

- Gómez M, R., J. P. Pérez C., A. Magallanes E., V. Rueda G., T Lozada F., M. Benavides J., H. Monroy R., M. A. Meneses L., E. Reyes C., A. Hernández T. y R. A. Arias C. 2007. Diagnostico de Producción y Rentabilidad de Cebada Grano Temporal en el Estado de Hidalgo del Ciclo Primavera Verano 2006.
- Gómez. M,R. Zamora D.,M. y Arreola T,J,M. 2006. El Sistema de Labranza de Conservación en el Cultivo de Cebada de Temporal en el Estado de Hidalgo.
- González E., A. Solano H., S. Ramírez P., M. Zamora D.; M. Márquez C.; A. Ibáñez C.; J. Islas G. y Stanley W. 2006. Impacto Económico de Mejoramiento Genético de la Cebada en México: Variedad Esmeralda: México.
- Harlan, J. R. 1992. Crops and Man. 2nd ed. American Society of Agronomy. Madison, Wisconsin. USA.
- van Keulen H. and J. Wolf.1986. Modeling of agricultural production: weather, soils and crops. Wageningen.
- INIFAP. 2006. Metodología para modelar el crecimiento y desarrollo de cultivos. C.D. Notas del Diplomado en Sistemas de Apoyo a la Toma de Decisiones en Protección Vegetal, Celaya, Gto. Méx.
- Microsoft office. 2003. Programa de Excel. Redmont, Washington. E. U. A.
- Molina C, J. L. 1989 La cebada: Morfología, Fisiología, Genética, Agronomía y Usos Industriales. Ediciones MUNDI-PRENSA.
- Norma oficial Mexicana: NMX-FF-043.SCFI-2003. Secretaria de Economía, Publicada en el Diario Oficial el 18 de noviembre de 2003.
- SAGARPA-SIAP. 2007. Estadística básica Agrícola. Serie Histórica. <http://www.siap.gob.mx>. Disponible al 25 de abril de 2008.

**CAPÍTULO III. COMPARACIÓN DEL DESARROLLO DE TRES
GENOTIPOS DE CEBADA A PARTIR DE MODELOS DE
SIMULACIÓN DINÁMICA.**

CAPÍTULO III. COMPARACIÓN DEL DESARROLLO DE TRES GENOTIPOS DE CEBADA A PARTIR DE MODELOS DE SIMULACIÓN DINÁMICA.

INTRODUCCIÓN

El rendimiento de los cultivos puede verse afectado por factores intrínsecos relacionados con la fisiología y la genética, así como por la interacción de los propios componentes fisiológicos con genéticos. Pero además, se ven afectados por factores externos ambientales tales como radiación solar, temperatura, disponibilidad de nutrimentos y humedad del suelo, presencia de maleza, plagas y enfermedades. La tasa de crecimiento está determinada por la radiación solar y la temperatura, todo esto cuando los demás factores no sean una limitante (Ortiz, 1992; Nieves, 1995).

La producción de material orgánico por las plantas requiere no solo de la radiación, CO₂ y de agua, sino que demanda otros factores que forman parte de los tejidos de las plantas como el nitrógeno, fósforo, potasio, azufre, entre otros, los cuales pueden ser tomados por el sistema radical (van Keulen y Wolf, 1986).

Un modelo de simulación es la representación de la realidad de manera explicativa o descriptiva, la función de ese modelo es imitar el funcionamiento de un objeto o situación real (Dent y Blackie, 1992), es decir, solo se puede simular lo que se conoce (Ortiz² 2004, comunicación personal). Con base a lo anterior, es necesario la construcción de modelos de simulación dinámica, herramienta de la ciencia actual que permite la integración de los conocimientos de distintas disciplinas, para la descripción o explicación de fenómenos cuyo comportamiento puede expresarse como una función del tiempo, tal como ocurre en los procesos de crecimiento y desarrollo de los cultivos (Quijano *et al.*, 1995; INIFAP, 2006).

² Ortiz Solorio, Carlos A. Profesor Investigador. IRENAT. Colegio de Postgraduados.

El Programa de Mejoramiento de Cebada inicia en 1957 en la Oficina de Estudios Especiales (que en 1961 se convertiría en el INIA y en 1985 en el INIFAP) con el objetivo de liberar variedades con características agronómicas aceptables y para cumplir con los estándares de la calidad requerida por la industria maltera cervecera (Figueroa, 1985), lo cual dio inicio a la generación de variedades malteras que se han utilizado hasta nuestros días. Estas variedades son de ciclo corto y las etapas de desarrollo son: germinación, crecimiento de plántula, amacollamiento (producción de hijuelos), encañe (elongación del tallo), enbuchamiento, emisión de la espiga, floración, grano lechoso, grano masoso y madurez fisiológica (INIFAP, 2000).

La evaluación de genotipos ha sido un elemento importante para el incremento de rendimiento y producción de la cebada en Hidalgo, por lo que es necesario analizarlos y comparar su fenología y factores de repartición, tan diversos entre ellos. La evaluación debe además efectuarse considerando a los procesos de crecimiento y desarrollo del cultivo de la cebada.

El objetivo de este trabajo fue comparar tres genotipos de cebada maltera, con un modelo de simulación dinámico, que permitiera evaluarlos a un mismo nivel durante el proceso de crecimiento y desarrollo, así como realizar un análisis conjunto de todos los órganos de la planta.

La hipótesis planteada fue: Los modelos de simulación dinámica, al generar datos similares a los experimentales, explican de manera lógica e integral la diferencia entre genotipo; y en particular establecen las causas por las cuales el cultivar de ciclo mas corto es mas rendidor.

MATERIALES Y MÉTODOS

Las características del sitio experimental, el diseño experimental, toma de muestras de planta y genotipos utilizados en esta investigación, se describen en el Capítulo I y II de esta Tesis.

Los datos de clima utilizados (Temperatura mínima, Temperatura máxima, radiación global y precipitación pluvial), fueron obtenidos de las estaciones agroclimáticas automatizadas del INIFAP, instaladas en la región sureste del estado de Hidalgo, con envío y registro de información a la base central cada 15 minutos. Las estaciones utilizadas fueron tres: Almoloya, Apan y Tolcayuca.

Los datos climáticos analizados en el capítulo II, mostraron que el año 2006, año en que se sembraron los experimentos de campo y que fueron utilizados en ese estudio, se considera como un año sin restricción hídrica, por lo que se parte del supuesto que se puede utilizar un modelo de simulación para la estimación del rendimiento potencial.

El modelo de simulación que se utilizó para la comparación de genotipos de cebada maltera fue el descrito por van Keulen y Wolf (1986), cuyos procedimientos tienen como principio, una serie de cálculos para periodos de tiempo determinado (decenas), que empieza en el momento en que la biomasa del cultivo puede ser descrita en forma cuantitativa, es decir, en la emergencia, la cual se le llamó materia seca inicial (MSI) y se obtuvo de acuerdo a lo descrito en el Capítulo II de esta Tesis. Es requerimiento para el modelo de simulación la información climática y cálculos de parámetros en forma decenal de la Temperatura media (T_m), Precipitación pluvial acumulada (PP), Radiación global media (R_g media) y la Evapotranspiración de

referencia (E_{t_0}). Este último parámetro, se calcula con Ecuación de evapotranspiración de referencia de Hargreaves (FAO, 2004):

$$E_{t_0} = 0.0023(T_{\text{media}} + 17.8)(T_{\text{max}} - T_{\text{min}})^{0.5} R_a$$

Donde: E_{t_0} = Evapotranspiración de referencia en $\text{cal cm}^{-2} \text{ día}^{-1}$,

T_{media} = Temperatura media en $^{\circ}\text{C}$,

T_{max} = Temperatura máxima en $^{\circ}\text{C}$,

T_{min} = Temperatura mínima en $^{\circ}\text{C}$,

R_a = Radiación teórica en $\text{cal cm}^{-2} \text{ día}^{-1}$.

Los cálculos del modelo se realizan en forma tabular, por períodos de 10 días o bien dividiendo el mes en tres decenas (bajo el supuesto de 10 días por decena), se utilizan 24 parámetros los cuales se describen a continuación.

Temperatura acumulada (TSUM). Se obtuvo multiplicando la temperatura media (T_m) menos la temperatura base ($T_b = 4^{\circ}\text{C}$), que son las unidades calor (UC), por el número de días (ND) de la etapa o periodo; $\text{TSUM} = (T_m - T_b) \cdot \text{ND}$.

Etapa de desarrollo (EDD). El ciclo del cultivo se estimó como un solo período de 0.0 a 1.0 de la emergencia a la madurez fisiológica, y se obtuvo la EDD dividiendo TSUM entre las UC totales del ciclo del cultivo; $\text{EDD} = \text{TSUM} / \text{UC totales}$.

Etapa media de desarrollo (EMD). Se calculó sumando la EDD del final de la decena anterior con la EDD de la decena actual y dividiendo entre dos; $\text{EMD} = (\text{EDD}_1 + \text{EDD}_2) / 2$.

Producción potencial de materia seca (FGS). Se estima a partir de la R_g registrada y de la radiación fotosintéticamente activa (A_c) reportada en tablas, se obtiene también de la misma forma la tasa bruta de asimilación de CO_2 para días nublados (F_{ov}) y para días despejados (F_{cl}). Además se calcula la fracción del día en la que el cielo está cubierto o nublado (f_o): $f_o = (A_c - 0.5R_g) / 0.8A_c$, y se genera la tasa bruta de asimilación de CO_2 por la canopia (F_{gc}): $F_{gc} = f_o * F_{ov} + (1 - f_o) * f_{cl}$. Finalmente se obtiene la FGS promedio por períodos de 10 días: $FGS = F_{gc} * 30/44$.

Tasa de asimilación bruta (GASS). Se obtuvo multiplicando la F_{gs} por un factor de reducción debido a la incompleta intercepción de la energía solar, que esta en función del índice de área foliar (IAF), y se calcula con la siguiente ecuación: $GASS = F_{gs} * (1 - e^{-0.44 * IAF})$.

Respiración de mantenimiento (MRES). Se estimó multiplicando el peso de materia seca viva (TDWL) anterior o del período precedente, por la tasa de respiración de mantenimiento relativo (TR). La TR toma valores de 0.015 hasta la floración o antesis y después cambia al valor de 0.01 hasta la madurez fisiológica (Heemst, 1986).

Producción de asimilación primaria (ASAG). Se obtuvo por la resta de la GASS menos la MRES; $ASAG = GASS - MRES$.

Productos de asimilación disponible (DMI). Se genera multiplicando a la ASAG se multiplicó por la eficiencia de conversión de asimilados, que según Heemst

(1986), hasta la antesis tiene un valor de 0.7 y después toma el valor de 0.8 hasta la madurez fisiológica.

Factores de repartición de raíz (FR). Este parámetro se obtuvo con los datos de experimentos de campo de acuerdo al procedimiento descrito en el Capítulo II, de esta Tesis. Después de la floración no se utilizan asimilados en el sistema de raíz por lo que adquiere el valor de cero.

Fracción de incremento destinado a raíz (IWRT). Se calculó multiplicando la DMI por el FR, expresando al por ciento en forma decimal y multiplicado por el número de días del período; $IWRT = DMI * FR * ND$.

Peso de Raíz (WRT). Se estimó con la suma del peso seco de raíz (WRT) inicial o del período precedente más la IWRT; $WRT = WRT_{\text{inicial o anterior}} + IWRT$.

Factores de repartición de Hoja (FL). Este parámetro se obtuvo de datos de experimentos de campo de acuerdo al procedimiento descrito en el Capítulo II, de este documento. Después de la floración FL se considera cero.

Fracción de incremento destinado a hojas (IWLTV). Se calculó multiplicando el DMI por el FH, expresado en forma decimal y multiplicado por el número de días del período; $IWLTV = DMI * FL * ND$. Después de la floración se tiene una fracción constante de senescencia de hojas de 0.02 kg por día, por lo que el peso de hojas (WLV) del período anterior se multiplica por el valor constante de senescencia de hojas que es convertido en una disminución, más que en un incremento, debido a

que son hojas que no tiene actividad fotosintética y mueren; $IWLV_{+ \text{ floración}} = WLV_{+ \text{ floración}} * -0.02$.

Peso de hojas (WLV). Se estimó con la suma del peso seco de Hojas (WLV) inicial o del período precedente mas la IWLV; $WLV = WLV_{\text{inicial o anterior}} + IWLV$.

Factores de repartición del tallo (FS). Al Igual que los anteriores FDR, este parámetro se obtuvo de datos de experimentos de campo de acuerdo al procedimiento descrito en el Capítulo II, de este documento. Después de la floración $FS = 0$.

Fracción de incremento destinado a tallo (IWST). Se obtuvo multiplicando la DMI por el factor de repartición de tallo (FS) y por el ND del período; $IWST = DMI * FS * ND$.

Peso de tallo (WST). Se estimó con la suma del peso seco de tallo (WST) inicial o del período precedente más la IWST; $WST = WST_{\text{inicial o anterior}} + IWST$.

Factores de repartición de grano (FG). Al Igual que los anteriores FDR, este parámetro se obtuvo de datos de experimentos de campo de acuerdo al procedimiento descrito en el Capítulo II de este documento. Después de la floración toma el valor de 1, ya que se parte del supuesto de que todos los fotosintatos disponibles son traslocados al grano.

Fracción de incremento destinado al grano (IWGR). Se obtuvo multiplicando la DMI por el factor de repartición de grano (FG) y por el ND del período; $IWGR = DMI * FG * ND$.

Peso de grano (WGR). Se estimó con la suma del peso seco de grano (WGR) inicial o del período precedente más la IWGR; $WGR = WGR_{\text{inicial o anterior}} + IWGR$.

Índice de área foliar (LAI). Se obtuvo de acuerdo van Keulen y Wolf (1986), este parámetro se calcula de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$LAI = WLW * (AFE/10000)$$

Donde:

AFE = área foliar específica (varía de 18 a 27 m² kg⁻¹)

WLW = Peso de hojas en kg ha⁻¹

Este parámetro y el número de plantas por hectárea, fueron utilizados como factores de ajuste, en el modelo dinámico para la variable rendimiento de grano.

Peso seco aéreo de la planta (TADW). Es la suma de los pesos totales de hojas, tallo y grano por etapa media de desarrollo (EMD); $TADW = WLW + WST + WGR$.

Peso seco total de la planta (TDW). Es la suma del peso seco aéreo de la planta (TADW) y el peso seco total de raíz (WRT); $TDW = TADW + WRT$.

Peso seco total de la planta viva (TDWL). Se estimó restando la TDW el producto del peso total de las hojas (WLW) por el factor de senescencia (0.02 kg día⁻¹), el cual solo se calcula a partir de la floración.

La elaboración de la plantilla de cálculo tabular del modelo de simulación dinámico, se realizó en una hoja de cálculo del programa de Excel (2003), para lo cual se identificó cada una de las columnas de acuerdo a la metodología antes descrita.

Con los resultados de rendimiento de grano obtenido del modelo dinámico de simulación, se realizó un análisis de regresión entre los rendimientos experimentales y estimados, para analizar estadísticamente el ajuste del modelo.

Finalmente se realizó la comparación de los genotipos con los resultados del modelo dinámico para determinar las diferencias en el desarrollo fenológico y acumulación de materia seca correspondientes para probar la hipótesis planteada.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los cálculos obtenidos de las variables climáticas a nivel decenal como requerimiento para el modelo de simulación dinámico utilizado, se muestran el Cuadro 3.1, donde se puede observar, que las temperaturas medias decenales en la localidad de Almoloya, son mas bajas que en las otras dos localidades que expresan mayor incidencia de amacollamiento; También la precipitación es mayor y el valor de la E_{t_0} , es menor, combinación de parámetros que se ven reflejados en un incremento en el rendimiento de grano.

En el Cuadro 3.2, se presentan los resultados obtenidos de la producción potencial de materia seca (Fgs) y el factor de reducción debido a la incompleta intercepción (fh), que esta en función del índice de área foliar (IAF), calculado con la ecuación $fh = 1 - e^{(-0.44 \cdot IAF)}$. Estos parámetros permiten estimar la tasa de asimilación bruta (GASS), de acuerdo a lo descrito en la metodología planteada.

Cuadro 3.1 Datos decenales de las variables climáticas requeridas para el modelo de simulación.

Localidad	Mes	Decena	Rg cal cm ⁻² día ⁻¹	Tm °C	PP mm	Et _o mm
Almoloya FS[†] 185 (Dj)	Julio	1	370.44	12.7	13.8	3.73
		2	407.24	11.1	18.0	3.78
		3	288.73	12.1	77.0	3.37
	Agosto	1	300.40	12.1	64.4	3.20
		2	359.27	12.1	84.6	4.09
		3	348.62	12.7	38.2	3.80
	septiembre	1	306.87	12.8	36.0	3.52
		2	335.73	13.7	19.2	3.64
		3	335.26	12.7	65.6	3.61
	Octubre	1	318.48	11.6	7.4	2.93
		2	276.66	14.4	10.4	3.17
		3	339.12	10.9	48.2	3.20
Apan FS 166 (Dj)	Junio	2	451.54	14.3	17.2	4.83
		3	407.07	14.2	21.6	3.94
		1	385.72	14.9	15.0	4.11
	Julio	2	403.39	13.1	13.6	4.40
		3	322.22	14.2	54.0	3.84
		1	329.09	14.2	34.6	3.64
	agosto	2	433.18	13.7	22.4	4.68
		3	354.80	14.4	56.0	4.24
		1	334.84	14.8	26.2	3.97
	septiembre	2	365.51	15.7	7.6	4.00
		3	363.66	14.6	46.4	4.11
		1	349.61	14.1	1.0	3.43
V. Tezontepec FS 180 (Dj)	Junio	3	436.77	15.4	33.6	3.90
	Julio	1	408.89	16.4	33.6	4.49
		2	458.59	15.1	4.8	4.63
		3	356.30	15.6	34.2	4.18
	Agosto	1	346.80	16.0	25.2	3.95
		2	436.74	15.4	15.0	4.86
		3	367.57	15.9	49.0	4.49
	septiembre	1	349.84	16.0	84.0	4.06
		2	396.31	16.5	2.0	4.36
		3	363.93	15.3	89.2	4.14
	Octubre	1	360.67	15.1	3.4	3.40
		2	336.68	16.7	30.6	3.73

[†] FS = Fecha de siembra

Dj = Día juliano

Cuadro 3.2 Producción potencial de materia seca (Fgs) y factor de reducción de tres genotipos de cebada en tres localidades del estado de Hidalgo, México ciclo P-V 2006.

N°	Almoloya					Apan			Villa de Tezontepec			
	Fgs	Fh			Fgs	fh			Fgs	fh		
		Esm.	Adab.	152 A		Esm.	Adab.	152 A		Esm.	Adab.	152 A
1	351	0.021	0.034	0.034	393	0.019	0.024	0.022	385	0.019	0.023	0.026
2	369	0.042	0.071	0.071	370	0.037	0.048	0.046	371	0.025	0.031	0.035
3	307	0.112	0.185	0.186	359	0.096	0.122	0.147	396	0.067	0.086	0.098
4	310	0.216	0.331	0.321	368	0.187	0.246	0.255	341	0.148	0.175	0.190
5	338	0.345	0.465	0.446	324	0.295	0.339	0.356	334	0.238	0.248	0.268
6	329	0.473	0.567	0.545	325	0.355	0.398	0.406	377	0.286	0.296	0.302
7	304	0.541	0.629	0.593	325	0.366	0.415	0.407	377	0.292	0.306	0.297
8	316	0.555	0.636	0.596	375	0.355	0.415	0.356	339	0.261	0.280	0.251
9	311	0.476	0.637	0.541	332	0.296	0.356	0.297	327	0.215	0.231	0.206
10	311	0.404	0.582	0.464	319	0.245	0.297	0.245	348	0.176	0.190	0.169
11	295	0.339	0.502	0.393	332	0.201	0.245	0.202	326	0.144	0.155	0.138
12	268	0.282	0.428	0.329	326	0.164	0.202	0.165	-	-	-	-
13	298	0.233	0.360	0.273	-	-	-	-	-	-	-	-
14	295	0.191	0.300	0.225	-	-	-	-	-	-	-	-

Con las variables y parámetros calculados y tabulados en forma decenal de los Cuadros 3.1 y 3.2, se desarrolló el modelo de simulación dinámica conforme a lo descrito en el apartado de materiales y métodos. En los Cuadros 3.3, 3.4 y 3.5 se presentan los resultados de la variedad Esmeralda en cada una de las localidades evaluadas con experimentos de campo. De la misma forma como se obtuvieron los resultados de rendimiento de grano para el cultivar Esmeralda, se calcularon datos para los otros dos genotipos en estudio, que no se incluyen en este documento. El resultado de rendimiento de grano, se presenta al final de la columna número 23, correspondiente al peso del grano (WGR), que es donde se muestra la estimación de rendimiento de grano que tiene el modelo de simulación dinámica y que se encuentra interrelacionada con todas la demás columnas para poder realizar esta estimación del rendimiento. Mas adelante se discutirán las columnas correspondientes al peso de los órganos (raíz, hoja, tallo, grano y peso total).

Cuadro 3.3 Procedimiento del cálculo de rendimientos potenciales de cebada variedad Esmeralda, en la localidad de Villa de Tezontepec, Hidalgo. México, ajustada por plantas por hectárea y área foliar específica (AFE).

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
No.	Mes	Decena	Tm	TSUM	EDD	EMD	GASS	MRES	ASAG	DMI	FR	IWRT	WRT
0													12.90
1	Junio	3	15.4	22.8	0.02	0.01	7.16	0.44	6.72	4.70	0.41	3.84	16.74
2	Julio	1	16.4	146.8	0.14	0.08	9.13	0.58	8.55	5.98	0.21	12.32	29.06
3		2	15.1	257.8	0.25	0.20	26.61	1.49	25.12	17.59	0.07	12.34	41.40
4		3	15.6	373.8	0.37	0.31	50.48	4.12	46.36	32.45	0.03	8.99	50.39
5	Agosto	1	16	493.8	0.49	0.43	79.48	8.99	70.48	49.34	0.01	3.56	53.95
6		2a	15.4	550.8	0.54	0.52	108.00	10.93	97.07	77.65	0.00	0.00	53.95
7		2b	15.4	607.8	0.60	0.54	110.21	14.81	95.40	76.32	0.00	0.00	53.95
8		3	15.9	726.8	0.72	0.66	88.60	18.25	70.35	56.28	0.00	0.00	53.95
9	Sept.	1	16	846.8	0.84	0.78	70.38	23.35	47.03	37.62	0.00	0.00	53.95
10		2	16.5	971.8	0.96	0.90	61.33	26.69	34.64	27.72	0.00	0.00	53.95
11		3	15.3	1017	1.00	0.98	46.84	29.12	17.72	14.17	0.00	0.00	53.95

15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	
No.	FH	IWL	WLV	FT	IWST	WST	FG	IWGR	WGR	LAI	TADW	TDW	TDWL
0	0.00	0.00	16.4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0.04	16	29	29
1	0.57	5.38	21.8	0.02	0.19	0.19	0.00	0.00	0	0.06	22	39	39
2	0.65	39.02	60.8	0.15	9.01	9.20	0.00	0.00	0	0.16	70	99	99
3	0.45	79.24	140.0	0.48	84.30	93.50	0.00	0.00	0	0.36	234	275	275
4	0.30	97.49	237.5	0.60	195.96	289.47	0.07	22.05	22	0.62	549	599	599
5	0.12	57.49	295.0	0.39	194.16	483.63	0.48	238.18	260	0.77	1039	1093	1093
6	0.02	7.22	302.3	0.11	40.94	524.57	0.88	340.11	600	0.79	1427	1481	1481
7	0.00	-30.23	264.8	0.00	0.00	524.57	1.00	381.60	982	0.69	1771	1825	1795
8	0.00	-52.96	211.8	0.00	0.00	524.57	1.00	562.78	1545	0.55	2281	2335	2282
9	0.00	-42.37	169.5	0.00	0.00	524.57	1.00	376.21	1921	0.44	2615	2669	2627
10	0.00	-33.90	135.6	0.00	0.00	524.57	1.00	277.15	2198	0.35	2858	2912	2878
11	0.00	-27.12	108.5	0.00	0.00	524.57	1.00	141.73	2340	0.28	2973	3027	3000

Cuadro 3.4 Procedimiento del cálculo de rendimientos potenciales de cebada variedad Esmeralda, en la localidad de Apan, Hidalgo, México, ajustado por plantas por hectárea y área foliar específica (AFE).

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
No.	Mes	Decena	Tm	TSUM	EDD	EMD	GASS	MRES	ASAG	DMI	FR	IWRT	WRT
0													14.50
1	Junio	2	14.3	61.80	0.06	0.03	7.32	0.47	6.85	4.79	0.35	10.20	24.70
2		3	14.2	163.80	0.16	0.11	13.65	0.91	12.74	8.92	0.15	13.37	38.07
3	Julio	1	14.9	272.80	0.27	0.22	34.46	2.58	31.88	22.32	0.06	14.25	52.32
4		2	13.1	363.80	0.36	0.31	68.65	5.91	62.74	43.92	0.03	11.95	64.27
5		3	14.2	465.80	0.46	0.41	95.59	12.50	83.09	58.16	0.01	5.28	69.56
6	Agosto	1a	14.2	547.40	0.54	0.50	115.38	19.25	96.13	67.29	0.00	0.00	69.56
7		1b	14.2	567.80	0.56	0.55	119.10	18.22	100.88	80.71	0.00	0.00	69.56
8		2	13.7	664.80	0.66	0.61	115.31	18.22	97.09	77.67	0.00	0.00	69.56
9		3	14.4	768.80	0.76	0.71	110.89	19.67	91.22	72.98	0.00	0.00	69.56
10	Sept.	1	14.8	876.80	0.86	0.81	81.19	26.64	54.55	43.64	0.00	0.00	69.56
11		2	15.7	993.80	0.98	0.92	64.11	33.30	30.81	24.65	0.00	0.00	69.56
12		3	14.6	1015.00	1.00	0.99	54.55	37.15	17.39	13.92	0.00	0.00	69.56

	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27
No.	FH	IWL	WLV	FT	IWST	WST	FG	IWGR	WGR	LAI	TADW	TDW	TDWL
0			17.10							0.04	17	32	32
1	0.59	17.07	34.17	0.05	1.58	1.58	0.00	0.00	0	0.1	36	60	60
2	0.65	57.56	91.73	0.45	40.48	42.06	0.00	0.00	0	0.2	134	172	172
3	0.43	95.97	187.70	0.50	111.90	153.96	0.00	0.00	0	0.5	342	394	394
4	0.30	130.11	317.82	0.60	263.71	417.67	0.08	33.42	33	0.8	769	833	833
5	0.14	80.86	398.67	0.45	131.34	549.01	0.40	232.82	266	1.0	1214	1283	1283
6	0.03	16.27	414.94	0.17	92.19	641.21	0.80	429.87	696	1.0	1752	1822	1822
7	0.00	-16.60	398.35	0.00	0.00	641.21	1.00	161.41	858	1.0	1897	1967	1950
8	0.00	-79.67	318.68	0.00	0.00	641.21	1.00	776.71	1634	0.8	2594	2664	2584
9	0.00	-63.74	254.94	0.00	0.00	641.21	1.00	729.76	2364	0.6	3260	3330	3266
10	0.00	-50.99	203.95	0.00	0.00	641.21	1.00	436.42	2800	0.5	3646	3715	3664
11	0.00	-40.79	163.16	0.00	0.00	641.21	1.00	246.48	3047	0.4	3851	3921	3880
12	0.00	-6.53	156.64	0.00	0.00	641.21	1.00	27.83	3075	0.4	3873	3942	3936

Cuadro 3.5 Procedimiento del cálculo de rendimientos potenciales de cebada variedad Esmeralda, en la localidad de Almoloya, Hidalgo. México, ajustado por plantas por hectárea y área foliar específica (AFE).

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
No.	Mes	Decena	Tm	TSUM	EDD	EMD	GASS	MRES	ASAG	DMI	FR	IWRT	WRT
0													13.80
1	Julio	1	12.7	60.9	0.06	0.03	7.29	0.49	6.80	4.76	0.36	11.86	25.66
2		2	11.1	131.9	0.13	0.10	15.46	0.99	14.47	10.13	0.16	16.65	42.31
3		3	12.1	212.9	0.21	0.17	34.29	2.89	31.39	21.97	0.10	21.30	63.62
4	Agosto	1	12.1	293.9	0.29	0.25	66.99	6.20	60.79	42.55	0.05	21.28	84.90
5		2	12.1	374.9	0.37	0.33	116.59	11.87	104.72	73.30	0.02	8.81	93.71
6		3	12.7	461.9	0.46	0.41	155.66	22.73	132.93	93.05	0.01	5.69	99.39
7	Sept.	1	12.8	549.9	0.54	0.50	164.70	36.65	128.05	89.63	0.00	0.00	99.39
8		2	13.7	646.9	0.64	0.59	175.37	33.40	141.98	113.58	0.00	0.00	99.39
9		3	12.7	733.9	0.72	0.68	148.30	43.29	105.01	84.01	0.00	0.00	99.39
10	Octubre	1	11.6	809.9	0.80	0.76	119.25	50.51	68.74	54.99	0.00	0.00	99.39
11		2	14.4	913.9	0.90	0.85	91.01	55.07	35.94	28.75	0.00	0.00	99.39
12		3	10.9	982.9	0.97	0.94	84.00	57.19	26.81	21.45	0.00	0.00	99.39
13	Noviembre	1	10.9	1017.4	1.00	0.99	68.58	58.73	9.85	7.88	0.00	0.00	99.39

Cuadro 3.5 Continuación ..

No.	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27
	FH	IWL	WLV	FT	IWST	WST	FG	IWGR	WGR	LAI	TADW	TDW	TDWL
0			19.10								19	33	33
1	0.59	19.76	38.86	0.05	1.80	2	0.00	0.00	0	0.10	41	66	66
2	0.68	68.95	107.81	0.41	41.04	43	0.00	0.00	0	0.27	151	193	193
3	0.52	113.36	221.17	0.39	85.73	129	0.00	0.00	0	0.55	350	413	413
4	0.39	163.85	385.02	0.44	186.40	315	0.01	6.38	6	0.96	706	791	791
5	0.27	197.37	582.39	0.58	423.84	739	0.13	94.19	101	1.46	1422	1515	1515
6	0.13	125.39	707.78	0.44	410.00	1149	0.42	387.00	488	1.77	2344	2444	2444
7	0.03	27.55	735.33	0.17	156.13	1305	0.80	712.64	1200	1.84	3240	3340	3340
8	0.00	-147.07	588.26	0.00	0.00	1305	1.00	1135.81	2336	1.47	4229	4329	4182
9	0.00	-117.65	470.61	0.00	0.00	1305	1.00	840.09	3176	1.18	4952	5051	4933
10	0.00	-94.12	376.49	0.00	0.00	1305	1.00	549.90	3726	0.94	5407	5507	5413
11	0.00	-75.30	301.19	0.00	0.00	1305	1.00	287.54	4014	0.75	5620	5719	5644
12	0.00	-60.24	240.95	0.00	0.00	1305	1.00	214.49	4228	0.60	5774	5873	5813
13	0.00	-48.19	192.76	0.00	0.00	1305	1.00	78.79	4307	0.48	5805	5904	5856

Los rendimientos estimados de cada genotipo y los rendimientos experimentales se confrontaron por medio de una regresión lineal simple con ordenada al origen, para conocer el ajuste del modelo de simulación dinámico utilizado.

En el Cuadro 3.6, se muestran los rendimientos de cada uno de los genotipos y localidades donde se sembraron los experimentos de campo y las diferencias entre ambos rendimientos, que permiten observar una buena estimación, con pequeñas diferencias que van de 44 a 155 kg ha⁻¹,

Cuadro 3.6 Rendimientos experimentales y estimados de tres genotipos en tres localidades y sus diferencias en el estado de Hidalgo, México. Ciclo P-V 2006.

Localidad	Genotipo	Rendimiento kg ha ⁻¹		Diferencia
		Experimental	Estimado	
Almoloya	Esmeralda	4462	4307	155
	Adabella	4755	4799	-44
	Línea M-152 A	4917	4971	-54
Apan	Esmeralda	3173	3075	98
	Adabella	3184	3273	-89
	Línea M-152 A	3271	3357	-86
V. de Tezontepec	Esmeralda	2398	2340	58
	Adabella	2422	2361	61
	Línea M-152 A	2738	2840	-102

En la Figura 3.1, se corrobora el buen ajuste del modelo utilizado, ya que tiene una alta correlación entre ambos tipos de rendimientos, y su R² es de 0.99; por lo que se puede considerar que es bastante razonable para ser utilizado en la estimación del rendimiento potencial en las diversas regiones agroclimáticas del estado de Hidalgo.

Es importante señalar que los factores de ajuste al modelo fueron: el área foliar específica (AFE) y la densidad de plantas a la emergencia (DPE), con el acotamiento de permanecer en los intervalos estándares señalados en investigaciones internacionales sobre estos factores, es decir, que sean congruentes y tengan la confiabilidad científica y técnica.

En el cuadro 3.7, se muestran los valores finales que se tuvieron en el modelo utilizado del AFE y la DPE , los cuales se encuentran dentro de los intervalos adecuados para los requerimientos potenciales de la cebada maltera de temporal. Solo en el caso de adabella, en dos localidades, Almoloya y Villa de Tezontepec, rebasan el límite marcado por Driessen y Konijn (1992) en cuanto al AFE, que señalan un intervalo de 18 a 27 m² kg⁻¹. En cuanto a la DPE, en el Capítulo I, se muestra que se obtuvieron de 3'551,000 hasta 4'64,1399 espigas por ha (Cuadro 1.4), mismas que si las dividimos de un promedio de 4 macollos nos da una DPE que va de 887,775 a 1'160,350 plantas por ha; se tiene reportes de campo en el Programa Nacional de Cebada del INIFAP de hasta 5 millones de espigas por ha, que serían de 1'250,000 plantas por ha; cifra que no se rebasó con ninguno de los genotipos y en ninguna localidad para la estimación de rendimiento correspondiente .

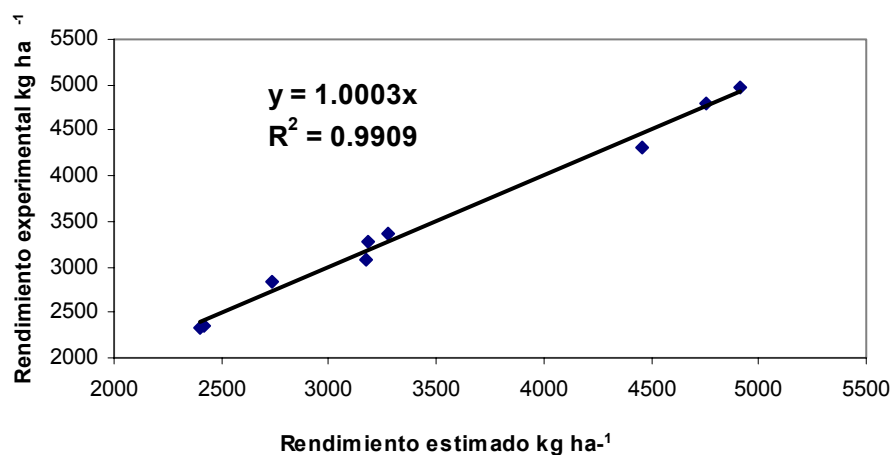


Figura 3.1 Comparación de los rendimientos estimado y experimentales de tres genotipos evaluados en Hidalgo.

Cuadro 3.7 Valores finales de los factores área foliar específica (AFE) y densidad de población a la emergencia (DPE) que se utilizaron para el ajuste al modelo dinámico utilizado.

Localidad	Esmeralda		Adabella		M -152 A	
	AFE	DPE	AFE	DPE	AFE	DPE
	m ² kg ⁻¹	Plantas ha ⁻¹	m ² kg ⁻¹	Plantas ha ⁻¹	m ² kg ⁻¹	Plantas ha ⁻¹
Almoloya	25	1'000,000	28	1'200,000	26	1'200,000
Apan	25	1'000,000	27	1'200,000	27	1'200,000
Tezontepec	26	1'000,000	29	1'200,000	27	1'200,000

Los resultados de los promedios de materia seca por órgano de los genotipos de cebada, se presentan en los Cuadros 3.8, 3.9 y 3.10 los cuales son promedios de tres localidades por cada genotipo, se les determinó su EMD de 0.0, 0.1, 0.2, 0.3 0.9 y 1.0, para establecer una simetría homogénea del ciclo de cada cultivar, con el fin de que sean comparables entre si.

Cuadro 3.8 Peso seco promedio por órgano del cultivar Esmeralda en el estado de Hidalgo. México.

Etapa media de desarrollo (EMD)	Peso seco de raíz (WRT)	Peso seco de hojas (WLV)	Peso seco de tallo (WST)	Peso seco de grano (WGR)	Peso total de la planta (TDW)
kg ha⁻¹					
0.0	13.7	17.5	0.0	0.0	31.3
0.1	36.5	82.8	27.5	0.0	146.8
0.2	54.8	203.3	150.2	0.0	408.3
0.3	67.5	349.0	403.4	16.2	836.1
0.4	73.6	451.9	689.7	294.2	1509.3
0.5	74.3	478.4	821.2	812.9	2186.9
0.6	74.3	389.1	823.6	1902.0	3188.9
0.7	74.3	305.8	823.6	2455.8	3659.6
0.8	74.3	233.4	823.6	2866.8	3998.0
0.9	74.3	188.3	823.6	3111.2	4197.3
1.0	74.3	149.1	823.6	3259.4	4306.4

Cuadro 3.9 Peso seco promedio por órgano del cultivar Adabella en el estado de Hidalgo. México.

Etapa media de desarrollo (EMD)	Peso seco de raíz (WRT)	Peso seco de hojas (WLV)	Peso seco de tallo (WST)	Peso seco de grano (WGR)	Peso total de la planta (TDW)
kg ha⁻¹					
0.0	13.8	22.3	0.0	0.0	36.0
0.1	46.3	125.5	50.3	0.0	222.1
0.2	70.5	268.4	272.0	0.6	611.5
0.3	88.9	406.5	776.2	7.0	1278.6
0.4	90.9	502.0	1240.5	122.6	1956.0
0.5	90.9	519.6	1354.2	705.0	2669.7
0.6	90.9	461.2	1356.4	1821.7	3730.1
0.7	90.9	321.7	1356.4	2655.6	4424.5
0.8	90.9	248.2	1356.4	3117.7	4813.1
0.9	90.9	177.1	1356.4	3399.0	5023.3
1.0	90.9	162.5	1356.3	3552.6	5162.3

Cuadro 3.10 Peso seco promedio por órgano de la Línea M – 152 A en el estado de Hidalgo. México.

Etapa media de desarrollo (EMD)	Peso seco de raíz (WRT)	Peso seco de hojas (WLV)	Peso seco de tallo (WST)	Peso seco de grano (WGR)	Peso total de la planta (TDW)
0.0	15.9	24.0	0.0	0.0	39.8
0.1	40.6	132.0	47.7	0.0	220.2
0.2	55.1	261.6	198.9	0.4	516.0
0.3	65.2	387.8	389.4	81.9	924.3
0.4	67.2	498.3	513.7	438.5	1517.8
0.5	67.2	500.3	471.4	936.2	1975.1
0.6	67.2	433.4	471.4	2054.8	3026.7
0.7	67.2	323.1	471.4	2790.4	3652.1
0.8	67.2	246.5	471.4	3281.9	4067.0
0.9	67.2	181.8	471.4	3553.0	4273.4
1.0	67.2	161.7	471.4	3767.6	4467.9

En el análisis comparativo de genotipos por órganos, se realizaron Figuras que ilustraron los contrastes entre estos y la posible explicación a las discrepancias o similitudes de los genotipos.

En la Figura 3.2, se observa con claridad que el cultivar Adabella, presenta una mayor cantidad de raíz que el cultivar Esmeralda, mientras que la de menor acumulación de peso seco en la raíces, es la Línea M - 152 A.

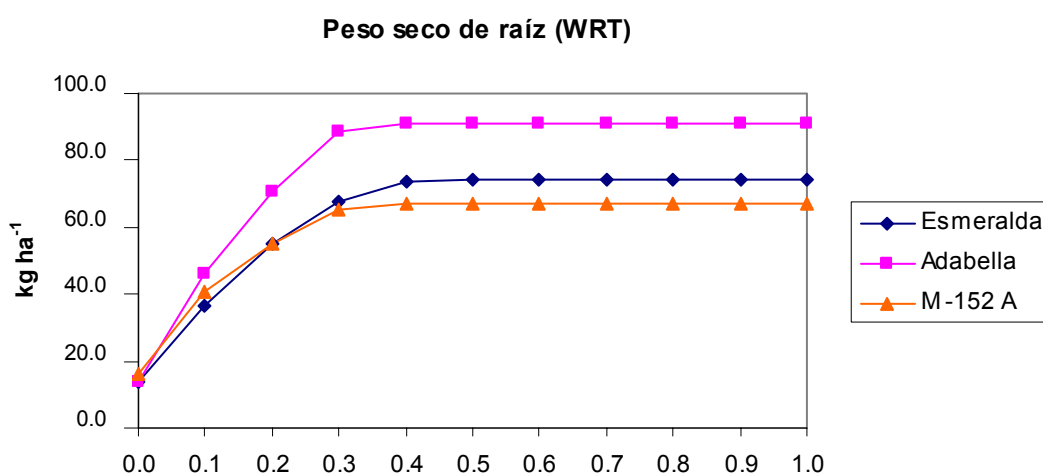


Figura 3.2 Análisis gráfico del peso seco de raíz de tres genotipos de cebada maltera

Al examinar el peso seco de hojas entre los genotipos evaluados, se apreció que los cultivares Esmeralda y Adabella presentan un comportamiento muy similar y mayor peso seco que la Línea M – 152 A. La variedad Adabella presenta un ligero incremento en peso durante la floración con respecto a la variedad Esmeralda. Desde el punto de vista fenotípico, estas diferencias y similitudes entre los genotipos estudiados muestran que existe un follaje o área foliar mayor en los cultivares que el la Línea M – 152 A, situación que se observó en campo (Figura 3.3).

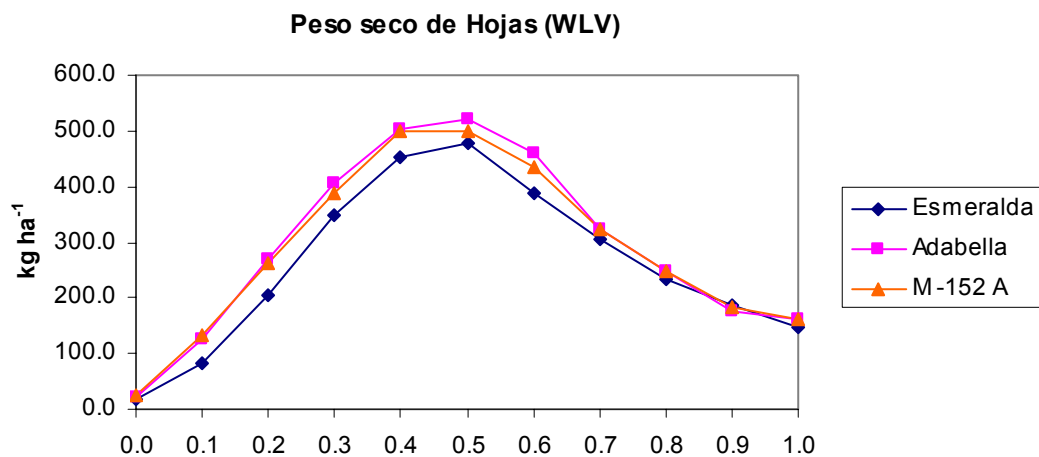


Figura 3.3 Análisis gráfico del peso seco de hoja de tres genotipos de cebada maltera

En la Figura 3.4 se puede observar el peso seco del tallo de los tres genotipos en estudio, en donde sobresale el cultivar Adabella, que presenta el mas alto valor de peso seco del tallo; mientras que la variedad Esmeralda tiene el 61 % del peso seco de la variedad Adabella y la Línea M – 152 A solo alcanza un 35 % del valor de peso seco de este cultivar. Es notable la gran diferencia en peso seco del tallo que existe entre los genotipos, quizás por lo observado en campo respecto a la capacidad de ahijamiento o amacollamiento, que es la formación de tallos a partir de una sola

semilla o planta (Gómez *et al.*, 2006); la variedad Adabella presenta un amacollamiento mas alto que los otros dos genotipos evaluados.

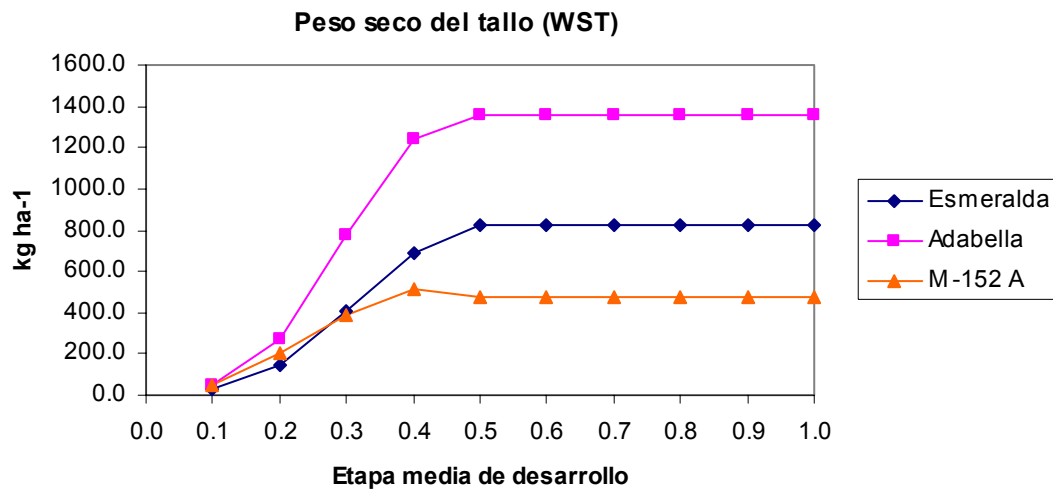


Figura 3.4 Análisis gráfico del peso seco del tallo de tres genotipos de cebada maltera

Al analizar los resultados de peso seco del grano, la Línea M – 152 A mostró mayor rendimiento que los cultivares Esmeralda y Adabella, que presentaron menor peso seco de grano, 13 y 6 % respectivamente. A pesar de que la Línea M -152 A presenta menor peso seco de raíz y de tallo, produce el mayor rendimiento de grano tanto a nivel promedio como a nivel localidad, como se observa en el Cuadro 3.6.

Es importante señalar que uno de los principios de conocimiento de los especialistas en mejoramiento genético, se basa en el hecho de que a mayor precocidad, el rendimiento disminuye; sin embargo, los resultados experimentales generados en este estudio, muestran lo contrario, ya que la Línea M - 152 A es de ciclo más corto que los otros dos cultivares evaluados, de 5 hasta 12 días menos, y es la que presentó el mayor rendimiento, se puede suponer de que la Línea m – 152 A es mas eficiente al producir biomasa que va dirigida al grano y que inicia la formación de grano antes que los cultivares Esmeralda y Adabella. El principio de que la precocidad disminuye el rendimiento, es válido entonces solo a nivel de genotipo,

cuando se siembra en diferentes ambientes de potencial productivo, ya que a medida que el ciclo del genotipo aumenta, el rendimiento de grano de cebada también aumenta, y se encuentra correlacionada con la temperatura media, esto es, a medida que disminuye la temperatura media el rendimiento de grano se incrementa, como se mostró en el capítulo II.

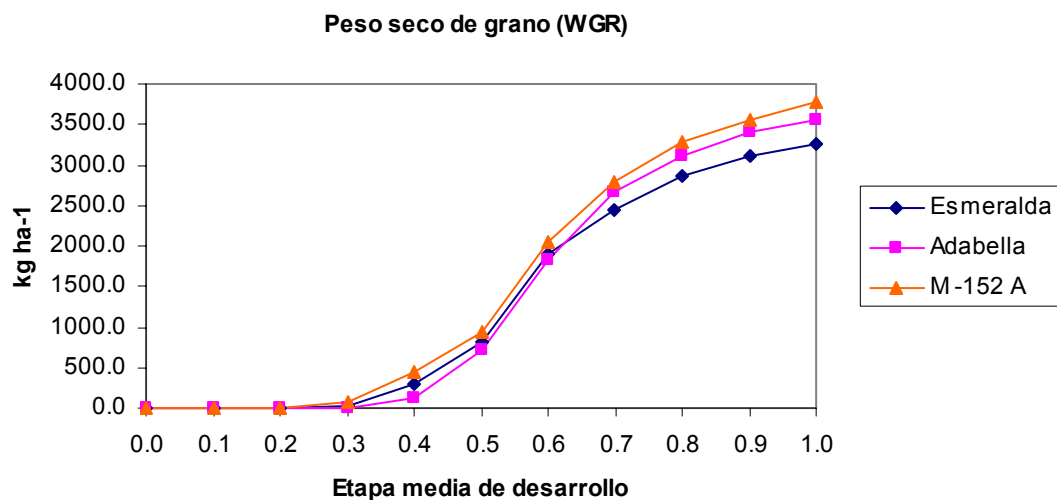


Figura 3.5 Análisis gráfico del peso seco de grano de tres genotipos de cebada maltera

El peso seco total de la planta para los tres genotipos evaluados se muestra en la Figura 3.6, donde los resultados señalan a la variedad Adabella como la de mayor peso seco total de la planta en un 17 y 13 % que la variedad Esmeralda y la Línea M – 152 A, respectivamente. Este mayor peso seco total es debido, principalmente, al mayor peso seco de tallo y raíz que presenta la variedad Adabella (Figuras 3.2 y 3.4). Cabe señalar, aún cuando el cultivar Adabella muestra mayor peso seco total de la planta, no es la que produjo mas grano. Los resultados muestran que la Línea M – 152 A, tiene mayor potencial de rendimiento en las tres regiones que se sembraron los experimentos y quizás sea mas eficiente que los otros dos cultivares

al presentar igual o menor peso seco en los diferentes órganos y en el peso seco total de la planta. La variedad Esmeralda y la línea M – 152 A mostraron una gran similitud en el peso seco total durante el desarrollo del cultivo.

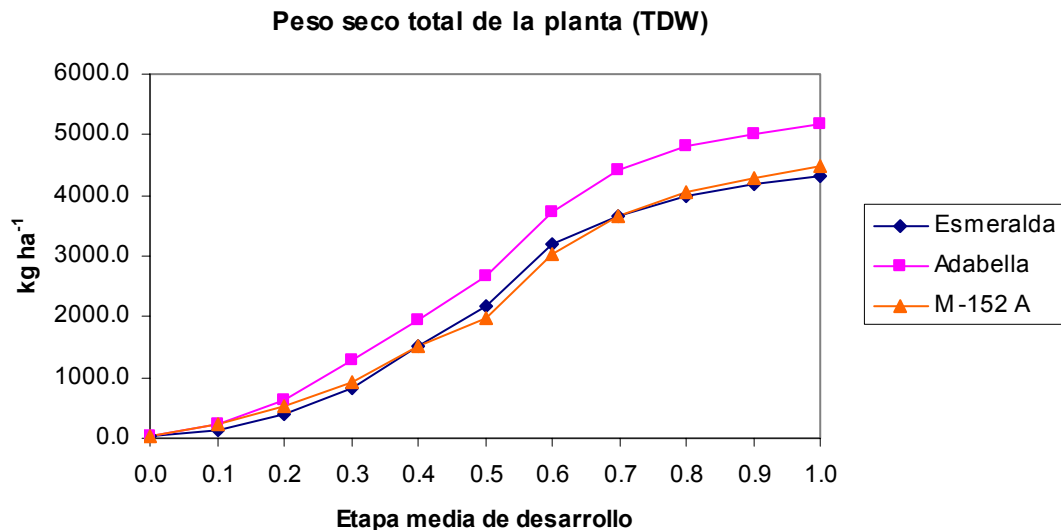


Figura 3.6 Análisis gráfico del peso seco total de la planta de tres genotipos de cebada maltera

El análisis de los resultados por cada órgano de la planta de cebada, en los tres genotipos evaluados, no obstante que se realizan por separado, estos son estudiados de manera integral, al ser generados por el modelo de simulación dinámico. Es decir, toman en cuenta las interacciones que existen entre cada órgano y el desarrollo fenológico del cultivo, desarrollando el balance de crecimiento que tienen las plantas y que están influenciadas por otros factores externos, y que a su vez modifican el desarrollo de órganos y su crecimiento.

CONCLUSIONES

El modelo de simulación dinámico fue útil para evaluar de manera integral los genotipos de cebada maltera y permitió distinguir la diferencia en la acumulación de

peso seco en cada órgano de la planta y su interrelación en los tres genotipos evaluados, al poder establecer las diferencias entre ellos.

Los factores de ajuste que se usaron para el modelo, fueron adecuados y permitieron obtener resultados muy cercanos a los rendimientos experimentales de campo.

Los resultados mostraron que la Línea M –152 A, es la de mayor potencial de rendimiento en las tres regiones del estado de Hidalgo, por ser mas eficiente en la acumulación de peso seco en el grano.

El modelo de simulación permitió distinguir que la variedad Adabella, tiene mayor peso seco en raíz, tallo y el total de la planta, sin embargo, no fue la de mayor rendimiento de grano.

El modelo simulación puede ser utilizado con precisión y suficiencia razonable para estimar rendimientos de cebada maltera, evaluar los potenciales de genotipos y de los ambientes de producción y explicar la diferencia entre genotipos y ambientes.

Se recomienda evaluar el modelo de simulación dinámica en más agrosistemas de l estado de Hidalgo y ciclos agrícolas, con el fin de explorar otros ambientes de producción y años con limitaciones hídricas.

LITERATURA CITADA

Boote K.J, J.W. Jones and N.B. Pickering. 1996. Potential uses and limitations of crop models. Agr. J. 98:704-716.

- Dent, J. B. and M. J. Blackie. 1992. System simulation in agriculture. In Training Program Computer Simulation of crop growth & Magement responses. Hawaii, U.S.A.
- Driessen, P. M. and N. T. Konijn. 1990. Land – use systems analysis. Departament of Soil Science and Geology. Wageningen Agricultural University. Wageningen.
- FAO. 2004. Evapotranspiración del cultivo. Guía para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. Roma.
- Figueroa, C. J. D. 1985. Métodos para evaluar la calidad maltera en cebada. Tema didáctico N° 17. SARH-INIA. México, D.F.
- Gómez, M. R., J. L. Gómez C. y M. Tiscareño L. 2003. Predicción de rendimientos de maíz de riego en el Valle del Mezquital, Hidalgo. In: Simposio Binacional de Modelaje y Sensores Remotos en Agricultura Ed. Alba, A. A., L. Reyes M. y M. Tiscareño L. Aguascalientes, Ags., México. 3 y 4 de Junio de 2003.
- Gómez, M. R., M. Zamora D. y J. M. Arreola T. 2006. El Sistema de Labranza de Conservación el Cultivo de Cebada de Temporal en el Estado de Hidalgo. INIFAP- Hidalgo. Pachuca, Hidalgo.
- Heems, H. D. 1986. Crop phenology and dry mater distribution. In : Modelling of agricultural production: Weather, Soils and Crops, by H. van Keulen and J. Wolf. Pudoc, Wageningen.
- INIFAP. 2006. Metodología para modelar el crecimiento y desarrollo de cultivos. C.D. Notas del Diplomado en Sistemas de Apoyo a la Toma de Decisiones en Protección Vegetal, Celaya, Guanajuato. México.
- INIFAP. 2000. Informe del Programa Nacional de cebada Maltera 1997-2000. SAGARPA-INIFAP. Chapingo, México.
- Microsoft office. 2003. Programa de Excel. Redmont, Washington. E. U. A.
- Nieves, F. J. L. 1995. Modelos de simulación para la estimación del rendimiento potencial del cultivo del maíz en el Ejido de Atenco, México. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados. Montecillos, Estado de México.
- Ortiz, T. C. 1992. Evaluación de un modelo de simulación para la estimación de rendimientos de maíz (*Zea mayz* L.) en Valles Altos. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados. Montecillos, Estado de México.
- Quijano C., J.A. *et al.* 1995. Using Crop Simulation Models to Support Agricultural Research Planning in Mexico. In “Applying Crop Models and Decision Support Systems.” Special Publication IFDC---SP-22. International Consortium for Agricultural Systems Applications. University of Florida. International Fertilizer Development Center.

- Quijano C., J.A. y E. Villarreal F. 1991. Un modelo de simulación dinámica del crecimiento del frijol. En memoria del primer simposio nacional de frijol. Durango, México.
- Quijano C., J.A. 1991. Desarrollo de una metodología de modelos dinámicos con la participación de pequeños productores. Seminario científico presentado en el ciclo de seminarios 90-91 del CIFAP-Guanajuato. México.
- Quijano C., J. A., J. A Aguirre G. y E. Villarreal F. 1992. Un modelo de simulación de la producción de maíz de temporal." Coloquio mesoamericano de Sistemas de Producción.
- Quijano C., J. A. y J. A. Aguirre G. 1992. Relaciones alométricas relevantes para la construcción de modelos de simulación." XIV Congreso Nacional de Fitogenética.
- Van Keulen H. and J. Wolf. 1986. Modeling of agricultural production: weather, soils and crops. Wageningen.
- Whisler, F. D. *et al.* 1986. Crop simulation models in agronomy systems. Adv. In Agronomy. 40:141-200.
- Yin X. y Laar H, H. 2005. Crop Systems Dynamics: An ecophysiological Simulation Model for genotype-by-environment interactions. Ed. Wageningen Academic Publishers. The Netherlands.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES GENERALES

El propósito del presente estudio fue el simular el crecimiento y desarrollo del cultivo de la cebada maltera, con el fin de estimar su rendimiento, evaluar la producción de materia seca en diferentes etapas y para distintos órganos y relacionarla con el rendimiento; y finalmente, a través de modelos de simulación dinámicos evaluar el comportamiento de tres genotipos.

Para lograr estos objetivos, fue necesario plantear en primer término una metodología sencilla para obtener una estimación del rendimiento de los genotipos de cebada maltera evaluados; para ello, se propuso el uso de la metodología de la FAO, sustentado con variables de clima y planta, con datos mensuales de clima y soportado con experimentos de campo para las variables de planta con tres genotipos de cebada maltera.

Los resultados del uso del modelo de estimación de rendimiento de la FAO, mostraron que, a nivel macro región estima de manera razonable, pero sobre estimaba en las regiones de menor potencial y subestimaba en las regiones de buen potencial, por lo que se buscó un ajuste a los resultados de este método y se correlacionó con la variable densidad de espigas, para establecer una variable que pudiera ser evaluada para la estimación del rendimiento anticipadamente.

Con tales resultados, se considero necesario evaluar con mas detalle la producción de materia seca y relacionarla con el rendimiento, así como continuar con la búsqueda de datos de producción de materia seca que en etapas tempranas permitieran estimar anticipadamente el rendimiento, por el cual se eligió a la materia seca inicial (durante la emergencia de la plúmula y la radícula, que crecen con las reservas de la semilla), así como efectuar un análisis completo de los factores de

repartición, producción de materia seca en raíz, hoja, tallo y grano de los tres genotipo estudiados. Los resultados mostraron que existe una tendencia clara con la que se puede establecer que: a mayor materia seca inicial mayor rendimiento, aunque estadísticamente presenta baja correlación; además, estos resultados mostraron que la producción de materia seca del grano o espiga, en las etapas tempranas del desarrollo, provoca un incremento en el rendimiento. Durante este proceso, se obtuvo en forma casuística una correlación inversa entre la temperatura media y el rendimiento, esto es, si la temperatura media disminuye y el rendimiento se incrementa.

Finalmente para poder concluir con el propósito del estudio, se desarrolló un modelo de simulación dinámico para determinar las diferencias entre genotipos. Los resultados de la simulación mostraron la utilidad que tienen estos modelos, sin embargo, no explican los porqués de todas las diferencias, ya que se requieren de otros estudios fisiológicos complementarios.

La utilidad que tiene los modelos de simulación dinámica, permite evaluar el potencial de los genotipos y de los ambientes de producción, con la limitante de tener la información correspondiente al genotipo y al ambiente de producción.

Se recomienda el seguir evaluando los modelos dinámicos, en años con limitación hídrica y diversos ambientes de producción. De la misma manera se recomienda formar grupos interdisciplinarios que permitan explicaciones más completas y sustentadas de especialistas en las diversas áreas de la agronomía.

ANEXO I

VILLA DE TEZONTEPEC, HIDALGO DESCRIPCIÓN DEL SITIO

Descrito por: René Gómez Mercado.
Fecha: 10 de mayo de 2007.
Localidad: Villa de Tezontepec, Hgo.
Coordenadas: 19° 54' 13.30" LN y 98° 53' 02.50" LO **Zona:** 14Q
Elevación: 2330 m. **Relieve:** Plano **Pendiente:** < 1%
Material parental: Tepetate
Flora: Pastos y herbáceas
Fauna: Tejones, conejo y ratones
Vegetación cultivada: Cebada, Avena, Frijol.
Drenaje superficial: Sitio receptor pasivo **Pedregosidad:** No evidente
Otras características: Planicie aluvial
Régimen De Humedad: Ústico
Régimen de Temperatura: Térmico



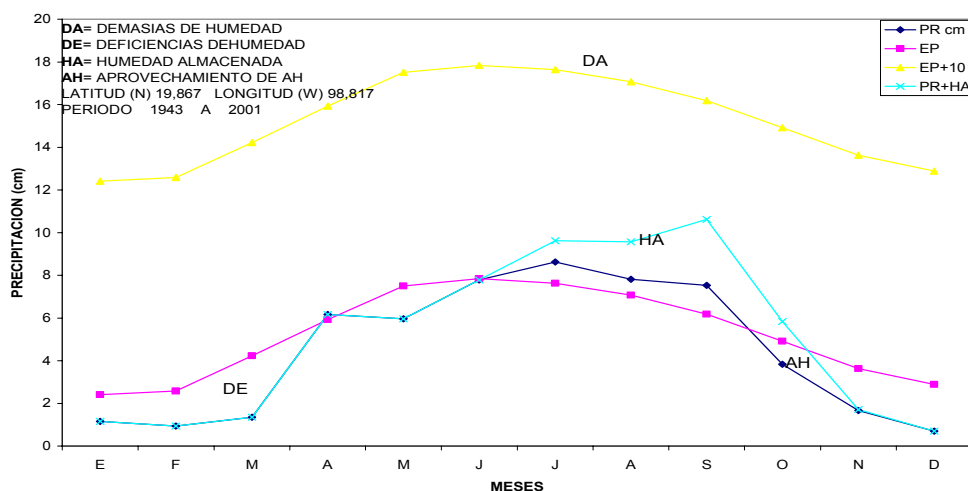
DESCRIPCIÓN DEL PERFIL

Horizonte	Descripción
	<p>Ap 0-20 cm, ligeramente húmedo; gris muy oscuro (10 YR 3/1) cuando húmedo y pardo grisáceo oscuro (10 YR 4/2) cuando seco; textura migaron arcilloso; estructura granular medianamente desarrollada de 2 a 5 cm de Ø; consistencia friable cuando húmedo y ligeramente plástico cuando saturado; permeabilidad moderada; poros muchos finos tabulares continuos con orientación al azar dentro de los agregados; raíces abundantes finas de tamaño mediano a fino; sin reacción al HCL y lenta reacción al H₂O₂; con transición tenue y ondulada al siguiente horizonte, drenaje medio y fauna escasa.</p> <p>Bw 20-38 cm, húmedo, negro (10 YR 2/1) cuando húmedo y pardo oscuro (10 YR 3/3) cuando seco; textura migaron arcilloso; estructura en bloques subangulares medianamente desarrollados de 2 a 6 cm de Ø; consistencia friable cuando húmedo y ligeramente plástico cuando saturado; permeabilidad moderada; poros medios finos y discontinuos al azar de todos los agregados; raíces muchas finas, medias pocas y gruesas escasas; sin reacción al HCL y fuerte y lenta reacción al H₂O₂; presencia de escasas motas de color amarillento de alrededor de 1 cm de Ø; transición horizontal abrupto al siguiente horizonte.</p> <p>Ckm > a 38 cm; ligeramente húmedo; pardo amarillento (10 YR 5/4) cuando húmedo y pardo pálido (10 YR 6/3) cuando seco; textura arena migajota; estructura laminar fuertemente desarrollada; consistencia extremadamente duro cuando seco, extremadamente firme cuando húmedo y no pegajoso y no plástico cuando saturado; permeabilidad nula o casi nula; sin poros y escasas raíces muy finas; fuerte reacción al HCL y nula reacción al H₂O₂; presencia de concreciones de carbonato de calcio alrededor de las fracturas de los agregados, capa sementada de tepetate.</p>

Eipedón: Mólico
horizonte de diagnostico: cámbico

Clasificación tentativa: Lithic Haplustolls (Taxonomía de suelo, 2006)
Chernosems Epiléptico (WRB, 2006)

CLIMOGRAMA DE ESTACION: TEZONTEPEC



Características químicas de los horizontes

Horizonte	CE	pH	% MO	Da	%CaCo3	Na	K	CA	Mg	CIC	P2O5	PSB	RAS	n	%A	%L	%A
Ap	0.06	6.70	1.06	1.38	0.30	0.02	0.10	12.00	5.09	17.92	5.48	> 50	0.005	0.62	35.7	33.6	30.8
Bw	0.03	7.40	1.32	1.47	0.26	0.04	0.03	13.20	6.34	17.75	5.48	> 50	0.128	0.93	30.9	39.9	29.2
Ckm	0.04	7.70	0.79	1.67	4.11	0.15	0.18	18.44	10.24	32.64	22.60	> 50	0.04	0.69	84.5	11.1	4.4

**ALMOLOYA, HIDALGO.
DESCRIPCIÓN DEL SITIO**

Descrito por: René Gómez Mercado
Fecha: 11 de mayo de 2007.
Localidad: Almoloya, Hgo.
Coordenadas: 0187146 LN y 2010654 LO
Elevación: 2571 m. **Relieve:** Plano
Material parental: Toba Volcánica
Flora: Pastos, Pino
Fauna: Conejo
Vegetación cultivada: Maíz, Cebada, Haba
Drenaje superficial: Sitio receptor pasivo
Otras características: Údico, Isomésico

Zona: 14Q
Pendiente: < 5%

Pedregosidad: No evidente



DESCRIPCIÓN DEL PERFIL

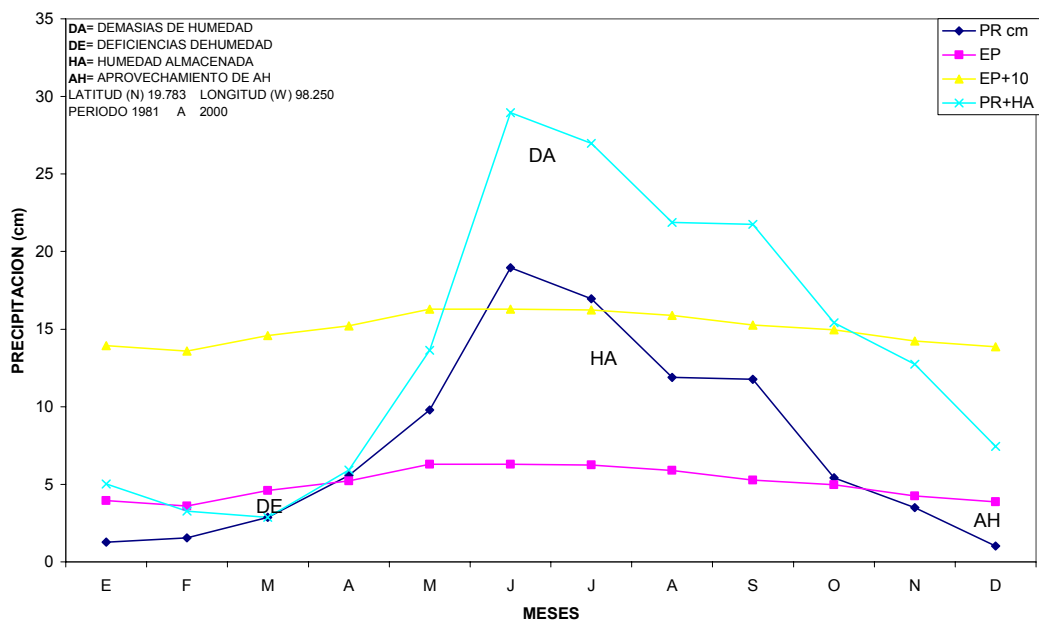
Horizonte	Descripción
Ap	0-20 cm, ligeramente húmedo; pardo muy oscuro (10 YR 2/2) cuando húmedo y pardo grisáceo oscuro (10YR 4/2) cuando seco; textura migaron arcillo limosa; estructura migajosa con presencia de bloques subangulares moderadamente desarrollados de 1 a 4 cm de Ø; consistencia duro cuando seco, muy friable cuando húmedo y plástico y pegajoso cuando saturado; permeabilidad lenta; poros continuos, y discontinuos, caóticos y oblicuos dentro de los agregados de forma intersticial muy finos; raíces abundantes y finas, comunes medias; sin reacción al HCl y moderada y rápida al H ₂ O ₂ ; con transición media y ondulada al siguiente horizonte.
A	20-40 cm, ligeramente húmedo; negro (10 YR 2/1) cuando húmedo y pardo oscuro (10YR 3/3) cuando seco; textura arcillo limoso; estructura de bloques angulares débilmente desarrollo, de 5 a 10 cm de Ø; con consistencia cuando seco muy duro, muy friable cuando húmedo y pegajoso y plástico cuando saturado; permeabilidad lenta; poros intersticiales, abundantes, finos, con orientación aleatoria y dentro de los agregados; tubulares, frecuentes, finos, medianos comunes, continuos, oblicuos dentro de los agregados de forma vesicular; raíces abundantes y finas; sin reacción al HCl y fuerte y rápida al H ₂ O ₂ ; con transición tenue y ondulada al siguiente horizonte.
Bw	40-65 cm; húmedo; pardo grisáceo muy oscuro (10 YR 3/2) cuando húmedo y pardo oscuro a pardo (10YR 4/3) cuando seco; textura arcillosa; estructura bloques subangulares moderadamente desarrollada con tamaños mayores a 10 cm de Ø; con consistencia ligeramente duro cuando seco, muy friable cuando húmedo y muy pegajoso y plástico cuando saturado; permeabilidad muy lenta; poros medianos pocos, continuos oblicuos dentro de los agregados de forma tubular; raíces finas comunes y medias raras; sin reacción al HCl y fuerte y media al H ₂ O ₂ ; con transición tenue y ondulada al siguiente horizonte.
Bw2	65-90 cm; húmedo; pardo oscuro a pardo (10 YR 4/3) cuando húmedo y pardo (10YR 5/3) cuando seco; textura migaron arcillo limoso; estructura bloques sub angulares moderadamente desarrollados mayores de 10 cm de Ø; con consistencia duro cuando seco, firme cuando húmedo y pegajoso y plástico cuando saturado; permeabilidad lenta; poros medianos pocos y gruesos muy pocos y finos comunes, oblicuos, tubulares dentro de los agregados; raíces finas comunes gruesa muy raras; sin reacción al HCl y moderada y rápida al H ₂ O ₂ ; presencia escasa de material piro plástico de alrededor de 3 mm de Ø, distribución aleatoria y que ocupan del 5 al 10% del horizonte; con transición marcada y horizontal al siguiente horizonte.
Ckm	90-130 cm; ligeramente húmedo; pardo amarillento oscuro (10 YR 4/4) cuando húmedo y pardo amarillento claro (10YR 6/4) cuando seco; textura migaron arcilloso; estructura masiva coherente que se rompe en bloques subangulares moderadamente desarrollados con tamaños mayores a 10 cm de Ø; con extremadamente duro cuando seco, extremadamente firme cuando húmedo y ligeramente pegajoso cuando saturado; permeabilidad casi nula; poros finos pocos, discontinuos, con orientación aleatoria y dentro de los agregados; raíces pocas y finas; fuerte reacción al HCl y fuerte al H ₂ O ₂ ; presencia de presencia de material oxidado de color rojizo, cuando un10% del perfil.



Epipedon: Órico
 Horizonte: Cámbico

*Clasificación tentativa: Typic Eutrudeps (Taxonomía de suelo, 2006)
 Cambisol Háplico-Eutrico (WRB, 2006)*

CLIMOGRAMA DE LA ESTACION: EL TEPOZAN, ALMOLOYA



Características químicas de los horizontes

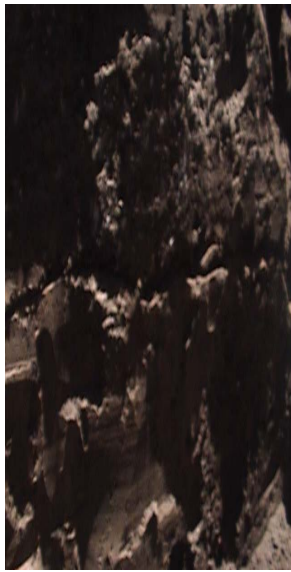
Horizonte	CE	pH	% MO	Da	%CaCo3	Na	K	CA	Mg	CIC	P2O5	PSB	RAS	n	%A	%L	%R
Ap	0.05	6.50	1.32	1.49	0.48	0.0	0.13	4.98	2.53	14.28	29.93	> 50	0	0.26	59.7	15.1	25.2
A	0.05	6.10	0.93	1.64	0.32	0	0.11	5.27	2.69	13.26	17.71	> 50	0.007	0.36	61.1	19.4	19.4
Bw	0.06	7.40	0.66	1.47	0.24	0.11	0.07	8.05	5.95	17.34	5.48	> 50	0.044	0.51	58.9	12.1	29.0
Bw2	0.10	7.80	0.53	1.56	0.32	0.21	0.17	8.92	6.24	23.46	5.48	> 50	0.022	0.56	80.6	7.3	12.1
Ckm	0.06	8.40	0.40	1.57	30.30	0.09	0.13	9.86	4.19	15.50	25.04	> 50	0.046	0.43	84.0	9.1	6.8

APAN, HIDALGO DESCRIPCIÓN DEL SITIO

Descrito por: René Gómez Mercado.
Fecha: 12 de mayo de 2007.
Localidad: Apan, Hgo.
Coordenadas: 19° 41' 16.60" LN y 98° 25' 34.90" LO **Zona:** 14Q
Elevación: 2520 msnm **Relieve:** Plano **Pendiente:** < 1%
Material parental: Toba Volcanica
Flora: Pastos y herbáceas
Fauna: No evidente
Vegetación cultivada: Cebada, Avena, Maiz
Condiciones meteorológicas: Lluvia última de 15 días
Drenaje superficial: Sitio receptor pasivo **Pedregosidad:** No evidente
Otras características: Ustico y Mesico



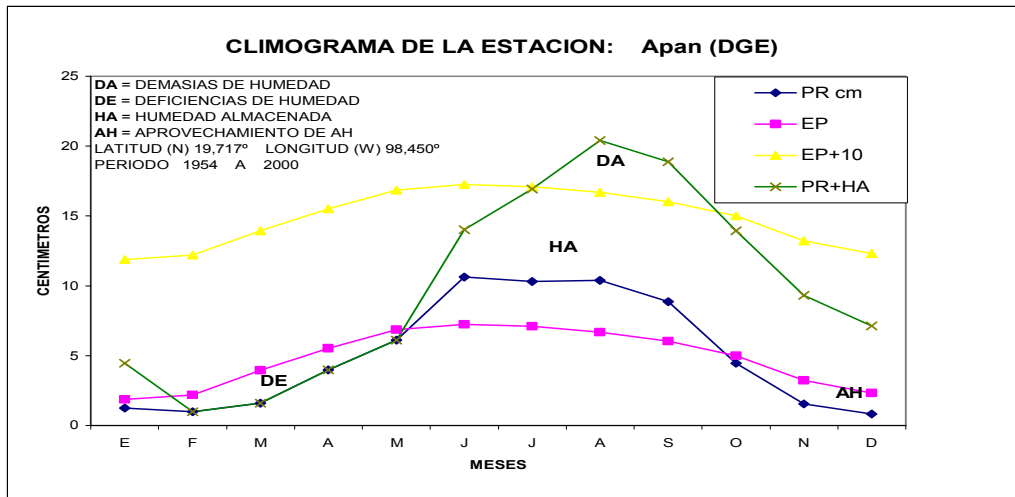
DESCRIPCIÓN DEL PERFIL



Horizonte	Descripción
Ap	0-16 cm, ligeramente húmedo; negro (10 YR 2/1) cuando húmedo y pardo grisáceo oscuro (10YR 4/2) cuando seco; textura migajon arcillo arenoso; estructura de bloques subangulares débilmente desarrollados de 5 a 10 cm de Ø; con consistencia friable cuando húmedo, y ligeramente pegajoso y ligeramente plástico cuando saturado permeabilidad rápida; poros de pocos finos continuos con orientación oblicua de forma tubular dentro de los agregados; raíces comunes finas y delgadas; sin reacción al HCl y moderada reacción al H ₂ O ₂ ; con transición tenue y ondulada (por textura y consistencia) al siguiente horizonte.
AB	16-38 cm, ligeramente húmedo; pardo muy oscuro (10 YR 2/2) cuando húmedo y pardo oscuro (10YR 3/3) cuando seco; textura migajon arenoso; estructura de bloques angulares débilmente desarrollado, de 2 a 3 cm de Ø; con consistencia friable cuando húmedo, y ligeramente pegajoso y ligeramente plástico cuando saturado permeabilidad rápida; poros oblicuos y horizontales de forma tubular dentro de los agregados; raíces pocas y finas; sin reacción al HCl y moderada y tenue reacción al H ₂ O ₂ ; con transición ondulada y moderada al siguiente horizonte por cambio de textura.
Bw	38-44 cm; húmedo; pardo grisáceo muy oscuro (10 YR 3/2) cuando húmedo y pardo grisáceo (10YR 5/2) cuando seco; textura migajon arcillo arenoso; estructura en bloques subangulares débilmente desarrollados de 1 a 2 cm de Ø; con consistencia friable cuando húmedo, y plástico cuando saturado; permeabilidad moderada poros discontinuos, caóticos dentro de los agregados en forma intersticial; raíces pocas y finas, y escasas medias sin reacción al HCl y leve y lenta al H ₂ O ₂ ; con transición ondulada y marcada al siguiente horizonte.
Cm	44-50 cm; húmedo; pardo amarillento oscuro (10 YR 3/6) cuando húmedo y amarillo pálido (2.5 Y 7/3) cuando seco; textura migajon arenosa; estructura bloques subangulares moderadamente desarrollada de 5 a 10 cm que se rompe en bloques angulares de moderado desarrollo de menos de 1 cm de Ø; con consistencia extremadamente firme cuando húmedo, y no plástico cuando saturado; permeabilidad impermeable; si porosidad aparente; raíces muy raras y finas; sin reacción al HCl y fuerte reacción al H ₂ O ₂ ; estrato extremadamente duro y compactado de consistencia aglomerada.

Epipedón: Mólico
Horizonte supsuperficial: Cámbico

Clasificación tentativa: Typic Haplustolls (Taxonomía de suelo, 2006)
Phaozems Epiléptico (WRB, 2006)



Características químicas de los horizontes

Horizonte	CE	pH	% MO	Da	%CaCo3	Na	K	CA	Mg	CIC	P2O5	PSB	RAS	n	%A	%L	%R
Ap	0.06	6.90	3.31	1.40	0.39	0	tr	7.92	2.46	25.70	22.60	> 50	0	0.52	14.8	45.3	39.9
AB	0.02	6.90	3.05	1.31	0.26	0.02	tr	12.43	4.61	24.48	12.82	> 50	0	0.85	15.6	43.6	40.7
Bw	0.01	6.0	1.46	1.16	0.28	0.09	Tr	5.66	2.82	25.30	12.82	> 50	0.42	0.67	19.2	39	41.8
Cm	0.01	6.50	0.66	1.42	0.35	0.09	0.05	5.15	2.66	23.05	7.93				18.2	42.3	39.5