Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología
Dirección General de Agrometeorología

Universidad Nacional Agraria La Molina
Programa de Maíz

Evaluación del efecto del clima en la producción y productividad del maíz amarillo duro en la costa central del Perú

Lima - Perú
2010

Servicio Nacional de Meteorología e hidrología

Universidad Nacional Agraria La Molina

MAG. FAP (r) WILAR GAMARRA MOLINA
Presidente Ejecutivo del SENAMHI
Representante Permanente del Perú ante la OMM

Ph. D. ELIZABETH SILVESTRE ESPINOZA
Directora Científica del SENAMHI

Ing. CONSTANTINO ALARCÓN VELAZCO
Director General de Agrometeorología

Ing. LUIS MAEZONO YAMASHITA
Rector de la Universidad Nacional Agraria La Molina

Ing. JAVIER ARIAS CARBAJAL
Decano de la Facultad de Agronomía

Servicio Nacional de Meteorología e hidrología

Universidad Nacional Agraria La Molina

AUTORES :

Ing. Wilfredo Yzarra Tito
Dirección General de Agrometeorología
SENAMHI

Ing. Irene Trebejo Varillas
Dirección General de Agrometeorología
SENAMHI

Ing. Víctor Noriega Nalvarte
Programa de Maíz
UNALM

COLABORADORES :

Bach. Tania Jácobo Sotelo

NDICE

		Página
I.	**INTRODUCCIÓN**	1
II.	**OBJETIVOS**	2
2.1	**Objetivo general**	2
2.2	**Objetivos específicos**	2
III.	**REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA**	3
3.1	**Generalidades**	3
3.1.1	La planta de maíz	3
3.1.1.1	Características morfológicas y taxonómicas del maíz	3
3.1.1.2	Fenología del maíz amarillo duro	4
3.1.2	Requerimientos climáticos del maíz amarillo duro	9
3.1.2.1	Influencia de la temperatura	9
3.1.2.2	Influencia del fotoperíodo	13
3.1.2.3	Influencia de la radiación solar	13
3.1.2.4	Requerimiento de agua	16
3.1.2.5	Requerimiento de suelo	18
3.1.3	El maíz amarillo duro a nivel nacional	18
3.1.3.1	Principales indicadores de la actividad de maíz amarillo duro	18
3.1.3.2	Aporte a la producción agropecuaria	19
3.1.3.3	Producción nacional	20
3.2	**Grados días de crecimiento**	21
3.3	**Radiación fotosintéticamente activa**	24
3.3.1	Índice de área foliar y radiación fotosintéticamente activa	24
3.3.2	Eficiencia de uso de radiación	26
3.4	**Evapotranspiración y eficiencia de uso de agua**	27
3.4.1	Evapotranspiración	27
3.4.2	Eficiencia de uso de agua	29
3.5	**Efecto de la variabilidad climática en la producción de cultivos**	30
IV.	**MATERIALES**	32
4.1	**Ubicación del campo experimental**	32
4.2	**Condiciones meteorológicas en la zona de estudio**	32
4.3	**Descripción del material experimental**	35
4.3.1	Tratamientos en estudio	35
4.4	**Materiales y equipos**	37
4.5	**Análisis de suelos**	38
4.6	**Diseño experimental**	40

4.7 Distribución experimental de los híbridos de maíz amarillo duro 41
4.8 Características del ensayo experimental 41
4.8.1 Características de la parcela experimental 41
4.8.2 Características del bloque 42
4.8.1 Características del campo experimental 42
4.9 Evaluaciones durante la conducción del experimento 42
4.9.1 Días al 50% de la emergencia 42
4.9.2 Días al 50% de la floración masculina 42
4.9.3 Días al 50% de la floración femenina 43
4.9.4 Días al 50% de la maduración fisiológica 43
4.9.5 Área foliar 43
4.9.6 Materia seca 43
4.9.7 Número de fallas 44
4.9.8 Número de plantas cosechadas 44
4.9.9 Número de mazorcas en campo 44
4.9.10 Peso de mazorcas en campo 44
4.9.11 Porcentaje de humedad del grano 44
4.9.12 Número de hileras por mazorca 44
4.9.13 Número de granos por hilera 45
4.9.14 Peso de 100 granos 45
4.9.15 Porcentaje de desgrane 45
4.10 Procesamiento de los datos biométricos para determinar los rendimientos Kg/ha 45
4.10.1 Corrección del rendimiento por fallas (Ff) 45
4.10.2 Corrección por humedad (Fh) 46
4.10.3 Corrección del peso de campo expresado en Kg/ha 46
V. METODOLOGÍA 49
5.1 Evaluación del efecto de la temperatura en el crecimiento y desarrollo del maíz amarillo duro 47
5.1.1 Método residual modificado (TT_{10}) 47
5.1.2 Método Ontario 47
5.1.3 Método de Ommetto 48
5.2 Índice de área foliar y eficiencia de uso de radiación durante el crecimiento y desarrollo del maíz amarillo duro 49
5.3 Evapotranspiración del cultivo y eficiencia de uso de agua para el maíz amarillo duro 50
5.3.1 Evapotranspiración del cultivo 50
5.3.1.1 Método de FAO Penman-Monteith 50
5.3.3.2 Método modificado por García 51
5.3.2 Eficiencia de uso de agua 52

5.4	**Efecto de la variabilidad climática en la producción del maíz amarillo duro en la costa central**	53
VI.	**RESULTADOS Y DISCUSIONES**	54
6.1	**Evaluación del efecto de la temperatura en el crecimiento y desarrollo del maíz amarillo duro**	54
6.2	**Índice de área foliar y eficiencia de uso de radiación durante el crecimiento y desarrollo del maíz amarillo duro**	62
6.3	**Evapotranspiración del cultivo y eficiencia de uso de agua para el maíz amarillo duro**	66
6.4	**Efecto de la variabilidad climática en la producción del maíz amarillo duro en la costa central**	68
VII.	**CONCLUSIONES**	72
7.1	**Evaluación del efecto de la temperatura en el crecimiento y desarrollo del maíz amarillo duro**	72
7.2	**Índice de área foliar y eficiencia de uso de radiación durante el crecimiento y desarrollo del maíz amarillo duro**	73
7.3	**Evapotranspiración del cultivo y eficiencia de uso de agua para el maíz amarillo duro**	74
7.4	**Efecto de la variabilidad climática en la producción del maíz amarillo duro en la costa central**	75
VIII.	**REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**	75

EVALUACIÓN DEL EFECTO DEL CLIMA EN LA PRODUCCIÓN Y PRODUCTIVIDAD DEL MAÍZ AMARILLO DURO EN LA COSTA CENTRAL DEL PERÚ

I. INTRODUCCIÓN

El maíz amarillo es uno de los cultivos más importantes del país, por su relación con la cadena productiva maíz, avicultura y porcicultura. En el Perú, la costa reporta la mayor producción y productividad, sin embargo, el manejo del maíz aún no se realiza considerando cabalmente el factor clima y sus efectos favorables y desfavorables, es decir, el sistema de manejo actual no explota de manera conveniente las condiciones del clima en relación a las características genéticas de los principales híbridos, al periodo más idóneo para el desarrollo de las fases fenológicas del cultivo, la eficiencia y oportunidad en la aplicación de los insumos y la mano de obra a utilizar.

En la costa peruana, las condiciones de cultivo son raramente encontradas en otras partes del mundo pues el clima sub-tropical de la zona permite que se pueda sembrar maíz todo el año; sin embargo, ello no significa que se pueda sembrar la misma variedad o híbrido en diferentes épocas con iguales resultados, ya que el rendimiento del cultivo de maíz depende de la relación de dos factores esenciales. El primer factor es la naturaleza genética, representado por la semilla; y el segundo factor corresponde al ambiente donde se desarrolla, incluyendo tanto el **clima** como el manejo agronómico del mismo.

Durante el año 2007 el Perú produjo 1 116 Millones de toneladas de maíz amarillo duro, cosechado en 281 773 hectáreas. El 84,7% de la producción nacional de maíz amarillo se concentró en Piura (5,7%), Lambayeque (8,3%), La Libertad (21%), Cajamarca (6,6%), Ancash (7,4%), Lima (18,6%), Ica (5,7%) y San Martín (11,4%). El rendimiento promedio nacional llegó a 3,9 t/ha, aunque en algunas regiones se registraron niveles significativamente más altos que demuestran su alta competitividad en términos agronómicos: Lima (8,6 t/ha), Ica (8,0 t/ha), La

Libertad (7,9 t/ha), Lambayeque (5,3 t/ha), Ancash (5,1), Piura (3,6 t/ha), Cajamarca (3,3 t/ha) y San Martín (2,0 t/ha). A pesar de estas cifras el estancamiento de la producción nacional en los últimos seis años ha sido acompañado de un incremento sostenido de las importaciones de maíz amarillo, desde 1991 el Volumen de producción no abastece la demanda interna, en el 2007 se han importado 1 560 848.3 toneladas a un precio FOB de $248 868.4 (miles US$) para cubrir la demanda, siendo la producción nacional el 71,5% de la demanda nacional (MINAG-2007). Esta baja producción puede ser atribuída al inadecuado manejo del sistema de producción y al desconocimiento de la influencia del clima en la producción y productividad del cultivo.

En concordancia con la política del Sector Agrario que considera priorizar el incremento de la demanda interna; se presenta este estudio donde se evalúa el efecto de los diferentes parámetros climáticos que influyen en la producción y productividad de los principales híbridos de maíz amarillo duro comerciales en la costa central.

II. OBJETIVOS

2.1 Objetivo General:

- Evaluar el efecto del clima en la producción y productividad del maíz amarillo duro en la costa central del Perú.

2.2 Objetivos específicos:

- Evaluar el efecto de la temperatura en los diferentes estados de crecimiento y desarrollo de híbridos de maíz amarillo duro.
- Evaluar el efecto de la radiación en los diferentes estados de crecimiento y desarrollo de híbridos de maíz amarillo duro.

- Evaluar la eficiencia de uso de agua en los diferentes híbridos de maíz amarillo duro.
- Evaluar la variabilidad climática en la producción de maíz amarillo duro.

III. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

3.1 Generalidades

3.1.1 La planta de maíz

3.1.1.1 Características morfológicas y taxonómicas del maíz.

La diversidad genética del maíz a nivel mundial es amplia. Hay más de 250 razas clasificadas y se encuentran alrededor de 10,000 entradas almacenadas en los principales bancos de germoplasma a nivel mundial. Aunque se ha dicho y escrito mucho acerca del origen del maíz, todavía hay discrepancias respecto a los detalles de su origen. Generalmente se considera que el maíz fue una de las primeras plantas cultivadas por los agricultores entre 7 000 y 10 000 años. La evidencia más antigua del maíz como alimento humano proviene de algunos lugares arqueológicos en México donde algunas pequeñas mazorcas de maíz estimadas en más de 5 000 años de antigüedad fueron encontradas en cuevas de los habitantes primitivos (Wilkes, 1979, 1985).

El maíz es una monocotiledónea perteneciente a la familia Gramínea, Tribu Maydae, con dos géneros: ***Zea*** (2n=20) y ***Tripsacum*** (2n=36). El género ***Zea*** tiene además de la especie Z. Mays (maíz común), cuatro especies conocidas como Teosintes (***Z. mexicana, Z. luxurians, Z. diploperennis y Z. perennis***). Es una gramínea anual, robusta, de 1-4 m de altura, determinada, normalmente con un solo tallo dominante, pero puede producir hijos fértiles, hojas alternas en ambos lados del tallo, pubescentes en parte superior y glabrosas en parte inferior, monoica con flores

masculinas en espiga superior y flores femeninas en jilotes laterales; potándrica con la floración masculina ocurriendo normalmente 1-2 días antes que la femenina, polinización libre y cruzada con exceso de producción de polen: 25-30 mil granos por óvulo, granos en hileras encrustados en la mazorca, en su totalidad cubierta por hojas; grano cariopsis; metabolismo fotosintético C4 (Kiesselbach, 1949; Purseglove, 1972; Fisher y Palmer, 1984).

3.1.1.2 Fenología del maíz amarillo duro.

La escala fenológica más utilizada para describir el ciclo de un cultivo de maíz es la de Ritchie y Hanway (1982). En ella se puede distinguir dos grandes etapas, la vegetativa y la reproductiva (Tabla 3.1). Las subdivisiones numéricas de la etapa vegetativa, identificada con la letra V, corresponden al número de hojas totalmente expandidas. La etapa reproductiva comienza con la emergencia de los estigmas (R_1) y finaliza con la madurez fisiológica de los granos (R_6). Las subdivisiones de la etapa reproductiva corresponden a distintos momentos del llenado del grano. Simultáneamente a los cambios externos descritos por la escala de Ritchie y Hanway, el meristema apical y las yemas axilares también sufren modificaciones (Gráfico 3.1). Cuando las plantas presentan entre cuatro a seis hojas completamente expandidas (alrededor de un cuarto a un tercio del total de hojas) el meristema apical finaliza la difereciación de hojas y comienza a diferenciar las espiguillas estaminadas correspondientes a la panoja (Stevens y col., 1986). A esa altura del desarrollo queda determinado el número de hojas y, por lo tanto, el área foliar potencial que puede alcanzar la planta (Gráfico 3.1).

Tabla 3.1. Fases Fenológicas del maíz (Ritchie y Hanway, 1982).

Estados vegetativos	Estados reproductivos
V_E Emergencia	R_1 Emergencia de estigmas
V_1 Primera hoja	R_2 Cuaje (ampolla)
V_2 Segunda hoja	R_3 Grano lechoso
…	R_4 Grano pastoso
…	R_5 Grano dentado
…	R_6 Madurez fisiológica
V_n Enésima hoja	
V_T Panojamiento	

Con posterioridad a la iniciación de la panoja, cuando la planta tiene alrededor de siete a nueve hojas, se produce el comienzo de la diferenciación de lo primordios florales de la yema axilar que dará origen a la espiga. Si bien las yemas axilares se diferencian acrópetamente (es decir, las yemas más viejas son las basales), la primera cuyo meristema cambia de estado vegetativo a reproductivo es la yema superior; generalmente ubicada en la axila de la quinta a séptima hoja por debajo de la panoja (Dwyer y col., 1992). Al igual que para el meristema apical, una vez que la yema axilar es inducida a diferenciar órganos florales, cesa la diferenciación de estructuras vegetativas, comenzando la formación de espiguillas con flores pistiladas. La diferenciación reproductiva de las yemas axilares continúa en sentido basípeto (Fischer y Palmer, 1984), pudiendo haber simultáneamente hasta siete yemas en estado de diferenciación floral. Las yemas correspondientes a las cuatro a cinco hojas basales, cuyos entrenudos nunca se elongan, permanecen en estado vegetativo y pueden dar lugar a ramificaciones (macollo), según el genotipo, el ambiente y la densidad de siembra. Las hojas ubicadas por encima de la correspondiente a la espiga superior, no presentan yemas axilares visibles.

La diferenciación de espiguillas sobre las hileras continúa hasta una a dos semanas antes de la aparición de los estigmas, fuera de la envoltura de las chalas. En el caso del maíz, a diferencia del trigo, la finalización de la

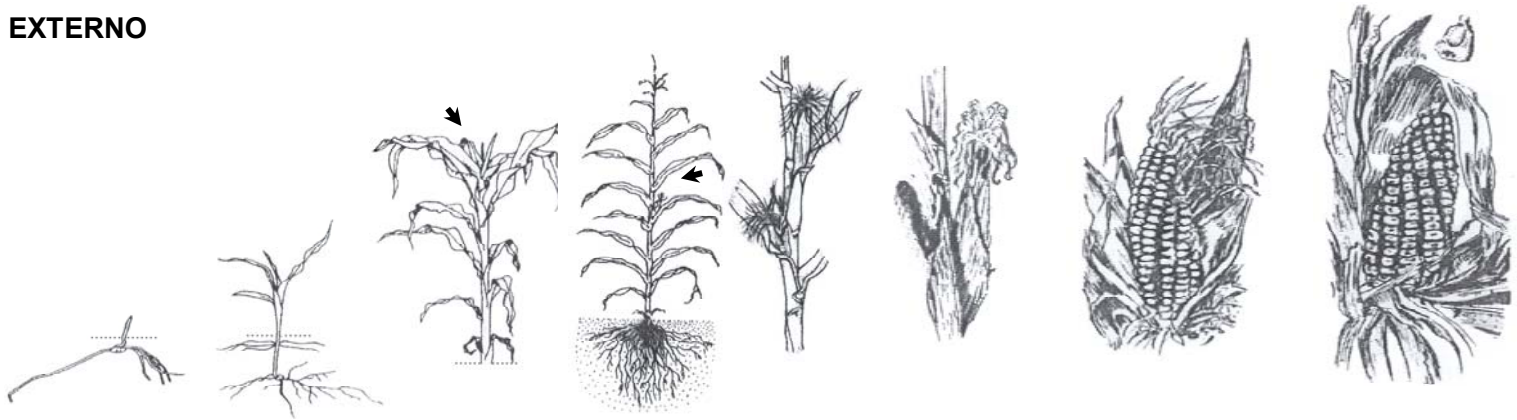
diferenciación no se manifiesta por la formación de una espiguilla terminal, sino por un cambio en el aspecto del domo apical. Esto suele coincidir con el comienzo de la elongación de los estigmas de las espiguillas del tercio inferior de la espiga (Ruget y Duburcq, 1983). En ese momento queda determinado el total de espiguillas diferenciadas, y con ello el número máximo de flores fértiles capaces de ser fecundadas, es decir, el número potencial de granos que puede tener la planta (Gráfico 3.1).

La elongación de los entrenudos se inicia alrededor de V_6 y continúa hasta la aparición de los estigmas. Alrededor del momento de floración también queda determinado el índice de área foliar máximo (las láminas de las hojas diferenciadas se hallan totalmente desplegadas) y la altura de las plantas (entrenudos completamente alongados; Gráfico 3.1). El orden de elongación de los entrenudos es acrópeto y normalmente hasta cuatro entrenudos se elongan simultáneamente (Morrison y col., 1994). A temperatura constante, la duración del período de elongación de cada entrenudo aumenta acrópetamente hasta el entrenudo correspondiente a la espiga, resultando cada entrenudo más largo que su inmediato anterior, excepto el entrenudo de la espiga. Este último presenta el mayor período de elongación pero es más corto que los dos adyacentes al mismo. La longitud de los entrenudos comienza a disminuir nuevamente a partir del inmediato superior a la espiga, aunque la máxima longitud le corresponde al pedúnculo de la panoja (Morrison y col., 1994).

Las raíces seminales dejan de crecer antes de V_3. Apartir de V_E se desarrollan raíces nodales y partir de V_{18}, aparecen raíces en los nudos ubicados por encima de la superficie del suelo.

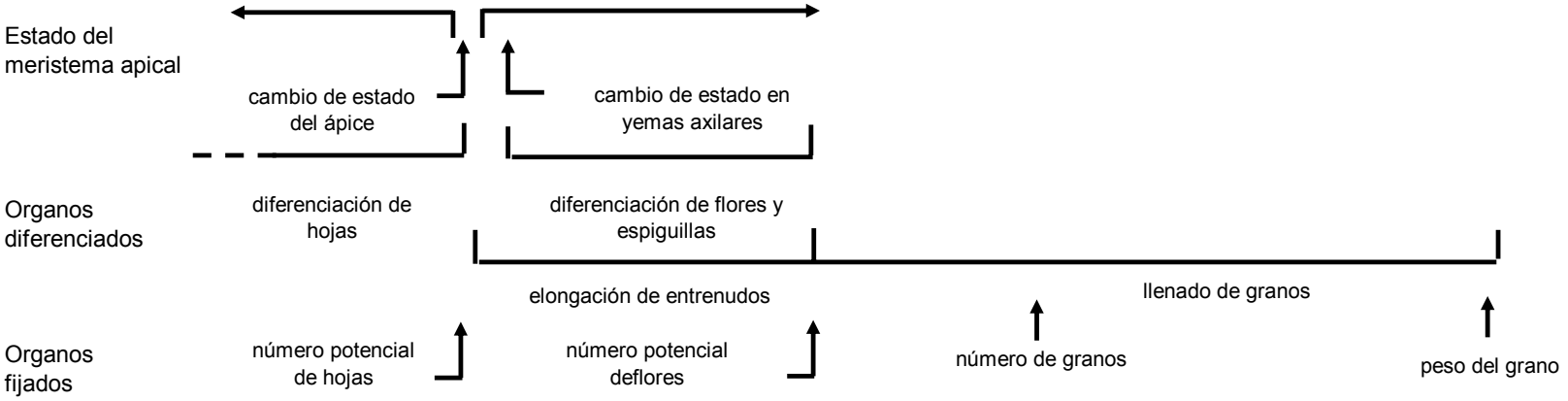
Gráfico 3.1. Correspondencia entre los cambios externos en la planta de maíz (escala de Ritchie y Hanways, 1982) y las modificaciones en el meristema apical y en las yemas axilares durante el ciclo ontógenico del cultivo. Se destacan los períodos de diferenciación de estructuras, de elongación del tallo y de llenado del grano, y se indican los momentos en que se determinan los componentes numéricos del rendimiento.

ESTADO EXTERNO



V_E emergencia | **V_1 V_2……V_6** | **V_T floración masculina** | **R_1 floración femenina** | **R_3 grano lechoso** | **R_4 grano pastoso** | **R_6 maduración fisológica**

ESTADO INTERNO



El panojamiento consiste en la emergencia de la panoja (inflorescencia masculina), a través del cogollo formado por las hojas superiores, y se completa al expandirse la última hoja. Luego de la emergencia total de la panoja ocurre la antesis, que se define como la aparición de las anteras de las flores en las espiguillas de la panoja y el comienzo de la liberación del polen. Este fenómeno progresa en sentido basípeto: comienza en el eje principal y finaliza en las ramificaciones basales de la panoja. Esta maduración progresiva en el desarrollo floral de la panoja resulta en un período de varios días de liberación de polen, generalmente, sólo por un día. La liberación del polen ocurre exclusivamente durante las horas de luz, con un máximo entre las 9 y las 11, para descender rápidamente hasta finalizar por completo a la puesta del sol (Bartolini, 1990; Otegui, 1992).

La floración femenina, por su parte, consiste en la emergencia de los estigmas fuera de la envoltura de las chalas. Los estigmas de las flores que son fecundadas cesan su crecimiento inmediatamente, mientras que los de las no fecundadas continúan creciendo hasta 15 días después de su aparición (Bassetti y Westgate, 1993a; Fischer y Palmer, 1984). La receptividad de los estigmas decae marcadamente a partir de los siete días de su aparición, tornándose nula a los 14 días de su emergencia (Sadras y col., 1985; Bassetti y Westage, 1993a-b; Cirilo y Andrade, 1994). Los estigmas de las flores no fecundadas se diferencian de aquéllos cuya base ha sido atravesada por el tubo polínico, porque no se desprenden del ovario aunque muestren síntomas de senescencia (Jhonson y Herrero, 1981; Otegui y col., 1995). La emergencia de los estigmas es también un proceso progresivo. Los estigmas de una espiga toman de cuatro a ocho días de emerger, en una secuencia que sigue el patrón general de difereciación y desarrollo de la inflorescencia (Bassetti y Westgate, 1993b).

El período de llenado de los granos transcurre desde el momento de la fecundación hasta la formación de una capa de abscisión en la base de los mismos, denominada “capa negra” (Daynard y Duncan, 1969), resultante, esta

última, de la necrosis de los haces vasculares que conectan con los tejidos maternos. El período de llenado del grano reconoce tres fases diferentes según su tasa de acumulación de materia seca. La primera coincide con el período de cuaje de los granos y presenta una muy baja tasa de llenado. Durante la misma tiene lugar una activa división celular, que da lugar a la formación de las células endospermáticas. La segunda fase, llamada de llenado efectivo del grano o fase de crecimiento lineal, muestra la máxima tasa de llenado y suele representar más de la mitad del período total de llenado (Fischer y Palmer, 1984). La etapa final, de crecimiento no lineal, tiene una duración de una a dos semanas (Fischer y Palmer, 1984) y en ella la tasa de llenado declina progresivamente hasta hacerse nula, completándose el crecimiento del grano, el cual alcanza de madurez fisiológica. Este último período se caracteriza por una activa pérdida de humedad del grano. A la semana de completado el llenado se visualiza la formación de la capa negra, que pone en evidencia su madurez fisiológica. Al alcanzar la madurez fisiológica queda determinado el peso final del grano y, en consecuencia, el rendimiento en grano del cultivo.

3.1.2 Requerimientos climáticos del maíz amarillo duro

3.1.2.1 Influencia de la temperatura

La temperatura es el elemento primario que influye sobre el desarrollo del maíz. Los cultivares se clasifican como de madurez temprana o tardía en base a sus requerimientos térmicos para cumplir ciertas etapas del desarrollo. El tiempo térmico es una medida de la temperatura acumulada por encima de un mínimo y por debajo de un máximo adecuados para el desarrollo. Las unidades de tiempo térmico son los grados-días. La floración es generalmente usada como el evento del desarrollo que caracteriza los cultivares como tempranos o tardíos.

Las principales regiones de producción de maíz en las zonas tropicales se caracterizan como ambientes de tierras bajas, de media altitud y de tierras

altas. Si bien esta clasificación se basa en la altitud, el factor abiótico que las distingue es la temperatura. El maíz de tierras altas se caracteriza por crecer y desarrollarse a temperaturas más bajas que los cultivares adaptados a las tierras bajas o de media altitud. La temperatura óptima para el desarrollo del maíz en las tierras bajas y de media altitud está entre 30º y 34ºC, y se considera que para los maíces tropicales de tierras altas está alrededor de 21ºC (Ellis y col, 1992). Los cultivares de tierras altas demoran en llegar a la floración casi el mismo tiempo que los cultivares de las tierras bajas en un ambiente cálido, pero florecen cerca de cuatro semanas antes en los ambientes fríos de las tierras altas. Las respuestas térmicas de los maíces de media altitud parecen ser similares a los de los cultivares de tierras bajas; esos tipos de maíz difieren sobre todo en sus reacciones a algunas enfermedades. Las temperaturas fuera del rango de la adaptación del cultivar pueden tener efectos negativos sobre la fotosíntesis, la translocación, la fertilidad de las florecillas, el éxito de la polinización y otros aspectos del metabolismo.

Además de la influencia de la temperatura sobre las tasas de metabolismo, la temperatura representa una *limitación escondida* para el potencial de rendimiento en muchas áreas tropicales. Las diferencias en rendimientos de los cultivos en diferentes ambientes pueden ser explicadas, en términos generales, por la duración del cultivo; cuanto mayor es el ciclo del cultivo, más radiación es interceptada. En áreas templadas con días largos y noches relativamente frescas el potencial de rendimiento es considerablemente mayor que en áreas tropicales. En las tierras bajas de los trópicos, las altas temperaturas nocturnas aceleran el desarrollo y al mismo tiempo, los días comparativamente cortos y las condiciones nubladas que por lo general prevalecen en la época lluviosa, limitan la cantidad de radiación que puede ser absorbida por el cultivo. Estos factores resultan en una baja cantidad de radiación absorbida por unidad térmica de tiempo y de ese modo limitan la producción del cultivo. En Kenya se observó una relación estrecha entre el número de granos de maíz en el momento de la cosecha y la tasa de

crecimiento de las partes aéreas de la planta por unidad térmica de tiempo (Norman, Pearson y Searle, 1995). En este estudio la tasa de crecimiento por unidad térmica de tiempo estaba presumiblemente relacionada a la radiación por unidad térmica de tiempo.

La cantidad de unidades térmicas de tiempo acumuladas por día es mayor en los años más cálidos pero la cantidad de radiación absorbida por día -su promedio en una estación completa- es menos afectada por la temperatura. Por lo tanto, las estaciones con temperaturas por encima de la media tendrán, a menudo, rendimientos por debajo de la media. Para un cereal C4 como el maíz se estima que el rendimiento máximo será obtenido a una temperatura media de 20º a 22ºC (Squire, 1990). A temperaturas más altas, la radiación es usada en forma apenas más significativa y eficiente en la fotosíntesis, pero la duración de las hojas, o sea el tiempo disponible para absorber radiaciones, es reducida.

El maíz cultivado en las zonas tropicales bajas puede a menudo estar en un ambiente con condiciones de temperatura del aire por encima de las óptimas. Cuando las hojas transpiran libremente, la temperatura de las mismas estará 1º o 2ºC por debajo de la temperatura del aire evitando el daño a los tejidos. Si la transpiración se reduce a causa de un cierre parcial de los estomas, la temperatura de la hoja puede llegar a ser de 3º a 6ºC superior a la temperatura del aire y si el cierre de los estomas es total, la temperatura de la hoja puede ser hasta 10ºC más alta que la temperatura del aire (Squire, 1990). La fotosíntesis disminuye a temperaturas de la hoja mayores de 40ºC, aparentemente a causa del daño a las membranas -fotoinhibición- y el daño es más severo en condiciones de alta radiación. En un principio esta fotoinhibición es reversible, pero los daños pueden ser irreversibles si la duración de las altas temperaturas es prolongada o si la temperatura de las hojas excede de 45°C, llegando así en los casos extremos a la muerte de los tejidos.

Las altas temperaturas tienen un efecto directo sobre la polinización del maíz ya que la viabilidad del polen se reduce en forma importante por encima de temperaturas de 35°C (Westgate, 1994). Dado que el derrame del polen ocurre en las primeras horas del día, las temperaturas a esa hora difícilmente llegan a un nivel que pueda causar daño; sin embargo, si las altas temperaturas están asociadas a una baja humedad matinal, la viabilidad del polen se puede reducir de tal manera que la formación del grano puede ser afectada. En el caso en que el abastecimiento de polen viable descienda por debajo del 80%, la polinización puede ser una limitante del rendimiento.

Las altas temperaturas después de la floración incrementan la tasa de llenado de los granos y acortan su duración de ese período. Lamentablemente, el efecto de las temperaturas elevadas es por lo general relativamente mayor para el desarrollo -duración del tiempo de llenado del grano- que para el crecimiento -tasa de llenado del grano- por lo que el rendimiento es, en general, reducido por las altas temperaturas después de la floración. En muchos casos, sin embargo, las altas temperaturas en el campo están asociadas con períodos de poca lluvia y sequía, por lo que los efectos de la temperatura se confunden con los del estrés de agua. En un estudio donde la temperatura varió de 25º a 32ºC durante el período de llenado del grano pero el abastecimiento de agua y la radiación eran casi constantes, el rendimiento de grano no se redujo a las temperaturas más altas (Muchow, 1990). También parece haber un efecto directo de las temperaturas muy altas que no está relacionado con la duración de la cubierta de hojas: cuando los granos están a 35ºC se reduce la duración del período de llenado (Paulsen, 1994).

El maíz es un cultivo sensible al frío y sufre daños a temperaturas entre 0º y 10° C si está expuesto a la luz normal, y a temperaturas entre 10º y 15ºC cuando está expuesto a la luz intensa, dependiendo de los cultivares estudiados. Los efectos de las bajas temperaturas se manifiestan tanto sobre las funciones enzimáticas como sobre las propiedades de las membranas y se ponen en evidencia por la reducción de la fotosíntesis, del crecimiento, de la

extensión de las hojas y por la absorción de agua y nutrientes (Miedema, 1982). Las temperaturas entre 0º y 10ºC pueden también resultar en un desarrollo radical anormal y en la pérdida de turgencia (Aloni y Griffith, 1991).

3.1.2.2 Influencia del fotoperíodo

El maíz es una planta determinada cuantitativa de días cortos. Esto significa que el progreso hacia floración se retrasa progresivamente a medida que el fotoperíodo excede de un valor mínimo. En general, para la mayoría de germoplasma de maíz tropical el fotoperíodo crítico oscila entre 11 y 14 horas y en promedio 13,5 horas. La mayoría de los materiales tropicales tienen mucha sensitividad al fotoperíodo que puede influir en el retraso en la iniciación de la espiga (Bolaños y Edmeades, 1993).

El fotoperíodo también puede afectar el tiempo requerido por la floración. El maíz es clasificado como una planta cuantitativa de día corto. Después de un período juvenil insensitivo al fotoperíodo, la floración es demorada por fotoperíodos largos de más de 12,5 horas (Kiniry, Ritchie y Musser, 1983). Hay variabilidad genética para la duración crítica del fotoperíodo por debajo de la cual la fecha de floración no es afectada. La mayoría de los cultivares tropicales son sensibles al fotoperíodo pero la extensión de esta sensibilidad varía enormemente, de uno a 12 días de atraso en la antesis por cada hora de extensión de la duración del día. Los cultivares para las zonas templadas tienden a ser mas tempranos y también menos sensibles al fotoperíodo, lo cual les permite completar su ciclo en un tiempo relativamente mas corto bajo las condiciones de días largos que caracterizan a los veranos de las zonas templadas.

3.1.2.3 Influencia de la radiación solar

La producción de los cultivos depende de la intercepción de la radiación solar y de su conversión en biomasa. La cantidad de radiación incidente que es interceptada por el cultivo está determinada por el área foliar, por la orientación

de la hoja y por su duración. El índice del área foliar (IAF) es importante para determinar la intercepción de la radiación hasta un valor cercano a 4 en el caso del maíz; después de este valor, el área adicional tiene poco efecto en la intercepción de la luz. La densidad de siembra es un factor determinante del IAF y de la intercepción de la radiación. Los cultivares de ciclo corto producen menos hojas para interceptar la radiación y requieren una mayor densidad de plantas para llegar a un rendimiento óptimo comparados con los cultivares tardíos.

La cantidad total de radiación interceptada a lo largo de todo el período de cultivo depende del tiempo requerido para alcanzar la intercepción máxima (o IAF máxima, si el cultivo no cubre completamente la tierra) y también de la duración del área verde de la hoja. Los factores experimentales que reducen la expansión de la hoja son el déficit de agua y la baja disponibilidad de nutrimentos. Por ejemplo, la fracción de radiación total interceptada en el período de cultivo fue de 0,46 en el caso de un híbrido tropical cultivado en siete ambientes con bajo contenido de nitrógeno comparado con 0,60 en un tratamiento con alto contenido de nitrógeno (Muchow y Sinclar, 1994); ambos cultivos tenían una población de 70 000 plantas /ha. Un cultivo con una IAF máxima de cerca de 2 interceptó solo 37% de la radiación que recibió durante la estación, y un cultivo con alto contenido de nitrógeno con una IAF máxima de 4,5 interceptó 58%. Después de la floración, el proceso de senescencia afecta la captura de la luz; la senescencia puede ser acelerada por enfermedades, estrés de agua, baja fertilidad y factores genéticos.

Hay una amplia y altamente heredable variación genética para el ángulo de inserción de la hoja del maíz; además, el impacto de la arquitectura de la capa de hojas de las plantas en la intercepción y uso de la radiación han merecido considerable atención. Los efectos simulados indican que las hojas superiores erectas combinadas con las hojas horizontales inferiores dan lugar a un uso más eficiente de la radiación por parte de la capa total de hojas. Es de esperar que la importancia de este efecto sea mayor en las zonas tropicales donde el

ángulo de incidencia de los rayos solares es mayor (Pearson y Hall, 1984), pero también el efecto es menor en cultivos C4 como el maíz, comparado con cultivos C3 (Hay y Walker, 1989). En el caso del maíz, la espata que cubre la mazorca contribuye a asimilar más materiales para la mazorca que otras hojas de la planta (Edmeades, Fairey y Daynard, 1979). Las hojas erectas por encima de la mazorca permiten una mayor iluminación de las hojas que la recubren, obteniendo así un beneficio adicional de la arquitectura vertical de aquellas hojas. La iluminación de las hojas inferiores es importante para la continua absorción de nutrientes durante la etapa de llenado de los granos y también es favorecida por las hojas erectas en la parte superior de la planta.

Ambos factores, la especie y el ambiente, tienen influencia directa sobre la eficiencia con la cual la radiación absorbida es utilizada (eficiencia de conversión, CE). El maíz presenta el proceso fotosintético C4 lo cual le proporciona el beneficio de la continua respuesta al incremento de la radiación hasta la plena luz con bajos niveles de fotorespiración. Estas características son sumamente adecuadas a las altas temperaturas y a las altas intensidades de luz que se encuentran en las zonas tropicales. Otros factores ambientales con influencia sobre la CE son el agua y la disponibilidad de nutrimentos (Tabla 3.2). Las tasas máximas de fotosíntesis en el maíz tropical se encuentran entre 30º y 40ºC (Norman y col., 1995). El efecto de la temperatura sobre la CE en el rango de 20º a 40ºC es relativamente pequeño, pero las temperaturas fuera del rango de adaptación del cultivar (por debajo de 15ºC o por encima de 44ºC para maíz tropical de tierras bajas) también pueden reducir la CE.

La radiación diaria de onda corta en los trópicos varía de 10 MJ/m^2/día en zonas nubosas a 25 MJ/m^2/día en zonas semiáridas durante la estación seca. Como se mencionó anteriormente, un maíz sin estrés sembrado a altas densidades puede interceptar alrededor de 55% del total de la radiación recibida en el período de cultivo. Se ha informado de eficiencias de conversión para cultivos de maíz sin estrés que van de 1,2 a 1,6 gramos de biomasa por encima de la superficie de la tierra por cada MJ de radiación solar interceptada

(Muchow y Sinclair, 1994). Bajo buenas condiciones, en zonas templadas y sin estrés, el maíz puede crecer a razón de 500 kg/ha/día durante varias semanas, resultando así en una alta productividad (Norman, Pearson y Searle, 1995). En áreas tropicales con mayores temperaturas y días más cortos se han obtenido tasas de crecimiento de 250 a 350 kg/ha/día (Fisher y Palmer, 1984; Angus y col., 1983).

Tabla 3.2. Algunos factores ambientales que afectan la eficiencia de conversión (CE) en el maíz tropical de zonas bajas

Factor	Rango de incremento linear de CE	Umbral para nivel o declinación	Referencia
Temperatura	20°-40°C	40°-44°C	Fischer y Palmer, 1984; Hay & Walker, 1989
Irradiación	0 a completa luz solar	Visto a temperaturas <15°C	Hay y Walker, 1989
Contenido específico de N de la hoja	0,5-1,5 g m-2	>1,5 g m-2	Muchow y Sinclair, 1994
Disponibilidad de agua	Niveles críticos dependientes de las precondiciones. Ciertos estudios informan que la declinación inicia a -0,35 MPa.		Fischer y Palmer, 1984

3.1.2.4 Requerimiento de agua

La disponibilidad de agua en cantidades adecuadas al requerimiento de la planta, posibilita que el cultivo pueda desarrollarse adecuadamente y que posibilite potenciar rendimiento. La utilización del agua está en función del desarrollo fenológico de la planta y se correlaciona con otras variables muy importantes como lo es la capacidad de campo, evapotranspiración y temperatura. La cantidad de agua accesible al cultivo en un momento dado depende de la profundidad explorada por las raíces, de la cantidad de agua disponible hasta dicha profundidad y de la efectividad con que las raíces pueden extraer la humedad del suelo en los distintos niveles.

En general, el cultivo del maíz dispone de una fase crítica que demanda la mayor cantidad de agua. Este período ocurre durante la fase de pre y post floración. La limitación de agua en esta fase puede afectar negativamente al rendimiento debido al estrés que provoca en la fisiología de la planta. También la falta de agua en las etapas iniciales posterior a la siembra puede afectar significativamente la población de plantas, lo que causa la muerte de plántulas y por consiguiente pérdida de población que se reflejará en disminución del rendimiento. El efecto particularmente de la sequía afecta la habilidad de la planta de maíz a producir grano en tres fases críticas del crecimiento vegetativo: a) Al inicio del ciclo de cultivo, en estado de plántula puede matar a estas plantas y reducir la densidad de población; b) En fase de floración y c) en fase de llenado de grano. Se han realizado diferentes estudios en maíces tropicales para simular y cuantificar potencialmente el efecto de la reducción del grano por efecto de sequía. La reducción de agua en el cultivo del maíz durante el período de prefloración, floración y post-floración provoca perdidas de 25%, 50% y 21%, respectivamente. Heisey y Edmeades (1999) informan que el momento crítico de estrés de sequía de maíz se ubica entre los 7 días previos al inicio de la floración y 15 días posterior a esta. En esta etapa la reducción de rendimiento es mayor y puede ser 2 o 3 veces mayor que en otra fase de crecimiento. Se indica también que en esta fase el número de granos puede reducirse hasta en 45%. El umbral mínimo de precipitación desde el cual puede esperarse cosecha de granos es de 150 mm. Según Lafitte (1994), el maíz necesita por lo menos 500 a 700 mm de precipitación bien distribuida durante el ciclo de cultivo. Sin embargo, aun esa cantidad de lluvia no es suficiente si la humedad no puede ser almacenada en el suelo debido a la poca profundidad de éste o del escurrimiento, o si la demanda evaporativa es muy grande por las temperaturas elevadas y la escasa humedad relativa.

3.1.2.5 Requerimiento de suelo

El cultivo de maíz se desarrolla bajo diferentes condiciones de suelo. La mayor dificultad de desarrollo del cultivo se encuentran en los suelos excesivamente pesados (arcillosos) y los muy sueltos (arenosos). Los primeros por su facilidad a inundarse y los segundos por la tendencia a secarse excesivamente. Sin embargo, las mejores condiciones se pueden encontrar en suelos que presenten buenas condiciones tales como textura media (francos), fértiles, bien drenados, profundos y con elevada capacidad de retención del agua. El maíz se puede cultivar con buenos resultados en suelos que presenten pH de 5,5 a 8, aunque el óptimo corresponde a una ligera acidez (ph entre 6 y 7). Un pH fuera de estos límites suele aumentar o disminuir la disponibilidad de ciertos elementos y se produce toxicidad o carencia. Con un pH inferior a 5,5, a menudo hay problemas de toxicidad por Al y Mn, con carencias de P y Mg. Con un pH superior a 8 (o superior a 7 en suelos calcáreos), tiende a presentarse carencias de Fe, Mn y Zn. (Lafitte, 1994). El maíz es medianamente tolerante a los contenidos de sales en el suelo o en las aguas de riego. Las sales retrasan la nacencia de las semillas, sin afectar sus porcentajes de emergencia (un contenido de sales totales solubles de 0,5% en el suelo, o bien, 15,3 gr/lt en la solución del suelo). Las plantas mueren cuando la concentración alcanza valores de 1,15% ó 43 gr/lt.

3.1.3 El maíz amarillo duro a nivel nacional

3.1.3.1 Principales indicadores de la actividad de maíz amarillo duro

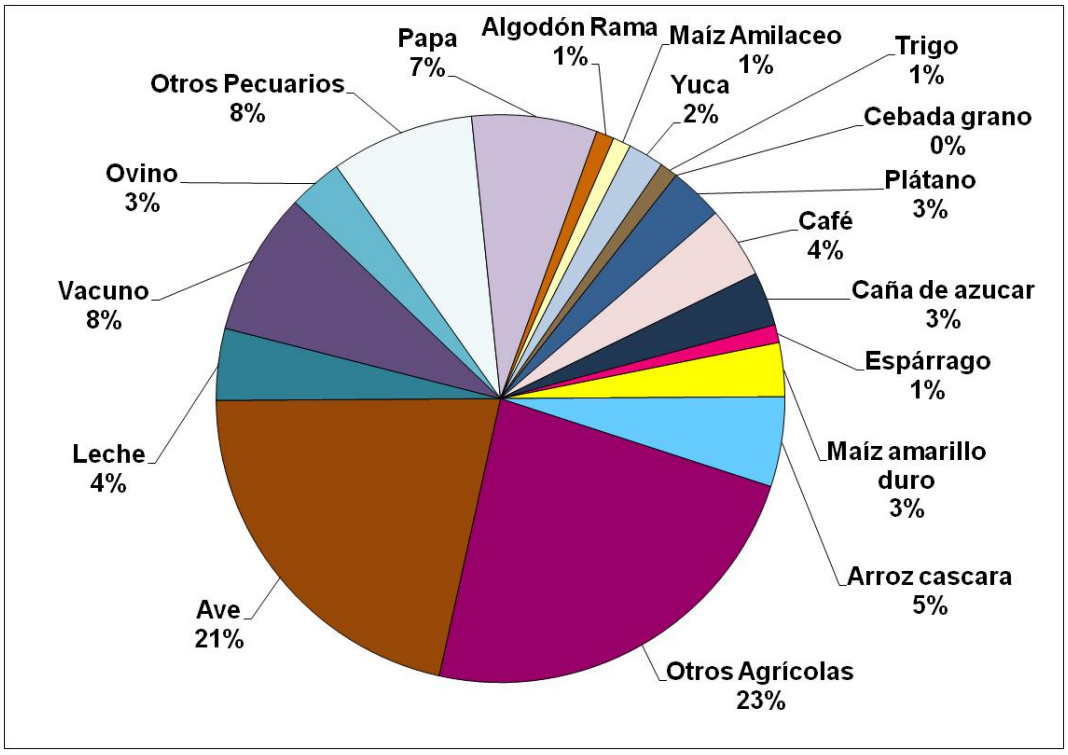
El maíz amarillo duro es el tercer cultivo en importancia a nivel nacional y tiene una relevancia fundamental debido a que forma parte de la cadena de maíz amarillo duro, avicultura, porcicultura, la cual es la más importante en términos de la actividad económica y social para el país, con una superficie sembrada de 296 898 has; producción nacional de 1116 459 toneladas; rendimiento promedio nacional de 3,9 t/ha;

importación de 1560 848.3 (t); precio FOB de 248 868.4 US $. (MINAG-DGIA, 2007).

3.1.3.2 Aporte a la producción agropecuaria

La participación de la cadena en el PBI agropecuario es de aproximadamente el 25%, lo cual es un indicador de la importancia que tiene la cadena de maíz amarillo duro, avícola, porcícola en la economía de las familias rurales y la población en general, ya que el pollo es el alimento principal que suministra la proteína animal en forma mas barata a la mayor parte de la población peruana (Figura 3.1) (MINAG-DGPA, 2003).

Figura 3.1. PBI Agropecuario

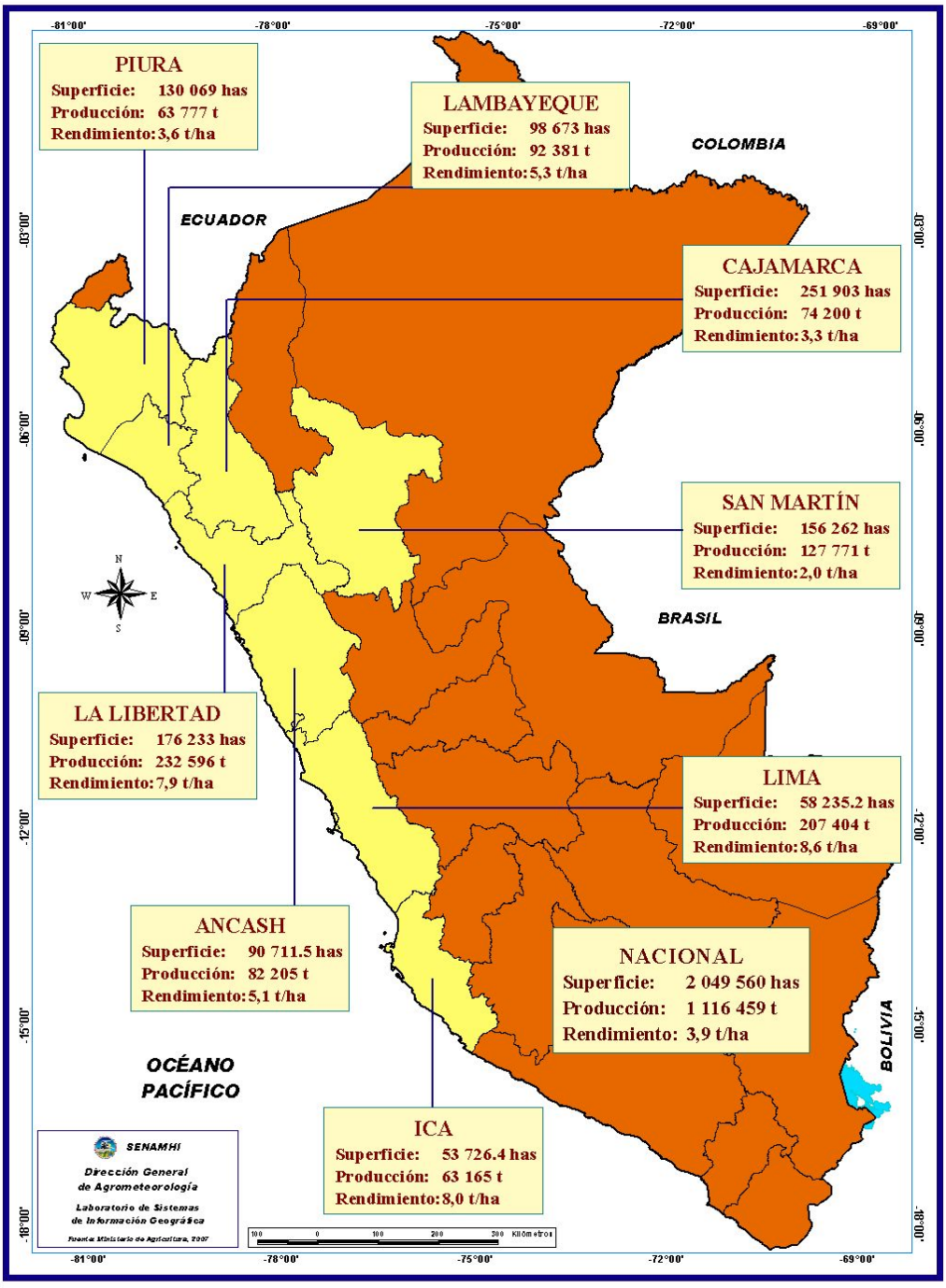


Fuente: MINAG – OIA

Elaborado por: MINAG - DGPA

3.1.3.3 Producción nacional

Figura 3.2. Principales Zonas Productoras de maíz amarillo duro. Año 2007



Fuente: MINAG – OIA

Elaborado por: SENAMHI-DGA

3.2 Grados días de crecimiento

La influencia de la temperatura sobre la duración de las fases fenológicas en maíz fue puesta en manifiesto en 1914 por Lehenbauer. Si bien el tiempo que ocurre hasta alcanzar una determinada etapa de desarrollo no es una función lineal de la temperatura (Tollenaar y col., 1979; Warrington y Kanemasu, 1983), la respuesta de la velocidad de desarrollo (inversa a la duración en días de la etapa) a la misma, es aproximadamente lineal en el rango térmico comprendido entre una temperatura base (temperatura mínima a la cual la velocidad de desarrollo es nula y una temperatura óptima (a la cual se alcanza la máxima velocidad de desarrollo; Warrington y Kanemasu, 1983; Ellis y col., 1992). Por encima de la temperatura óptima el desarrollo se reduce progresivamente hasta detenerse al alcanzar un límite máximo de temperatura.

En maíz, la temperatura es la principal causa de variación anual en sus períodos de crecimiento y desarrollo. De esa forma, la relación entre temperatura y desarrollo sustentó la elaboración de los modelos para el cálculo de las sumas térmicas (a través de funciones de ajuste lineales, exponenciales o mediante ecuaciones más complejas) ampliamente usados para predecir el momento de ocurrencia de distintos sucesos fenológicos en maíz, basados en la acumulación de grados-día (Gilmore y Rogers, 1958; Cross y Zuber, 1972; Mederski et al., 1973; Brown, 1978; Bunting, 1976; Tollenaar et al., 1979; Coelho y Dale, 1980; Lozada y Angelocci, 1999).

La relación entre la temperatura y desarrollo sustentó la elaboración de los métodos de cálculo del tiempo térmico (a través de funciones de ajuste lineales, exponenciales o mediante ecuaciones más complejas) ampliamente usados parta predecir, con éxito variable, el momento de ocurrencia de distintos suceso fenológicos en maíz, basados en la acumulación de grados-día (Cross y Zuber, 1972; Derieux y Bonhomme, 1982 a-b; Ritchie y NeSmith, 1991).

La acumulación de los grados días de desarrollo (GDD) puede ser usado por los agricultores para monitorear el desarrollo de procesos biológicos y así puede ser usado en el control de enfermedades de sus cultivos. Los GDD son importantes en la toma de decisiones sobre el manejo del cultivo y en la investigación de modelos clima-cultivo (Neild y Seeley, 1987).

Neild y Seeley (1987) mencionan también las principales aplicaciones de los GDD:

a. Desarrollo esperado del cultivo en diferentes localidades. Lo cual ahorra muchos años de investigación y da la pauta para posteriores trabajos.
b. Desarrollo esperado en diferentes fechas de siembra.
c. Desarrollo esperado de diferentes híbridos.
d. Predicción del desarrollo en futuras fechas.
e. Pronóstico del número de días a una etapa.
f. Estimación del número de días que el cultivo está adelantado o atrasado con respecto a lo normal.
g. Observaciones a partir de siembras estándar para mejorar las predicciones de GDD. Tomando en cuenta que el cultivo es el principal integrador de todas las variables ambientales.
h. Cartografiar etapas de desarrollo esperadas sobre una región de tamaño considerable. Esto mediante una red de estaciones donde se registren los datos requeridos (fenológicos y de temperatura).

La predicción de los eventos fenológicos es de suma importancia en diversos aspectos prácticos de la agronomía. Desde 1735 vienen siendo aplicados, como resultado de observaciones empíricas, los llamados modelos de tiempo térmico, sumas térmicas o grados-día para lograr la identificación de mejores épocas de siembra, el escalonamiento de fecha de cosecha, planeamiento de las actividades agrícolas y también en programas de mejoramiento (Warrington y Kanemasu, 1983).

Las distintas versiones de los modelos de sumas térmicas para maíz difieren en el grado de precisión de sus previsiones, en función de las interacciones entre la variación del tiempo meteorológico y la fisiología del cultivo.

Wang (1960) explicó que las plantas responden en forma diferente al mismo factor ambiental en los distintos subperíodos de desarrollo, enfatizando el hecho de que la exigencia de suma térmica es constante únicamente para aquella amplitud en la cual existe linealidad entre el desarrollo relativo y la temperatura.

La simple acumulación de temperaturas medias diarias por encima de 10ºC (método residual) explicó el 98 % de la variabilidad en el desarrollo del cultivo de maíz en Nebraska (Arnold, 1959) donde fueron efectuadas observaciones fenológicas semanales. Una modificación de este modelo es el denominado método residual modificado, que considera toda temperatura máxima diaria mayor de 30ºC, igual a 30ºC y es uno de los modelos mas ampliamente difundidas (Gilmore y Rogers, 1958; Arnold, 1975).

Los métodos anteriormente mencionados asumen una relación lineal entre las temperaturas acumuladas y la tasa de desarrollo de las plantas. Sin embargo, Brown (1978) y Kiniry y Ritchie (1981) constataron que el desarrollo relativo no siempre presenta esa relación lineal con la temperatura del aire. Coelho y Dale (1980) consideran que la razón de superioridad de los índices térmicos que descuentan las temperaturas muy altas es que los mismos están sirviendo como variables reemplazantes del estrés hídrico de las plantas.

Brown (1978) desarrolló un modelo de sumas térmicas, denominado método Ontario, que asume una relación parabólica entre 10 y 30 ºC y lineal entre 4,4 y 10 ºC, para describir la tasa de desarrollo de la planta de maíz con relación a la temperatura del aire.

A pesar de la amplia cantidad de modelos existentes y de las limitaciones que el concepto de sumas térmicas tiene para explicar todas las variables determinantes de la fenología de los cultivos, aún se trata de un índice bioclimático de gran utilización en la caracterización de los materiales vegetales en cuanto a la duración de los subperíodos y del ciclo completo, en asociación con la temperatura del aire.

3.3 Radiación fotosintéticamente activa

La Radiación Solar fotosintéticamente activa absorbida (PAR), es la parte de la radiación solar disponible para la fotosíntesis y representa aproximadamente el 48% de la radiación solar (Monteith y Usworth, 1990).

Se suele considerar radiación fotosintéticamente activa (PAR) aquella radiación que se encuentra en la banda de 400-720 nm (Seller et al., 1997) que prácticamente coincide con el espectro visible. Esta importante magnitud se encuentra directamente relacionada con el crecimiento y desarrollo de las plantas, dado que indica la energía absorbida necesaria para el proceso de fotosíntesis (Gardner et al., 1985)

3.3.1 Índice de área foliar y radiación fotosintéticamente activa.

La tasa de crecimiento del cultivo, creciendo sin limitaciones, es directamente proporcional a la radiación incidente. Este hecho obedece a dos factores independientes que actúan en conjunto a nivel del canopeo. Por un lado están los mayores niveles de PAR en sí mismos, que de hecho se traducen en mayor cantidad de energía disponible, mientras que por otro lado, se encuentra la capacidad del canopeo de responder linealmente a esa mayor oferta de radiación. Esta capacidad de respuesta está asociada a la disposición geométrica del follaje en el perfil del canopeo, propiedad que recibe la designación genérica de arquitectura del canopeo.

Las hojas individuales de maíz, que interceptan perpendicularmente los rayos emitidos por una fuente de radiación lumínica, aumentan su tasa fotosintética a medida que aumenta la intensidad de la radiación, hasta alcanzar valores próximos a un *plateau* (valores de saturación) a niveles de intensidad de radiación equivalentes a los que experimenta un cultivo en días de verano con alta heliofanía (Gardner et al, 1985). Frente a estos resultados, por el contrario, un canopeo normal, cuyas hojas se disponen ofreciendo diversos ángulos de intercepción a los rayos solares y presentando una proporción de hojas parcialmente sombreadas por otras en el interior del canopeo, muestra una respuesta lineal en términos de fotosíntesis a un aumento del PAR. Entonces a nivel del cultivo, es esperable obtener respuestas lineales de intercambio neto de carbono a una mayor intensidad de radiación, sin presentar efectos de saturación lumínica.

No toda la radiación incidente durante el período de crecimiento del cultivo es utilizada por éste. Esto es así porque en los primeros estadíos de desarrollo el cultivo carece de la superficie foliar suficiente como para interceptar la radiación incidente. Esta limitación estrictamente ontógenica, puede considerarse como una fuente de ineficiencia y se puede reducir su efecto a través de la elección de híbridos y de la aplicación de prácticas de manejo y técnicas de producción que permitan la más rápida cobertura posible, a fin de lograr en el menor tiempo altos niveles de intercepción.

La superficie del área foliar fotosintéticamente activa de un cultivo, expresada por unidad de superficie de suelo, conocida como índice de área foliar (IAF), es un estimador muy apropiado para medir el grado de desarrollo y, junto con otros parámetros, la organización de un canopeo. Con niveles de IAF que posibilitan alcanzar el 95% de intercepción de la PAR (Arguissain, 1990), se logra la máxima tasa de crecimiento.

3.3.2 Eficiencia de uso de radiación

El crecimiento de un cultivo depende de la radiación solar incidente, de la capacidad del canopeo para interceptarla y de la eficiencia con que el cultivo transforma la radiación interceptada en materia seca. El rendimiento, por su parte, queda determinado por la manera con que el cultivo particiona la biomasa acumulada durante su crecimiento, entre los órganos de cosecha y el resto de la planta.

En el maíz, la acumulación de biomasa durante su crecimiento, y la proporción de esa biomasa que se destina a órganos de cosecha, son relativamente altas si las comparamos son las de otros cultivos que crecen en ambientes similares. Por ejemplo, cultivos de maíz de ciclo intermedio conducidos sin limitaciones hídricas ni nutricionales, sembrados en Balcarce a mediados de octubre, y que llegaron a cosecha con una densidad de 85000 plantas/ha, alcanzaron a producir entre 25 y 30 t/ha de biomasa; estos valores de biomasa son casi el doble de los que se obtienen en la zona con otros cultivos, tales como girasol y soja (Andrade, 1991).

La ganancia de peso del cultivo de debe, principalmente, al intercambio neto de carbono entra la planta y su ambiente, a través del proceso de fotosíntesis, mediante el cual las plantas transforman parte de la energía solar fotosintéticamente activa (PAR) en energía química. Por lo tanto la producción de materia seca es función de la radiación solar fotosintéticamente activa incidente (PAR_{inc}), de la eficiencia con la que el cultivo la intercepta y de la eficiencia con que las plantas utilizan la energía interceptada para fijar dióxido de carbono.

En un estudio comparativo entre cultivos de diferentes especies, se obtuvieron 2500 g m^{-2} de materia seca aérea total para maíz y menos de 1500 g m^{-2} para girasol y soja, trabajando en ensayos conducidos, en todos

los casos, sin limitaciones hídricas ni nutricionales (Andrade, 1995). Esta mayor producción de biomasa aérea total por parte del maíz se atribuye a dos causas principales: a) la mayor cantidad de radiación interceptada a lo largo de la estación de crecimiento (800, 720 y 700 MJ m^{-2}, para maíz, soja y girasol, respectivamente) y b) la mayor eficiencia de conversión del maíz (2,77 g MJ^{-1}; comparado con valores de 1,90 g MJ^{-1}, para girasol y 1,70 g MJ^{-1}, para soja).

En un experimento en Rio Grande do Sul, Brasil, França et al (1999), ejecutado con la finalidad de ajustar un modelo de crecimiento representado por la acumulación de materia seca aérea en función de la radiación fotosintéticamente activa y de la temperatura del aire, encontró valores de eficiencia de uso de radiación de 2,6 g/MJ para condiciones bajo riego y de 1,44 g/MJ cuando el cultivo fue sometido a estrés hídrico.

Por su parte, Lindquist et al (2005), reportó valores de eficiencia de uso de radiación entre 3.74 a 3.84 g/MJ PAR para experimentos con maíz bajo condiciones óptimas en Lincoln, Nebraska.

3.4 Evapotranspiración y eficiencia de uso de agua

3.4.1 Evapotranspiración

El agua es un factor de producción esencial en la agricultura, su movimiento en el entorno vegetal tiene lugar a través del sistema suelo-planta atmósfera. En dicho contexto, se definen términos como la evaporación, transpiración, la evapotranspiración del cultivo, la evapotranspiración de referencia y el coeficiente de cultivo.

Según la FAO (2006), la evaporación es el proceso por el cual el agua líquida se convierte en vapor de agua y se retira de la superficie evaporante. La transpiración consiste en la vaporización del agua líquida contenida en los tejidos de la planta y su posterior remoción hacia la atmósfera. Los cultivos

pierden agua predominantemente a través de los estomas. La evaporación y la transpiración ocurren simultáneamente y es difícil distinguir ambos procesos. En las primeras etapas del cultivo, el agua se pierde principalmente por evaporación directa del suelo, pero a medida que se desarrolla el cultivo y cuando finalmente este cubre totalmente el suelo, la transpiración se convierte en el proceso principal.

El concepto de evapotranspiración incluye diferentes definiciones a su vez, la evapotranspiración del cultivo de referencia (ETo), la evapotranspiración del cultivo bajo condiciones estándar (ETc) y la evapotranspiración del cultivo bajo condiciones no estándar (ETcaj).

La ETo es un parámetro relacionado con el clima que expresa el poder evaporante de la atmósfera, expresa la tasa de evapotranspiración de una superficie de referencia que ocurre sin restricciones de agua y la superficie de referencia corresponde a un cultivo hipotético de pasto con características específicas. El único factor que afecta la Eto es el climático, por lo tanto puede también ser calculado en función a estos parámetros y de este punto de vista la FAO (2006) recomienda el método de Penman-Monteith, como uno de los métodos que más se aproxima a la estimación de la ETo.

La ETc se refiere a la evapotranspiración en condiciones óptimas presentes en parcelas con un excelente manejo y adecuado aporte de agua y que logra la máxima producción de acuerdo a las condiciones climáticas. Se refiere a la evapotranspiración de cualquier cultivo cuando se encuentra exento de enfermedades, con buena fertilización y que se desarrolla en parcelas amplias, bajo condiciones óptimas de suelo y agua, y que alcanza la máxima producción de acuerdo a las condiciones climáticas reinantes. La ETc puede ser determinada a través de lisímetros o calculada a partir del producto de la ETo con el Coeficiente del cultivo (Kc), el Kc cambia desde la siembra hasta la cosecha debido a las variaciones en las características del cultivo durante sus diferentes fases fenológicas.

La evapotranspiración del cultivo bajo condiciones no estándar (ETcaj) se refiere a la evapotranspiración de cultivos que crecen bajo condiciones ambientales y de manejo diferentes de las condiciones estándar. Bajo condiciones de campo, la evapotranspiración real del cultivo puede desviarse de la ETc debido a condiciones no óptimas como son la presencia de plagas y enfermedades, salinidad del suelo, baja fertilidad del suelo y limitación o exceso de agua. Esto puede resultar en un reducido crecimiento de las plantas, menor densidad de plantas y así reducir la tasa de evapotranspiración por debajo de los valores de la evapotranspiración. La ETcaj se calcula utilizando un coeficiente de estrés hídrico (Ks) o ajustando el Kc a todos los otros tipos de condiciones de estrés y limitaciones ambientales en la evapotranspiración del cultivo.

Para cultivos de maíz amarillo duro en Lima se reportan valores de evapotranspiración del cultivo de 442 mm (Villareal, 2006), así como de coeficiente Kc entre 0,7 a 1,05 para la fase de crecimiento, de 1,1 para la fase de florecimiento y entre 1,17 a 0,78 para la fase de maduración.

3.4.2 Eficiencia de uso de agua

Tal como se ha descrito anteriormente, la evapotranspiración constituye un importante componente del intercambio de calor latente en el estudio de balance de energía de los cultivos. Como resultado de la asimilación del dióxido de carbono en la fotosíntesis la energía radiante es transformada en energía química, y tras la oportuna respiración la evidencia del crecimiento de las plantas queda patente cuando se estudia su biomasa.

La producción de los cultivos en el entorno de la sostenibilidad de los sistemas agrarios está altamente comprometida con el uso racional de un recurso tan escaso como el agua, y tanto ecológica como agronómicamente una interesante forma de evaluar el uso que hacen los cultivos, son los índices de eficiencia en el uso del agua (EUA).

Se entiende por la EUA la relación existente entre la biomasa presente en un determinado momento en un cultivo por unidad de agua utilizado por éste. (Fernández y Camacho, 2005). Cuando se trata de analizar fisiológicamente el uso del agua que ha realizado una planta o unidad de superficie se suele emplear como numerador dentro de este ratio la biomasa total (B), mientras que cuando se pretende enfocar el empleo del agua con un componente productivo y económico se recurre a sustituir la biomasa por el rendimiento (Y). Donde, para ambos casos, la $EUA_B = B/ETc$ ó, $EUA_Y = Y/ETc$.

Para la costa central del Perú, Villareal (2006) encontró una eficiencia de uso de agua para producción de materia seca total promedio de 2,1 g/l, para un rendimiento promedio de 8 856.9 a 9 893.2 kg/ha de rendimiento de maíz.

En tanto que Fuenzalida et al (1993), para un promedio de 4 experimentos con maíz en Chile, encontró valores promedio de EUA de 5,72 g/l y con valores máximos de EUA en los períodos de mayor tasa de crecimiento foliar. La EUA global del cultivo resultó muy estable al comparar varios híbridos que crecieron en ambientes climáticos distintos (fechas o temporadas), por lo que su utilidad como variable predictora del crecimiento y del consumo de agua del maíz resulta apropiada, cuando se dispone de antecedentes sobre la demanda por evapotranspiración de una localidad.

Por su parte, Micucci (2007) para cultivo de maíz en Argentina hace referencia a valores de EUA entre 0,9 a 2,99 g/l en diferentes híbridos de maíz, sin y con prácticas de manejo y diferentes tipos de suelo, y con rendimiento de granos variando entre 3800 a 11 153 kg/ha.

3.5 Efecto de la variabilidad climática en la producción de cultivos

El fenómeno El Niño – Oscilación del Sur (ENOS), es actualmente la principal fuente conocida de la variabilidad climática, a escala estacional e interanual y con impacto mundial. Destacándose las anomalías climáticas extremas relacionadas con la fase cálida (El Niño) y la fase fría (La Niña) que presentan un patrón coherente de persistencia (12 a 18 meses). (Cunha, et al

2001). El ENOS, es el resultado de una interacción océano atmósfera, en la cual la variación de la temperatura del agua, en la parte central y junto a la costa oeste de América del Sur, en asociación con los campos de presión (representados por el Índice de Oscilación del Sur) alteran el patrón de circulación general de la atmósfera y así influencian en el clima global.

Varios estudios han sido realizados sobre la relación entre las fases del ENOS, la variabilidad climática asociada y el rendimiento de los cultivos. Entre ellos a nivel de Sudamérica, en el Brasil, Fontana y Berlato (1996) analizaron la influencia del ENOS sobre la precipitación y el rendimiento de maíz en Rio Grande do Sul; asimismo, RAO et al (1997), citado por Cunha, et al. 2001, encontraron una fuerte correlación positiva entre el IOS y el rendimiento de maíz en siete Estados Brasileros del Nordeste; Cunha et al (2001) identificaron impactos positivos de los eventos La Niña y negativos de los eventos El Niño, en la mayoría de las veces sobre el cultivo de trigo en Brasil.

En un estudio del impacto del Niño en arroz en Uruguay (Roel y Baethgen, 2005) encontraron una asociación importante entre las fases ENOS y los niveles de producción arrocera. En las campañas agrícolas catalogadas como Niña se presentaron condiciones que favorecieron la obtención de buenos rendimientos de arroz y lo inverso en condiciones Niño. En los años Neutro (que son los que ocurren con mayor frecuencia) los niveles de producción varían mucho, pudiendo ser muy bajos, medios o excelentes. Asimismo, concluyeron que para los cultivos de secano los años Niño son beneficiosos por una disminución en la frecuencia de déficits hídricos estivales, mientras que para cultivos bajo riego los años Niña son los más favorables. Asimismo, si bien durante las campañas agrícolas categorizadas como Niña existen mejores condiciones para la obtención de altos niveles productivos, la acumulación de varios meses con escasas o precipitaciones nulas pueden provocar problemas en la producción.

IV. MATERIALES

4.1 Ubicación del campo experimental

El trabajo de investigación fue realizado en los terrenos del fundo de la Universidad Nacional Agraria, La Molina (latitud 12º05'S, longitud 76º57'W, altitud 238 m.s.n.m). Se sembraron 06 híbridos comerciales de maíz amarillo duro, estos híbridos fueron utilizados considerando su amplia difusión en la agricultura costeña y sus aparentes diferencias en cuanto a su desarrollo vegetativo y precocidad relativa, expresada esta última por el período en días desde la siembra a la floración.

4.2 Condiciones meteorológicas de la zona de estudio

La información meteorológica registrada durante la realización del presente trabajo de investigación se obtuvo de la estación Meteorológica Agrícola Principal MAP-Alexander Von Humboldt, de la Universidad Nacional Agraria La Molina.

De acuerdo a la información meteorológica registrada (Tabla 4.1) se puede precisar que las siembras fueron realizadas durante la segunda década del mes de abril, en donde se registraron temperaturas mínimas y máximas entre 17,2ºC a 26,8ºC, respectivamente. Durante el mes de junio, los híbridos de maíz amarillo duro precoses iniciaron las fases de la floración masculina y femenina, con temperaturas mínimas entre 12,5ºC y máximas que oscilaron entre 19,5ºC; durante el mes de setiembre se inició la fase de maduración fisiológica con temperatura máxima y mínima entre 17,9ºC y 12,5ºC, respectivamente.

La humedad relativa influenciada por la variabilidad térmica registrada reportó valores extremos de 90,9% en julio y de 79% en abril 2007, con una media durante la conducción del experimento de 85,7%, ocurrieron precipitaciones propias de temporada con un valor promedio, durante la

conducción del experimento de 1,6 mm. Las horas de sol (hrs.) y la radiación solar global incidente (MJ/m^{2}día) presentaron valores extremos de 1,3 horas y 9,4 MJ/m^{2}día durante el mes de julio y 7,1 horas y 4,2 MJ/m^{2}día durante el mes de abril.

Tabla 4.1 Condiciones meteorológicas mensuales registradas en la estación MAP-Alexander Von Humboldt, durante la evaluación de 06 híbridos de maíz amarillo duro en el fundo de la Universidad Nacional Agraria La Molina, 2007.

Meses	T. Máxima (ºC)	T. Mínima (ºC)	Humedad Relativa (%)	Horas de sol	Rad. Solar (MJ/m^{2}día)	Precipitación (mm)
Abr-07	26.8	17.2	79.1	7.1	9.4	0.3
May-07	23.5	13.8	81.7	6.2	8.6	0.2
Jun-07	19.5	12.5	88.3	3.1	6.2	0.3
Jul-07	17.3	13.0	90.9	1.3	4.2	3.1
Ago-07	16.9	12.5	90.1	1.3	4.6	2.8
Sep-07	17.9	12.5	87.8	1.9	6	4.6
Oct-07	19.9	12.8	82.2	4.8	7.9	0.1

Fuente: Estación Meteorológica Agrícola Principal Alexander Von Humboldt-UNALM.

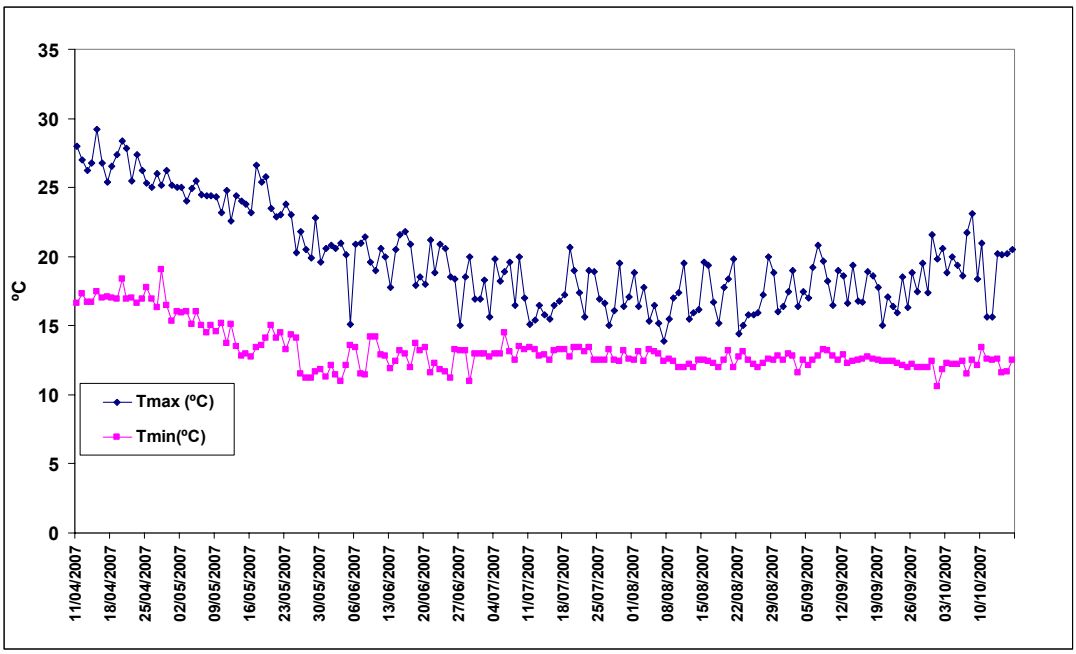


Figura 4.1. Temperaturas máximas y mínimas (ºC) diarias, registradas en la estación MAP-Alexander Von Humboldt, durante la evaluación de 06 híbridos de maíz amarillo duro, en el fundo de la Universidad Nacional Agraria La Molina, 2007.

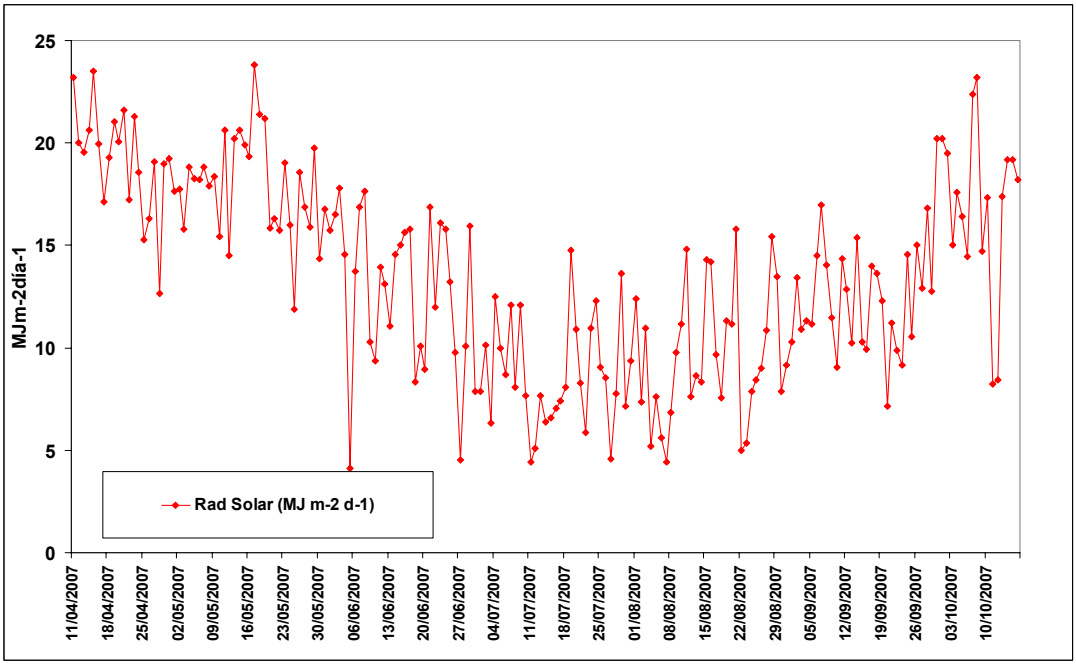


Figura 4.2. Radiación Global incidente diaria ($MJm^{-2}día^{-1}$) registrada en la estación MAP Alexander Von Humboldt, durante la evaluación de 06 híbridos de maíz amarillo duro, en el fundo de la Universidad Nacional Agraria La Molina, 2007.

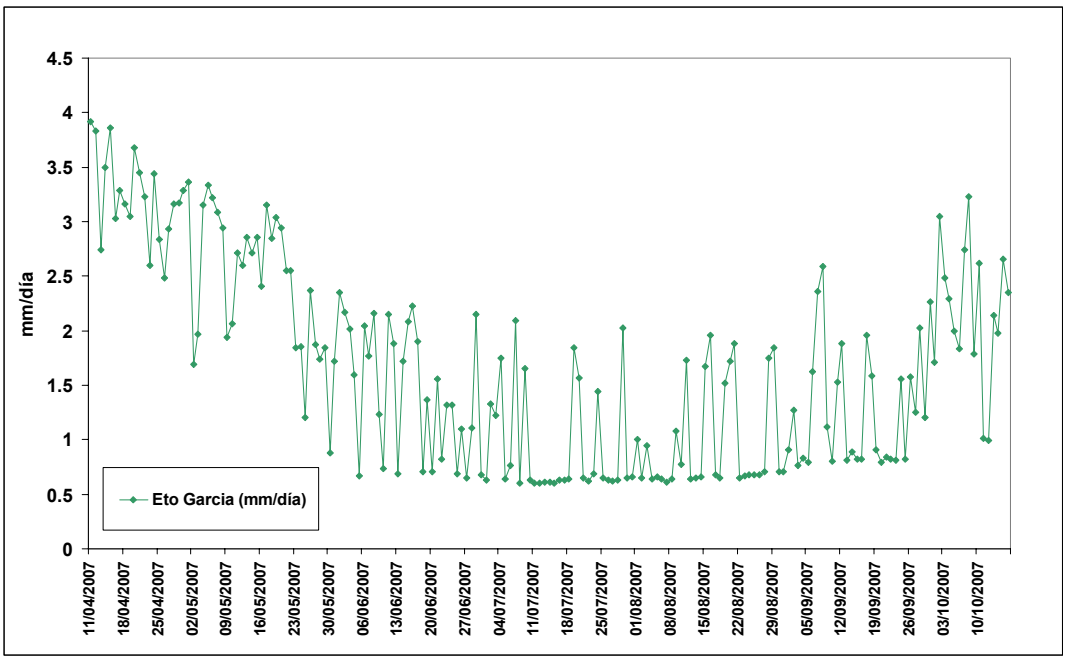


Figura 4.3. Evapotranspiración potencial modificado por García (mm/día) diarias, registrada en la estación MAP-Alexander Von Humboldt, durante la evaluación de 06 híbridos de maíz amarillo duro, en el fundo de la Universidad Nacional Agraria La Molina, 2007.

4.3 Descripción de material experimental

4.3.1 Tratamientos en estudio

Se evaluaron seis híbridos de maíz amarillo duro que representan un amplio rango de variabilidad, por provenir de diferente origen geográfico, lo que implica diversidad genética. Los híbridos son los siguientes:

Tabla 4.2. Descripción de los tratamientos en estudio

Híbrido	Procedencia
DK-5005	U.S.A.
AG-001	Brasil
XB-8010	Brasil
Cargill-701	Brasil
PM-212	Perú-UNALM
EXP-10	Perú-UNALM

DK-5005: Híbrido triple de última generación que tiene entre sus características principales una arquitectura de planta avanzada la cual se observa por la posesión erecta de sus hojas lo que incide en excelentes rendimientos potenciados por su buen aprovechamiento de la energía solar y tolerancia a las plagas y enfermedades predominantes en el Perú. Posee una alta de planta de 2.45 m. y una inserción de mazorca de 1.30 m de altura. Su ciclo vegetativo en invierno es de 150 a 165 días mientras que en verano es de 125 a 140 días (Boletín informativo de DEKALB, 2000).

XB-8010: Híbrido doble de origen brasilero con un ciclo vegetativo de 125 días en verano y 150 días en invierno. De una altura de planta de 2,20 m, grano naranja de buen peso y altamente productivo.

Cargill-701: Híbrido doble de origen brasilero adaptado a la Costa. con un ciclo vegetativo de 150 a 160 días en invierno y 130 a 140 días en verano, altura de planta 2,30 metros y altura de mazorca de 1,20 metros, color de grano anaranjado. Tiene un potencial de rendimiento de 12 000 kg/ha. Población recomendable 82 500 plantas/ha, con un distanciamiento entre surco 0,85 y entre golpes 0,20 metros (Boletín informativo de Carguill S.A., 1995).

AG-001: Híbrido triple, precoz y alto potencial de rendimiento, ampliamente buena adaptación en la zona de la selva por tolerar sequías. Tiene un rendimiento potencial de 8 a 14 t/ha.

PM-212: Es un híbrido doble obtenido por el Programa Cooperativo de Investigación en Maíz de la Universidad Agraria La Molina cuyas características son: altura de planta de 2.85 metros, índice de mazorca por planta 1.1; 95 días a la floración. Rendimiento promedio 8-10 t/ha, una densidad de 50000 a 65000 plantas/ha, recomendado para la costa central en siembras de invierno, periodo vegetativo de 150 a 170 días, grano de color amarillo, textura cristalina, mazorca de forma cilíndrica. Tolerante a plagas y enfermedades, adaptado entre 0 a 1800 m.s.n.m. (Beingolea et. al., 1993).

EXP-10: Es un híbrido doble obtenido por el Programa Cooperativo de Investigación en Maíz de la Universidad Agraria La Molina cuyas características son: altura de planta de 2,63 m., altura de mazorca 1,43 m., área foliar 13,7 cm^2, materia seca 398 gr/planta, peso seco de 100 semillas 30,43 gr, estas parámetros fueron obtenidos bajos condiciones de riego.

4.4 Materiales y equipos

Los materiales y equipos experimentales utilizados en la instalación, conducción y evaluación de los experimentos fueron:

- Cordel de siembra

- Cal

- Bolsas de papel

- Etiquetas

- Regla graduada de 4 metros de largo

- Canastas

- Costalillos

- Balanza

- Bolsas de plástico

- Despancadores

- Desgranadora

- Determinador de humedad de suelo

4.5 Análisis de suelos

Para una mejor caracterización edáfica y determinación de los coeficientes hídricos del suelo se realizó una calicata observando 3 horizontes claramente definidos el primer nivel fue de una profundidad de 0-40 cm. con una clase textural franco, el segundo nivel fue de los 40 a 82 cm de profundidad, mostrando una clase textural franco limoso y el tercer nivel de los 82 cm de profundidad hasta el fondo de la calicata (120 cm), con una clase textural limoso.

Para el análisis físico-químico del suelo se sacaron muestras del suelo en cada horizonte, las muestras extraídas se realizaron haciendo un corte vertical en una de las paredes del hoyo de más o menos de una pulgada de espesor, recogiendo la muestra, tratando que se incluya uniformemente la tierra de todo el horizonte evaluado, las que fueron enviadas al Laboratorio del Análisis de Suelo y Aguas de la Universidad Nacional Agraria La Molina, los resultados de este análisis se muestra en la Tabla 4.3.

Tabla 4.3. Análisis de caracterización edáfica y determinación de los coeficientes hídricos del suelo, durante la evaluación e 6 híbridos de maíz amarillo duro, en el fundo de la Universidad Nacional Agraria La Molina, 2007.

Horizonte	Profundidad	pH(1:1)	C,E, (1:1) dS/m	CaCO3 %	M.O. %	P Ppm	K Ppm	Análisis Mecánico			Clase textural	CIC	Cambiables					Suma de Cationes	Suma de Bases	% Sat. De Bases
								Arena %	Limo %	Arcilla %			Ca^{+2}	Mg^{+2}	K^{+}	Na^{+}	$Al^{-3}+H^{-}$			
												Me/100 g								
A	0-40 cm	7.92	4.35	2.00	1.1	14.9	143	36	46	18	Fr.	11.20	9.46	1.21	0.33	0.20	0.00	11.20	11.20	100
Ac	40-82 cm	7.93	0.42	9.10	0.2	0.5	53	18	78	4	Fr. L.	5.76	4.58	0.78	0.20	0.20	0.00	5.76	5.76	100
C3	82-120 cm	7.81	0.49	6.30	0.1	0.7	20	12	82	6	L.	5.92	4.37	1.13	0.17	0.25	0.00	5.92	5.92	100

Horizonte	Profundidad	HE %	CC %	PM %
A	0-40 cm	23.30	22.70	12.33
Ac	40-82 cm	22.35	21.88	11.89
C3	82-120 cm	24.43	23.67	12.86

Fuente: Laboratorio de Análisis de Suelos y Plantas, Aguas y Fertilizantes de la Universidad Nacional Agraria La Molina.

4.6 Diseño experimental

Se realizó el análisis de varianza para cada característica evaluada, según el modelo lineal aditivo siguiente:

$$Yij = u + ai + Bj + Eij$$

Donde:

Yij = Es la observación de la i-ésimo tratamiento en el j-ésimo bloque.

u = Es la medía general del experimento.

ai = Es el efecto asociado del i-ésimo tratamiento.

Bj = Es el efecto asociado al j-ésimo bloque.

Eij = Variación aleatoria asociada a la parcela del i-ésimo genotipo en el j-ésimo bloque.

Para la comparación de medías se empleó la prueba discriminatoria Tukey al 5% de probabilidad. Este análisis de variancia se realizó con la finalidad de determinar diferencias significativas entre cada variable y especialmente entre los rendimientos de cada híbrido, para realizar los análisis posteriores de cada objetivo planteado en el presente estudio.

Tabla 4.4. Análisis de Varianza para las observaciones biométricas de cada híbrido de maíz en estudio, en el fundo de la Universidad Nacional Agraria La Molina, 2007.

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	ECM
Bloques	Sc. de bloques	03	CM de bloques	
Tratamientos	Sc. de tratamientos	06	Cm de tratamientos	$\sigma_e^2 + r\sigma^2 g$
Error	Sc. de error	18	CM de error	σ^2_e

4.7 Distribución experimental de los híbridos de maíz amarillo duro

El presente trabajo de investigación se realizó con un diseño experimental estadístico de bloques completos al azar (BCA), con 4 repeticiones.

Gráfico 4.1. Distribución de los híbridos en las unidades experimentales, durante la evaluación de 06 híbridos de maíz amarillo duro, en el fundo de la Universidad Nacional Agraria La Molina, 2007.

C - 701 4 406	EXP - 10 6 405	DK -5005 1 404	PM - 212 5 403	AG - 001 2 402	XB - 8010 3 401
PM - 212 5 301	C - 701 4 302	EXP - 10 6 303	XB - 8010 3 304	AG - 001 2 305	DK -5005 1 306
EXP - 10 6 206	XB - 8010 3 205	C - 701 4 204	PM - 212 5 203	DK -5005 1 202	AG - 001 2 201
C - 701 4 101	EXP - 10 6 102	DK -5005 1 103	AG - 001 2 104	PM - 212 5 105	XB - 8010 3 106

4.8 Características del ensayo experimental

4.8.1 Característica de la parcela experimental:

- Distancia entre surcos 0,80 m.
- Distancia entre plantas 0,40 m.
- Nº de golpes por surco 11.
- Nº de surcos 6.
- Nº de semillas por golpe 3.
- Nº de plantas por golpe 3.
- Longitud 4,4 m.
- Ancho 4,8 m.

- Área 21,12 m^2.

4.8.2 Característica del bloque

- Nº de parcelas por bloque 6.
- Longitud 4,4 m.
- Ancho 28,8 m.
- Área 26,72 m^2.

4.8.3 Característica del campo experimental:

- Nº de bloques 4.
- Área experimental neta 506,88 m^2.
- Área experimental total 610,56 m^2.

4.9 Evaluaciones durante la conducción del experimento

Estas observaciones se realizaron en las unidades experimentales de todos lo tratamientos en la parcela experimental. Estas observaciones fueron las siguientes:

4.9.1 Días al 50% de la emergencia

Se contó los días transcurridos desde el momento de la siembra hasta cuando el 50% de la población entro en emergencia. Esta observación se hizo visualmente en los surcos centrales de cada parcela.

4.9.2 Días al 50% de la floración masculina.

Se contó los días transcurridos desde el momento de la siembra hasta cuando el 50% de la población inicio la dehiscencia. Esta observación se hizo visualmente en los surcos centrales de cada parcela.

4.9.3 Días al 50% de la floración femenina.

Se contó los días transcurridos desde el momento de la siembra hasta cuando el 50% de la población tenía pistilos. Esta observación se hizo visualmente en los surcos centrales de cada parcela.

4.9.4 Días al 50% de la maduración fisiológica.

Se contó los días transcurridos desde el momento de la siembra hasta cuando el 50% llegó a maduración fisiológica. Esta observación se hizo visualmente en los surcos centrales de cada parcela.

4.9.5 Área foliar.

Esta característica se evaluó en 3 a 5 plantas, dependiendo en la fase fenológica en que se encontraban, las plantas evaluada fueron competitivas por parcela y en cada una de ellas se registró lo siguiente:

- Longitud de hoja (L): Se midió desde la aurícula hasta el ápice de la hoja central.

- Ancho de hoja (A): Se midió el centro de la lámina de la hoja.

Para calcular el área foliar, se empleó la siguiente fórmula:

$$AF = L \times A \times 0.75$$

Donde el factor 0.75, es la corrección que se le quita al área L x A, por no ser un cuadrilátero perfecto.

4.9.6 Materia seca

Esta variable se evaluó determinando el peso de la biomasa de las plantas usadas para la medición del área foliar; a continuación se procedió a tomar una muestra de varias plantas picadas, la misma que luego de ser pesada se ponía a secar en la estufa a 65 ºC por 72 horas. Al término de este tiempo se pesó la muestra, obteniéndose una relación entre peso de campo y peso seco.

4.9.7 Número de fallas.

Para determinar el número de fallas en cada parcela se contó el número de golpes fallados al momento de la cosecha, de acuerdo a siguientes normas:

- Golpes con 2 plantas se considerara golpes completos.
- Golpes con 1 sola planta se consideró como media falla.
- Golpes sin ninguna planta se consideró una falla.

4.9.8 Número de plantas cosechadas.

Se contó el número de plantas cosechadas de cada parcela de los dos surcos centrales de cada parcela.

4.9.9 Número de mazorcas cosechadas.

Se contó el número de mazorcas cosechadas de cada parcela de los dos surcos centrales.

4.9.10 Peso de mazorcas en campo.

Se registró el peso de las mazorcas de los dos surcos centrales de cada parcela.

4.9.11 Porcentaje de humedad del grano.

Se determinó este valor de 10 mazorcas al azar del total de mazorcas cosechadas en cada parcela, a las cuales se les desgranó 3 hileras para obtener una mezcla aproximada de 300 g. Posteriormente se calculó la humedad del grano utilizando un equipo determinador de humedad (Esteinlite).

4.9.12 Número de hileras por mazorca.

Esta característica se obtuvo de una muestra de 10 mazorcas tomadas al azar de cada parcela.

4.9.13 Número de granos por hilera.

Esta característica se obtuvo de una muestra de 10 mazorcas tomadas al azar de cada parcela.

4.9.14 Peso de 100 granos.

Se desgranó 10 mazorcas tomadas al azar de cada parcela para posteriormente contarse 1000 granos y determino su peso.

4.9.15 Porcentaje de desgrane.

Se eligió 10 mazorcas tomadas al azar de cada parcela, las cuales fueron pesadas, luego desgranadas para luego pesarlos granos separadamente, para aplicar la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Desgrane} = \text{Peso de grano} / \text{Peso de mazorca} \times 100$$

4.10 Procesamientos de los datos biométricos para determinar los rendimientos kg/ha

Una vez que se recolectaron en el libro de campo los datos de cada parcela se procedió a vaciarlos por entrada y repeticiones en sumarios especialmente preparados para el cálculo de rendimiento en grano por hectárea.

4.10.1 Corrección del rendimiento por fallas (Ff)

Los rendimientos de campo en mazorcas se corrigieron a una población constante, por parcela, según la siguiente formula:

$$Ff = (N - 0.F) / (N - F)$$

Donde:

Ff: Factor de corrección por fallas.

N: Número total de golpes por parcela.

F: Número total de fallas por parcela.

En este ajuste, se considera el factor 0,7 como la pérdida de cada golpe y en tanto que el factor 0,3 como el aumento de rendimiento de los golpes vecinos.

4.10.2 Corrección por humedad (Fh)

El peso será llevado al 14% de humedad comercial del grano, mediante la siguiente expresión:

$$Fh = (100 - \%H) / (100 – 14)$$

Donde:

Fh : Factor de corrección por humedad

% H : Porcentaje de humedad al momento de la cosecha

14 % : Porcentaje establecido en la norma de comercialización del ITINTEC

4.10.3 Corrección del peso de campo expresado en Kg/ha

El peso de campo obtenido por parcela se corrigió por porcentaje de humedad y fallas y posteriormente se llevó a kilogramos por hectárea mediante la siguiente expresión:

$$R = 10000 / A \times Pc \times 0{,}971 \times D\ Fh \times Ff$$

Donde:

R : Rendimiento en grano por parcela en Kg/ha.

A : Área de la parcela en m^2

Pc : Peso total de mazorcas cosechadas por parcela expresada en Kg.

0.971 : Factor de contorno

D : Porcentaje de desgrane (peso de grano/peso mazorca)

Fh : Factor de corrección por humedad al 14%.

Ff : Factor de corrección por fallas.

V. METODOLOGÍA

5.1 Evaluación del efecto de la temperatura en el crecimiento y desarrollo del maíz amarillo duro

Para desarrollar la metodología del primer objetivo planteado en el presente estudio, se compararon 3 métodos para determinar los Grados Días de Crecimiento. Los métodos a ser comparados fueron los siguientes:

5.1.1 Método residual modificado (TT_{10}). Este método asume una temperatura base de 10ºC y una temperatura máxima de 30 ºC. En el caso de producirse temperaturas máximas superiores a 30 ºC, serán asumidas como iguales a 30ºC (Gilmore y Rogers, 1958).

$$TT_{10} = 0,5\ (TM + Tm) - Tb \qquad (1)$$

Donde,

TT_{10}: Valor diario de tiempo térmico.

TM: Temperatura máxima (Si TM $>$ 30ºC, TM = 30ºC)

Tm: Temperatura mínima.

Tb: Temperatura base (10ºC)

5.1.2 Método Ontario. Este modelo considera al tiempo térmico como una función cuadrática de la temperatura máxima y una función lineal de la temperatura mínima (Brown, 1978). La temperatura base se asume como 10ºC para la temperatura máxima y 4,4ºC para la temperatura mínima.

$$TT = 0,5\ (YM + Ym) \qquad (2)$$

Donde:

TT: Valor diario de tiempo térmico.

$YM = 3,33\ (TM - 10) - 0,084\ (TM - 10)^2$

$Ym = 1,8\ (Tm - 4,4)$

TM: Temperatura máxima.

Tm: Temperatura mínima.

5.1.3 Método de Ometto (1981): para cada día se calculó el valor de los grados días (GD) por las siguientes formulas, el valor de los grados días de crecimiento (GDD) fue obtenido sumando los valores de GD de los subperiodos:

$$GD = (\frac{TM - Tm}{2}) + (Tm - Tb) \quad (3)$$

Cuando Tm >Tb y TM < TB

$$GD = \frac{(TM - Tb)^2}{2(TM - Tm)} \quad (4)$$

Cuando Tm < Tb y TM < TB

$$GD = \frac{2(TM - Tm)(Tm - Tb) + (TM - Tm)^2 - (TM - TB)^2}{2(TM - Tm)} \quad (5)$$

Cuando Tm > Tb y TM > TB, siendo la TB la temperatura basal máxima.

Donde:

GD: Valor diario de los grados días.

TM: Temperatura máxima.

Tm: Temperatura mínima.

TB: Temperatura base máxima.

Tb: Temperatura base mínima.

Utilizándose como temperatura base mínima (Tb) 8ºC, (Jones y Kiniry, 1986; Kiniry y Bonhomme, 1991; Kiniry, 1991) y 34ºC como temperatura base máxima (TB) (Gilmore y Rogers, 1958; Blacklow, 1972; Tollenaar, 1979; Kiniry y Bonhomme, 1991).

Se consideró que las plantas de cada parcela alcanzaron determinada fase fenológica cuando el 50% de las plantas presentaban las características morfológicas de la fase observada. Los eventos fenológicos fueron registrados tres veces por semana. Las fases consideradas fueron: emergencia, floración masculina (panoja), floración femenina (espiga) y maduración fisiológica. Sin embargo para el análisis de la información fenológica se analizó los períodos críticos para el crecimiento y desarrollo del cultivo: siembra a la espiga, espiga a la maduración fisiológica y de la siembra a la maduración fisiológica. Los datos de temperaturas se obtuvieron de la estación Meteorológica Agrícola Principal MAP-Alexander Von Humboldt de la UNALM.

Para evaluar la perfomance de los modelos, fue hecha la comparación de los coeficientes de variación y la desviación estándar en días, en este análisis también se realizó la comparación de medias para cada tratamiento en estudio, según la distribución del croquis experimental (Gráfico 4.1).

5.2 Índice de área foliar y eficiencia de uso de radiación durante el crecimiento y desarrollo del maíz amarillo duro

En el presente estudio la Radiación Solar fotosintéticamente activa absorbida (PAR), fue estimada como un 48% de la radiación solar disponible para la fotosíntesis (Monteith y Unsworth, 1990). La radiación solar global disponible fue medida en una estación meteorológica automática instalada en el campus de la UNALM.

A partir de la información del PAR, se evaluó la relación entre el índice de área foliar y la radiación fotosintética acumulada para cada uno de los híbridos en estudio. Asimismo, la eficiencia de uso de radiación (EUR), fue estimada a partir de una regresión lineal entre la producción de materia seca total (g/m^2) y el PAR acumulado (MJ/m^2), (França et al 1999 y Lindquist et al. 2005).

5.3 Evapotranspiración del cultivo y eficiencia de uso de agua para el maíz amarillo duro.

5.3.1 Evapotranspiración del cultivo.

La evapotranspiración del cultivo de maíz (ETc), fue estimado a partir de la siguiente expresión:

$$ETc = Kc*Eto \ (mm)$$

Donde Kc es el coeficiente del cultivo. Para el presente estudio, se ha considerado valores de Kc reportados por Villareal (2006), un Kc de 0,17 para la fase de emergencia, 1,1 para la fase de floración masculina, 1,17 para la floración femenina y 0,78 para la maduración fisiológica.

La Evapotranspiración del cultivo de referencia (ETo) fue estimada a partir de dos métodos: el método de FAO Penman Monteith (FAO, 2006) y el método modificado por García (1990). A continuación se describen ambos métodos:

5.3.1.1 Método de FAO Penman-Monteith

La evapotranspiración de referencia según el método de FAO Penman-Monteith, se calculó a partir de datos diarios de temperatura máxima, temperatura mínima, humedad relativa máxima, humedad relativa mínima, viento y heliofanía registrados de la estación MAP Von Humboldt de la UNALM. La formula empleada para el cálculo de la ETo es la siguiente:

$$ETo_{PM} = \frac{0.408\,\Delta\,(R_n - G) + \gamma\,900/(T+273)u_2(e_s-e_a)}{\Delta+\gamma(1+0.34u_2)}$$

ETo_{PM} :evapotranspiración de referencia (mm día-1)

R_n : radiación neta (MJ m-2 día-1)

G : flujo del calor de suelo (MJ m-2 día-1)

T : temperatura media del aire a 2 m de altura (°C)

u_2 velocidad del viento a 2 m de altura (m s-1)

e_s presión de vapor de saturación (kPa)

e_a presión real de vapor (kPa)

$e_s - e_a$ déficit de presión de vapor (kPa)

Δ pendiente de la curva de presión de vapor (kPa °C-1)

γ constante psicrométrica (kPa °C-1)

5.3.3.2 Método modificado por García:

García (1990) propone la siguiente formula de evapotranspiración potencial ($ETo_{garcía}$) para las condiciones del Perú:

$$ETo_{garcía} = \frac{[((m \cdot e_s)/PT^2) \cdot \mathbf{R_n + Ea}]}{[((m \cdot e_s)/PT^2)+1]}$$

$ETo_{garcía}$: Evapotranspiración Potencia (mm/día)

m : 8.03

e_s: presión de vapor de saturación (kPa)

P : presión Atmosférica del lugar (hPa)

T : Temperatura del aire (k)

R_n: Radiación Neta

Ea: Termino Aerodinámico

La Figura 5.1 muestra el comportamiento temporal de la evapotranspiración potencial (ETo) durante la campaña agrícola para ambos métodos de estimación y donde se observan diferentes resultados. Ante tal incertidumbre, se compararon estos datos con la evaporación medida en un Tanque Clase A, como límite superior y se encontró que el método de la FAO sobreestimó los valores de la ETo, en tanto que el método Modificado por García, es el que

mejor se ajusta a las condiciones climáticas de la zona, por lo que se optó el uso de este último método para los cálculos posteriores.

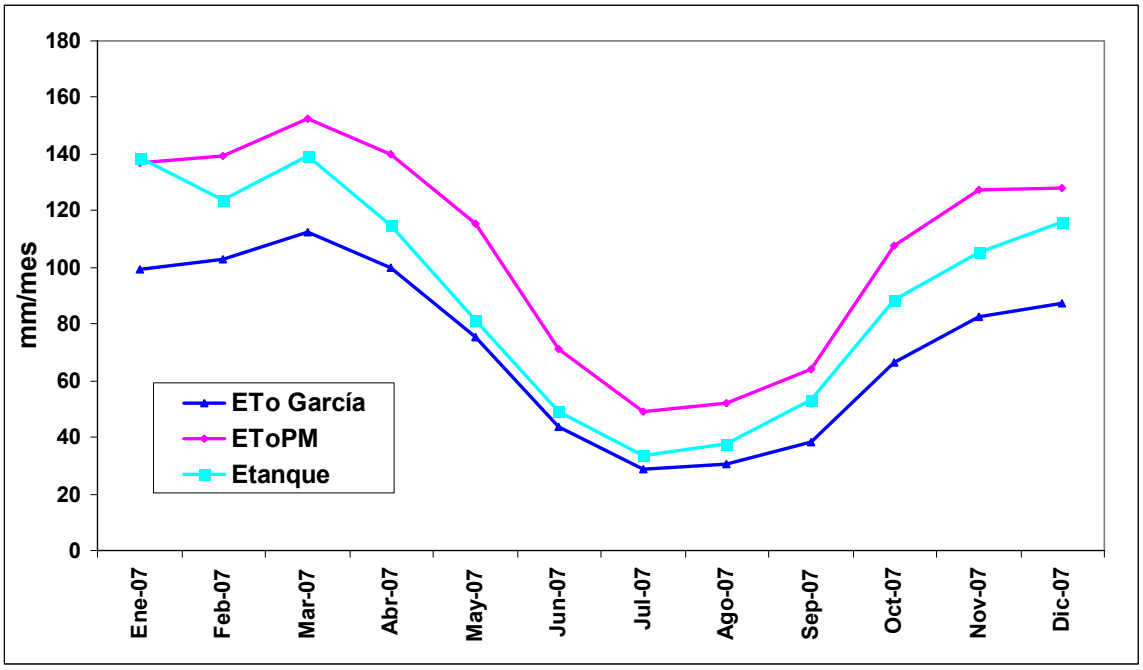


Figura 5.1 Comportamiento temporal de la evapotranspiración potencial del cultivo de referencia durante la campaña agrícola. Comparación de los métodos de ETo de la FAO –Penman Monteith y el método modificado por García, con la evaporación medida en tanque.

5.3.2 Eficiencia de uso de agua

La eficiencia de uso de agua del cultivo de maíz amarillo duro se calculó en base a la producción de biomasa por unidad de agua evapotranspirada y mediante la expresión:

$$EUA = MS/ETc \quad (g/l)$$

Donde MS = Materia seca total (g/m2)

ETc = Evapotranspiración del Cultivo (mm)

5.4 Efecto de la variabilidad climática en la producción del maíz amarillo duro en la costa central

Se utilizaron los registros históricos de rendimiento promedio anual de maíz amarillo duro (Kg/ha) desde 1952 al 2007 para Lima, costa central del país, fueron evaluados en cuanto a su variabilidad climática y su relación con las fases ENOS (El Niño, La Niña y Años Neutros).

Los datos originales de la serie histórica de rendimiento fueron inicialmente sometidos a un análisis de regresión, considerando que la tendencia tecnológica como una función lineal, la cual fue removida de la serie histórica para separar el efecto de las tecnologías incorporadas al sistema de producción. A partir del modelo de regresión ajustado, el efecto de la tecnología fue retirado de los datos utilizando la siguiente ecuación:

$$Yci = Yi – Y (Xi) – Y (Xo)$$

Donde Yci, Yi, Y(Xi) y Y(Xo) son los rendimientos del año i corregidos, el rendimiento original del año i, el rendimiento del año i estimado por el modelo de regresión y el rendimiento del primer año de la serie histórica estimada por el modelo de regresión, respectivamente.

Las desviaciones anuales del rendimiento de granos de maíz en relación al promedio histórico fueron calculadas a partir de los valores de rendimiento corregido.

Para el análisis de la variabilidad climática, durante el período considerado, los años fueron clasificados en relación a las fases del fenómeno ENOS. De acuerdo al SENAMHI (1997), el Niño se hizo presente en los años 1953; 1957; 1965; 1969; 1972; 1976-1977; 1982-1983; 1987; 1991-1993 y 1997-1998. La NOA (Nacional Weather Service, 2008) considera años Niño el 2002; 2004 y 2006.

Período La Niña (Área 1+2), según (Trasmonte, G. y Yamina. S, 2008), 1954, 1955, 1962, 1964, 1966, 1967, 1968, 1970. 1971, 1973, 1975, 1985, 1988, 1996, 1999, 2001, 2007. Los otros años fueron considerados como Neutros.

VI. RESULTADOS Y DISCUSIONES

6.1 Evaluación del efecto de la temperatura en el crecimiento y desarrollo del maíz amarillo duro.

En la Tabla 6.1 se observa un aumento de unidades térmicas en el período comprendido entre la Siembra-Espiga, para los 06 híbridos de maíz amarillo duro en estudio y para los tres métodos en comparación. Este aumento podría ser explicado por las diferencia en los fotoperíodos, ya que Crane et al. (1976) demostraron que existen híbridos sensibles al fotoperíodo y que la exposición de estos híbridos a fotoperíodos más largos durante la iniciación floral induce a un aumento de las unidades térmicas acumuladas hasta la formación de la espiga. Asimismo, también se puede observar que las sumas térmicas para completar el período Espiga-Maduración Fisiológica, para los 06 híbridos, son menores y para los tres métodos que se encuentran en comparación. Este período entre la espiga y la maduración fisiológica, depende especialmente de la temperatura (Derieux y Bonhomme, 1982b; Kiniry y Bonhomme, 1991). No obstante, situaciones ambientales desfavorables que determinen una insuficiente provisión de nutrientes a los granos anticipan la maduración fisiológica y, por lo tanto, limitan su peso final (Daynard y Duncan, 1969; Cirilo y Andrade, 1996).

En la Tabla 6.1, también se muestran los valores medios de las sumas térmicas y los coeficientes de variabilidad calculados para los 06 híbridos de maíz amarillo duro para la Costa Central (La Molina), con el fin de efectuar comparaciones entre los métodos.

Tabla 6.1. Comparación por medio de los Coeficientes de Variabilidad (C.V.) y la Desviación Estándar en días (Desv. Días) de los diferentes Métodos de Grados Días; Método residual modificado con temperatura base 10ºC, TT_{10}; Método Ontario, C.H.U.; Método Ometto, GD_{Ometto}, para los períodos Siembra - Espiga, Espiga - Maduración Fisiológica y Siembra – Maduración Fisiológica, durante la evaluación de 06 híbridos de maíz amarillo duro, en el fundo de la Universidad Nacional Agraria La Molina, 2007.

Híbridos	Período	TT_{10}	C.H.U	GD_{Ometto}
C-701	Siembra - Espiga	752.5	2068.1	939.5
	C. V. (%)	3.4	4.3	3.8
	Desv. Días	25.6	88.6	36.0
	Espiga - Maduración Fisiológica	323.5	1121.8	454.0
	C. V. (%)	8.6	8.5	8.6
	Desv. Días	27.9	95.6	38.9
	Siembra - Maduración Fisiológica	1076.0	3189.9	1393.5
	C. V. (%)	1.3	1.5	1.3
	Desv. Días	13.5	46.4	18.8
EXP-10	Siembra - Espiga	794.0	2210.6	997.5
	C. V. (%)	1.4	1.6	1.5
	Desv. Días	10.8	35.2	14.6
	Espiga - Maduración Fisiológica	404.5	1391.8	564.5
	C. V. (%)	5.2	4.8	5.0
	Desv. Días	21.0	67.1	28.1
	Siembra - Maduración Fisiológica	1198.5	3602.4	1562.0
	C. V. (%)	2.4	2.5	2.4
	Desv. Días	28.3	90.7	37.9
DK-5005	Siembra - Espiga	779.9	2164.3	978.4
	C. V. (%)	1.9	2.2	2.0
	Desv. Días	14.5	48.1	19.8
	Espiga - Maduración Fisiológica	430.0	1473.1	598.5
	C. V. (%)	2.8	2.7	2.7
	Desv. Días	11.9	39.9	16.4
	Siembra - Maduración Fisiológica	1209.9	3637.4	1576.9
	C. V. (%)	1.5	1.7	1.6
	Desv. Días	18.4	60.7	25.0
AG-001	Siembra - Espiga	770.7	2133.3	965.7
	C. V. (%)	1.2	1.5	1.4
	Desv. Días	9.2	32.4	13.1
	Espiga - Maduración Fisiológica	342.7	1188.4	480.7
	C. V. (%)	6.7	6.8	6.8
	Desv. Días	23.1	81.3	32.6
	Siembra - Maduración Fisiológica	1113.5	3321.7	1446.5
	C. V. (%)	2.5	3.0	2.7
	Desv. Días	28.2	98.8	39.7
PM-212	Siembra - Espiga	801.8	2235.2	1007.8
	C. V. (%)	1.2	1.5	1.3
	Desv. Días	9.8	32.9	13.5
	Espiga - Maduración Fisiológica	424.7	1457.0	591.7
	C. V. (%)	3.2	3.1	3.2
	Desv. Días	13.6	45.4	18.7
	Siembra - Maduración Fisiológica	1226.5	3692.2	1599.5
	C. V. (%)	1.0	1.1	1.0
	Desv. Días	12.0	39.0	16.2
XB-8010	Siembra - Espiga	779.5	2161.8	977.5
	C. V. (%)	2.1	2.5	2.3
	Desv. Días	16.6	54.6	22.5
	Espiga - Maduración Fisiológica	328.1	1139.1	460.6
	C. V. (%)	9.3	9.1	9.2
	Desv. Días	30.4	104.1	42.2
	Siembra - Maduración Fisiológica	1107.7	3300.9	1438.2
	C. V. (%)	1.9	2.2	2.0
	Desv. Días	20.7	73.4	29.4

El Método Ometto ($\mathbf{GD_{Ometto}}$) es el que presenta los mayores coeficientes de variabilidad para los tres períodos fenológicos (Siembra-Espiga, Espiga-Maduración Fisiológica y Siembra-Maduración fisiológica) en estudio y para los 06 híbridos de maíz amarillo duro. El Método Residual ($\mathbf{TT_{10}}$) presenta los menores coeficientes de variabilidad para los períodos fenológicos de Siembra-Espiga y Siembra-Maduración Fisiológica para los 06 híbridos. El Método Ontario (C.H.U.) presenta los menores coeficientes de variabilidad para el período fenológico Espiga-Maduración Fisiológica, para todos los híbridos. El período correspondiente al llenado de grano (Espiga-Maduración Fisiológica) es el más variable, ya que presenta los valores más altos de coeficiente de variabilidad en todos los métodos estudiados. Los híbridos C-701; DK-5005; PM-212 y XB-8010 presentaron los valores más bajos de variabilidad para el período fenológico de Siembra-Maduración Fisiológica; sin embargo los híbridos que presentaron los menores coeficientes de variabilidad en el período Siembra-Espiga fueron el EXP-10 y el AG-001.

El análisis a través de los coeficientes de variabilidad tienen un valor relativo, ya que esta variable depende del valor de la media. Por lo tanto se recurre a un análisis similar, pero efectuado a través de las desviaciones estándar en días, que según Aspiazu y Shaw (1972) constituiría un mejor método de evaluación de los métodos de sumas térmicas porque expresa la variabilidad en días.

De todos los métodos estudiados, el Método Residual ($\mathbf{TT_{10}}$) es el que presenta la menor variabilidad en días en los tres períodos fenológicos y en los 06 híbridos de maíz amarillo en estudio. En tal sentido es este método el que más se adecua a las condiciones agroecológicas de la costa central, y especialmente en la localidad de la Molina, y es el que predice de forma más eficiente los principales eventos fenológicos para los 06 híbridos de maíz amarillo duro en la localidad de estudio.

Esta información térmica que determina la fenología de los híbridos de maíz amarillo duro, orienta la correcta elección del genotipo y de la fecha de siembra para adecuar los requerimientos del cultivo a la oferta térmica ambiental existente en cada localidad. Asimismo, la estimación del momento de ocurrencias de las fases fenológicas críticas para la determinación del rendimiento posibilita manejar el cultivo para optimizar sus estados fisiológicos en cada fase fenológica y el empleo oportuno de las distintas labores culturales.

La Figura 6.1 presenta la Acumulación de Grados Días por los tres métodos en estudio, el Método Residual Modificado (TT_{10}), Método Ontario (C.H.U.) y el Método Ometto (GD_{Ometto}), desde la Siembra a la Maduración Fisiológica, para 06 híbridos de maíz amarillo duro, y se observa que el Método Ontario presenta lo mayores valores acumulados de unidades térmicas para todos los híbridos, debido a que se comporta como una función cuadrática de la temperatura máxima y una función lineal de la temperatura mínima (Brown, 1978), el Método Ometto y Residual presenta los valores intermedios y bajos, respectivamente. Estos métodos se comportan de una manera lineal, y asumen una temperatura base de 10ºC y una temperatura máxima de 30 ºC para el método TT_{10}; y para el método GD_{Ometto} asume una temperatura base mínima (Tb) 8ºC, (Jones y Kiniry, 1986; Kiniry y Bonhomme, 1991; Kiniry, 1991) y 34ºC como temperatura base máxima (TB) (Gilmore y Rogers, 1958; Blacklow, 1972; Tollenaar, 1979; Kiniry y Bonhomme, 1991).

La Figura 6.2 muestra la evolución del índice de área foliar (IAF) en función de los grados días acumulados por el Método Residual (TT_{10}) para los 06 híbridos de maíz amarillo duro; como se puede observar en la figura, las curvas que mejor se ajustaron a los datos, a través de un análisis de regresión, resultaron con ecuaciones de segundo grado con altos coeficientes de determinación (R^2) indicando que las curvas explican satisfactoriamente la evolución del IAF.

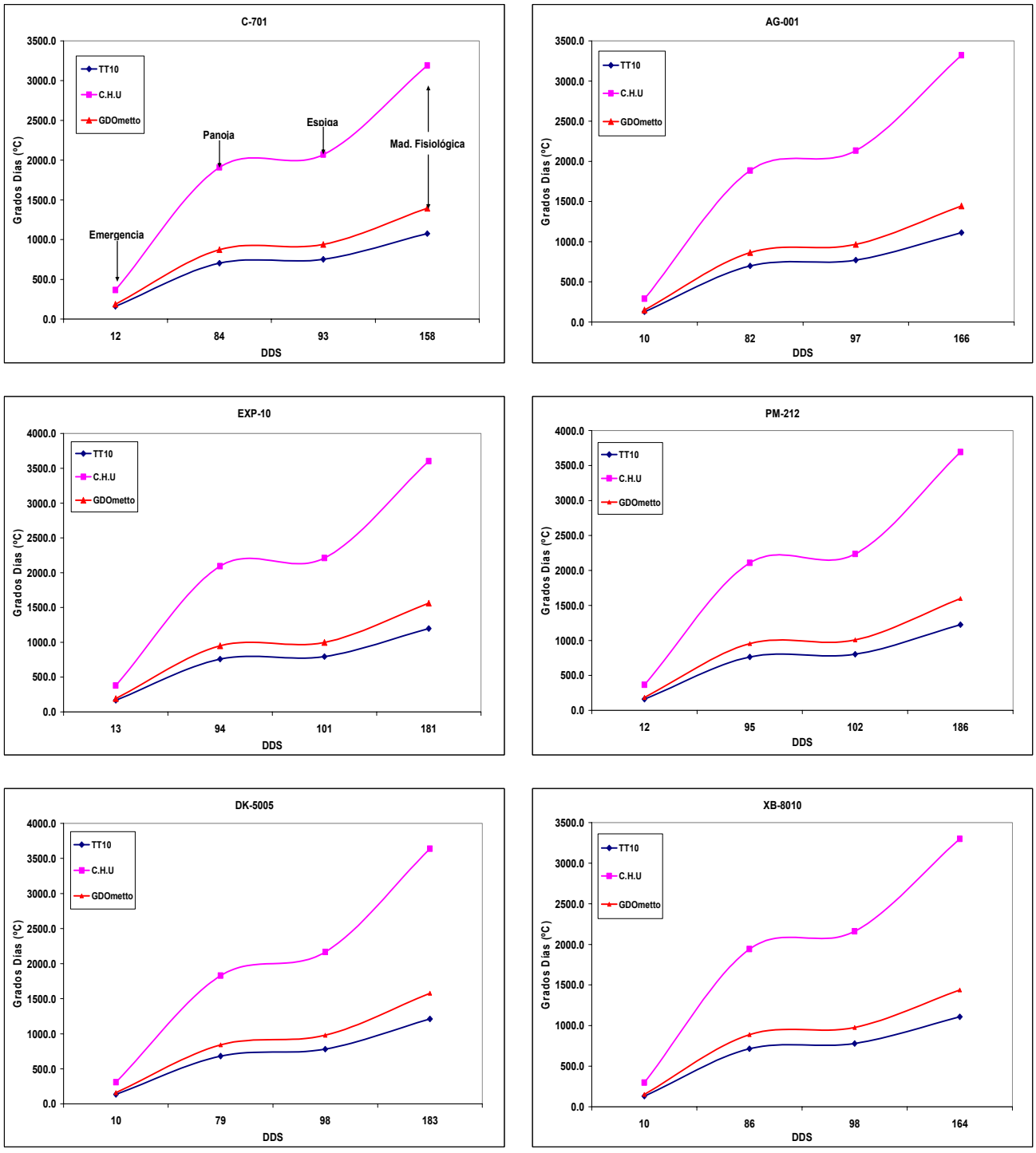


Figura 6.1. Acumulación de Grados Días por el Método Residual Modificado (TT_{10}), Método Ontario (C.H.U.) y el Método Ometto (GD_{Ometto}), para los períodos de Siembra - Maduración Fisiológica, para 06 híbridos de maíz amarillo duro. C-701, EXP-10, DK-5005, AG-001, PM-212 y XB-8010, en el fundo de la Universidad Nacional Agraria La Molina, 2007.

Para los 06 híbridos en estudio el IAF presentó un crecimiento inicial lento con aproximadamente 387 GD acumulados, luego fue creciente hasta un máximo acumulado de 773 GD para los híbridos C-701 y AG-001 con IAF máximo de 3,8 y 3,2, respectivamente, en el momento que se inicio las fases de panojamiento y espiga; así mismo los híbridos EXP-10, DK-5005, PM-212, XB-8010 alcanzaron sus máximos IAF de 4,1; 3,1; 3,9 y 2,9 respectivamente, con aproximadamente 882 GD acumulados.

Similares datos fueron obtenidos por Edgard (2002) para tres cultivares de soja IAC 20, Dorado y IAC 8-2, en donde los tres cultivares presentaron un crecimiento inicial del IAF con aproximadamente 300 GD acumulados y alcanzaron un IAF máximo entre 750 y 800 GD.

La Figura 6.3 muestra la evolución de la materia seca (gr/m^2) en función de los grados días acumulados por el Método Residual (TT_{10}) para los 06 híbridos de maíz amarillo duro; como se puede observar las curvas que mejor se ajustaron a los datos fueron a través de un análisis de regresión lineal simple, con altos coeficientes de determinación (R^2) indicando que las curvas explican satisfactoriamente la evolución de la materia seca.

Igualmente como para el IAF, la materia seca (gr/m^2) presentó un crecimiento inicial lento con aproximadamente 387 GD acumulados, luego fue creciente hasta un máximo acumulado de 1241 GD para los híbridos C-701 y AG-001 con materia seca de 1525,9 y 987,3 gr/m^2, respectivamente; así mismo los híbridos EXP-10, DK-5005, PM-212, XB-8010 alcanzaron sus máximos valores de materia seca de 1540.7; 1388.3; 1693.2 y 923.7 gr/m^2, respectivamente con aproximadamente 1241 GD acumulados.

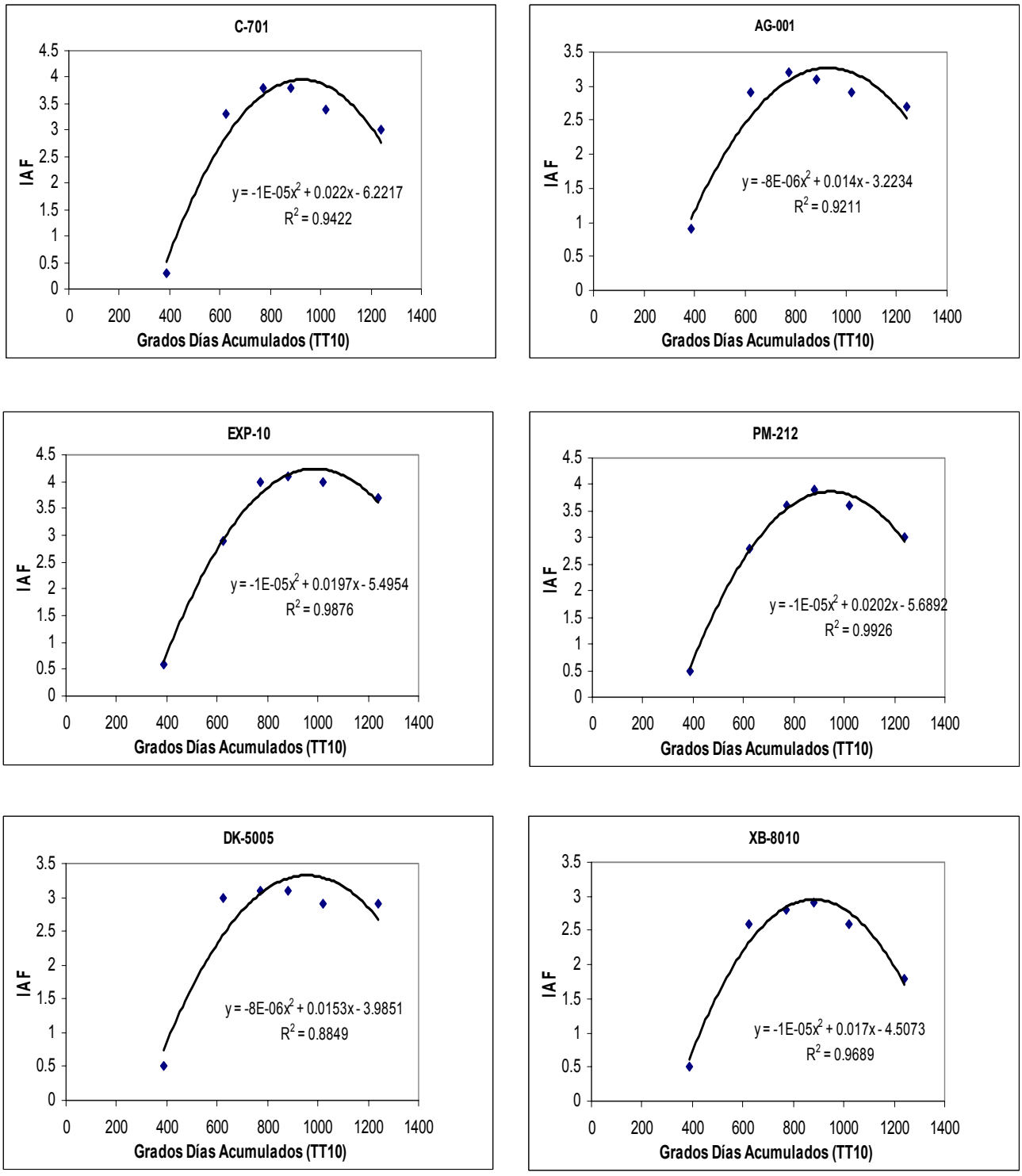


Figura 6.2. Relación entre el índice de área foliar (IAF) en función de los Grados Días por el Método Residual Modificado (TT_{10}), para 06 híbridos de maíz amarillo duro. C-701, EXP-10, DK-5005, AG-001, PM-212 y XB-8010, en el fundo de la Universidad Nacional Agraria La Molina, 2007.

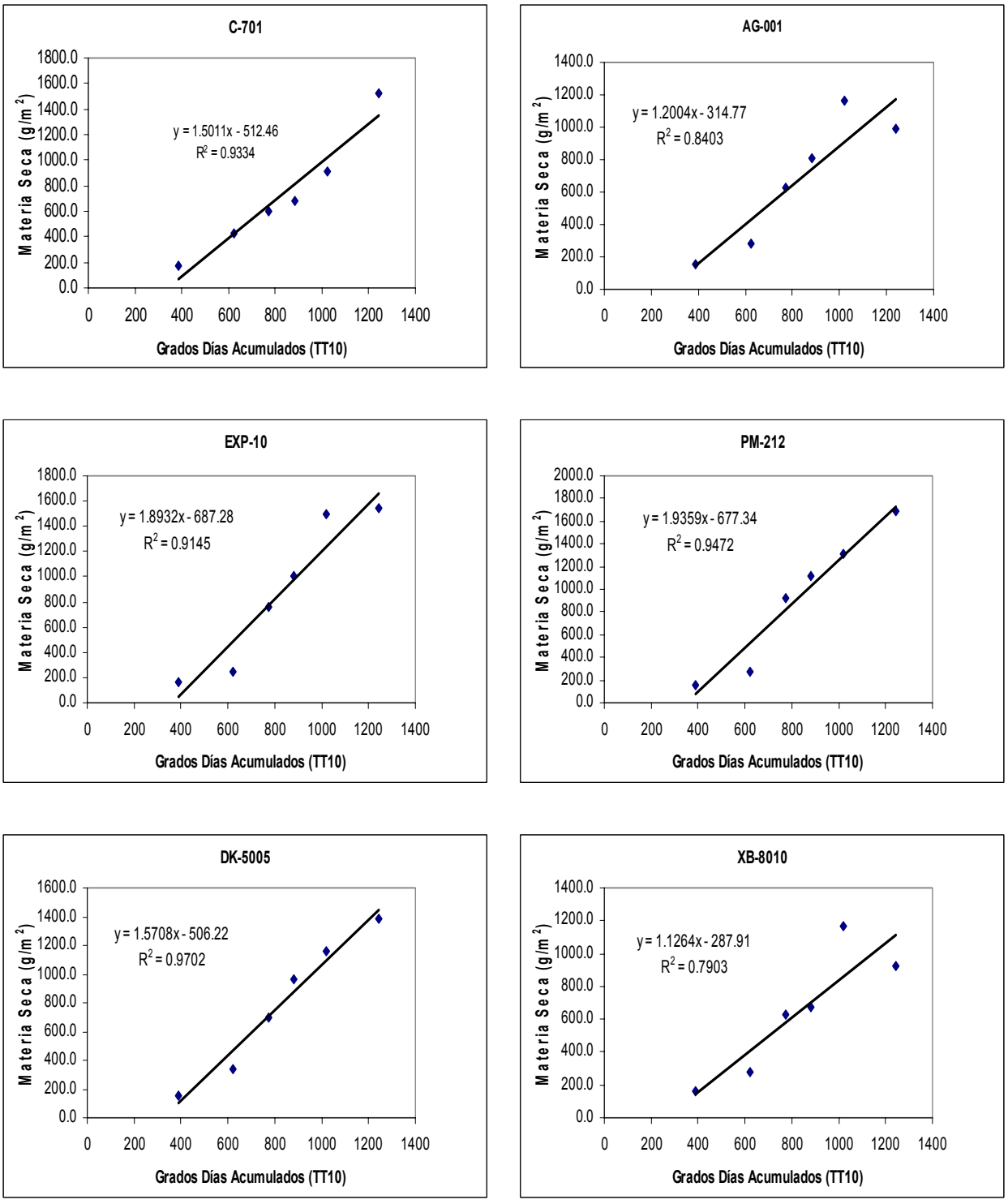


Figura 6.3. Relación entre la Materia Seca (g/m^2) en función de los Grados Días por el Método Residual Modificado (TT_{10}), para 06 híbridos de maíz amarillo duro. C-701, EXP-10, DK-5005, AG-001, PM-212 y XB-8010, en el fundo de la Universidad Nacional Agraria La Molina, 2007.

6.2 Índice de área foliar y eficiencia de uso de radiación durante el crecimiento y desarrollo del maíz amarillo duro

La Figura 6.4 muestra los valores de índice de área foliar alcanzados por los híbridos en estudio. Los híbridos C-701, PM-212 y EXP-10 registraron los mayores valores de IAF (3,8; 3,9 y 4,1 respectivamente); DK-5005 y AG-001 alcanzaron un IAF de 3,1 y el híbrido XB-8010 registró un IAF máximo de 2,9.

Asimismo, se presenta la relación entre el Índice de Área Foliar y la Radiación Fotosintéticamente Activa (PAR) para los 06 híbridos de maíz amarillo duro. Donde se observa que en los híbridos de ciclo corto (C-700, XB-8010 y AG-001) los valores más elevados de índice de área foliar se alcanzan a valores de PAR acumulados alrededor de los 800 MJ/m^2; mientras que los híbridos de ciclo tardío (PM-212, EXP-10 y DK-5005) requieren acumular mayor radiación fotosintéticamente activa para la producción de mayor índice de área foliar (entre 900 a 1000 MJ/m2).

Tabla 6.1 Eficiencia de producción de materia seca total por unidad de Radiación Fotosintéticamente Activa (PAR), para 06 híbridos de maíz amarillo duro C-701, EXP-10, DK-5005, AG-001, PM-212 y XB-8010, durante la evaluación de 06 híbridos de maíz amarillo duro, en el fundo de la Universidad Nacional Agraria La Molina, 2007.

Cultivares	Eficiencia de uso de radiación (EUR)	Rendimiento		IAF Máximo	Días de maduración
		g/m2	Test Tukey 5%		
PM-212	1,86	3083	C	3,9	186
EXP-10	1,81	4174	B	4,1	181
DK-5005	1,51	5167	A B	3,1	183
AG-001	1,13	5119	A B	3,1	166
XB-8010	1,06	4367	B	2,9	164
C-701	1,48	5506	A	3,8	158

La Figura 6.5, representa la acumulación de la materia seca total del maíz en función a la radiación fotosintéticamente activa para los híbridos en estudio. La mayor intercepción de energía en los híbridos tardíos PM-212 y EXP-10 representó una mayor eficiencia de su uso para producción de materia seca total (1,8 g/MJ) y no necesariamente para producción de granos, dado que durante la cosecha registraron rendimientos menores, en especial el híbrido PM-212 (Tabla 6.1), debido generalmente por falta de un buen manejo agronómico en los diferentes tratamientos de la parcela experimental. Mientras que los híbridos C-701 y DK5005, con una eficiencia de uso de radiación de 1,48 a 1,51g/MJ para producción de materia seca, translocaron eficientemente la biomasa total en la producción de granos logrando mayor rendimiento comercial. Los híbridos AG-001 y XB-8010 alcanzaron valores más bajos de eficiencia de uso de radiación para la producción de materia seca total en la planta (1,3 a 1,0 g/MJ), sin embargo el rendimiento de granos alcanzados estuvieron dentro del promedio.

Los valores de eficiencia de uso de radiación encontrados se encuentran similares a los reportados por França et al (1999) para tratamientos de maíz en el Brasil pero sometidos a deficiencia hídrica, e inferiores a tratamientos en condiciones óptimas reportados (França et al, 1999 y Lindsquist, 2005).

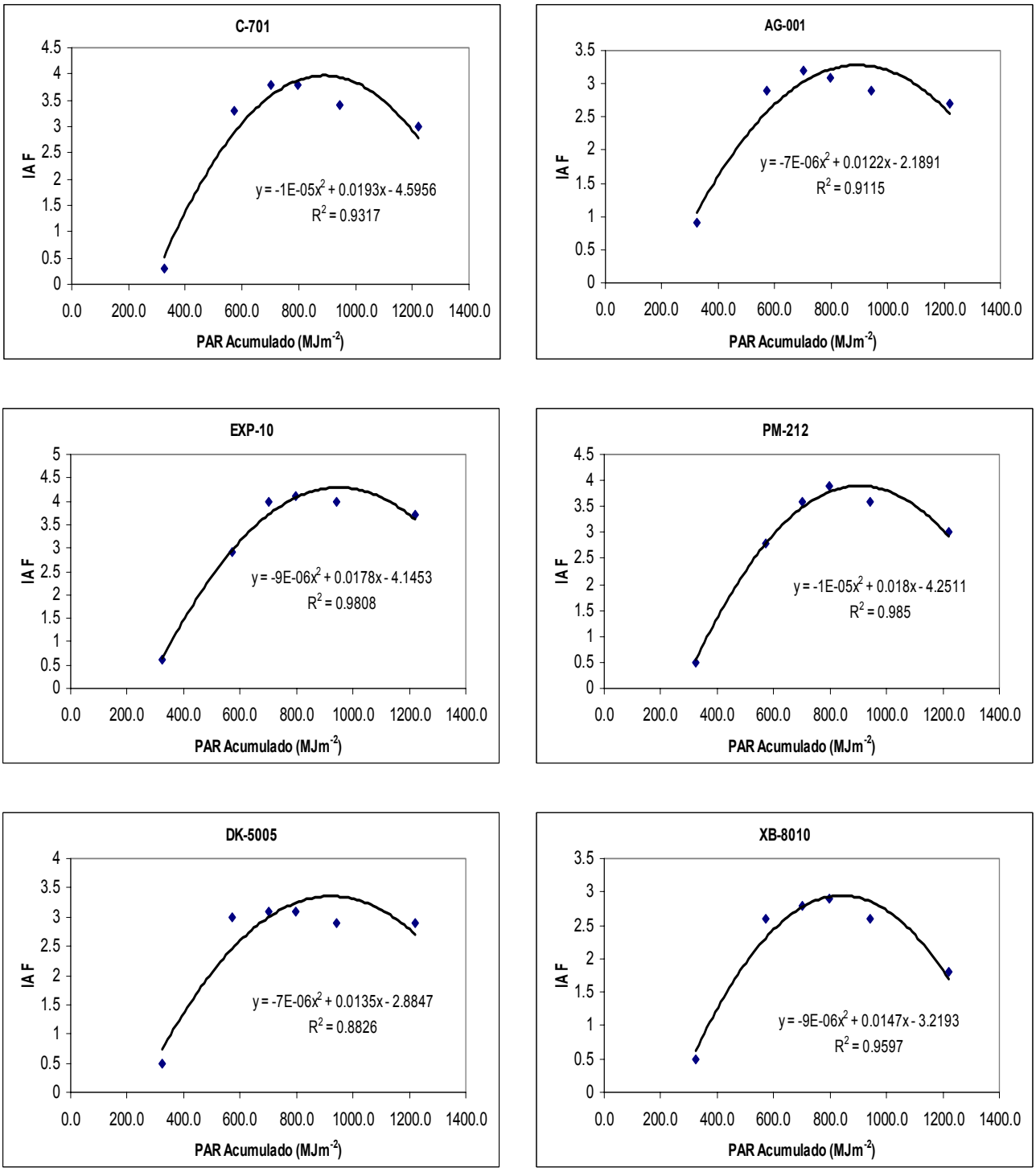
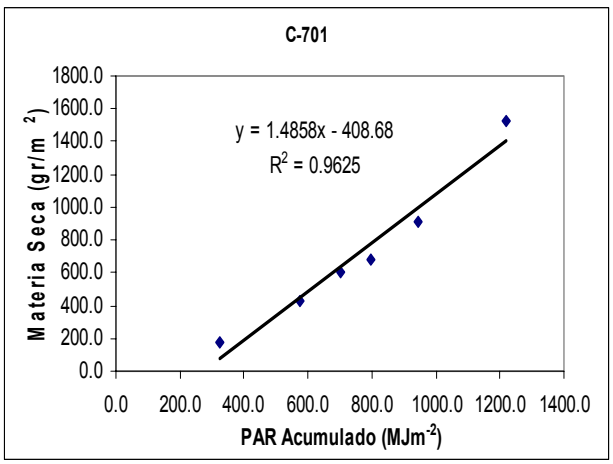
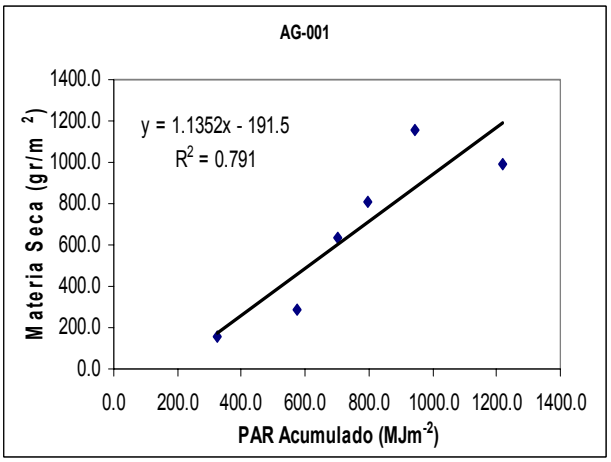
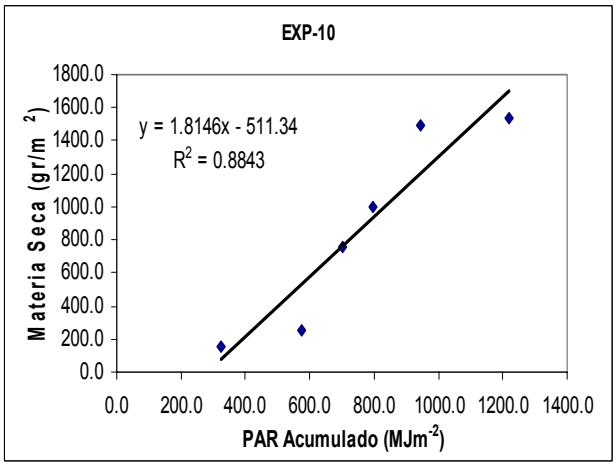
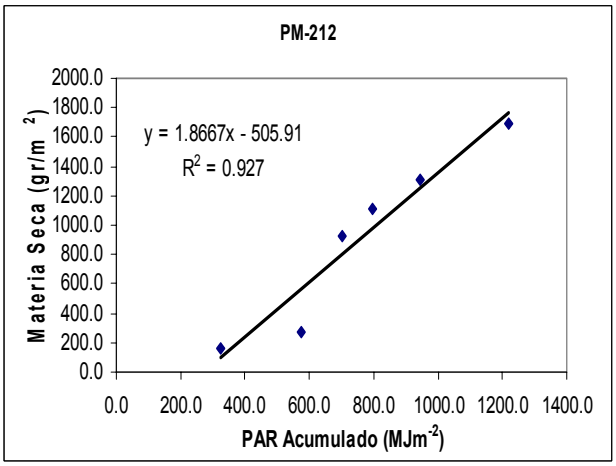


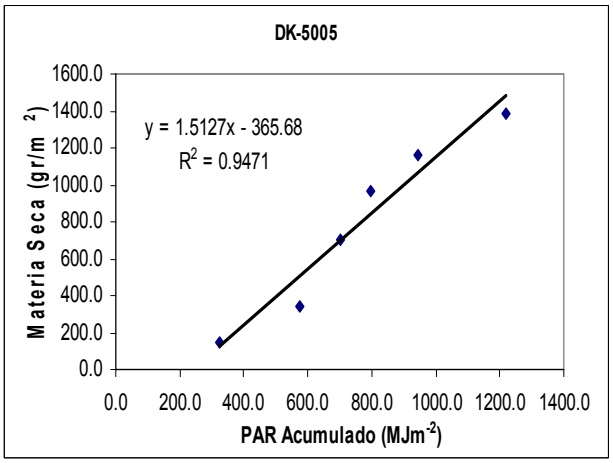
Figura 6.4 Relación entre el Índice de Área Foliar y la Radiación Fotosintéticamente Activa (PAR) para 06 híbridos de maíz amarillo duro C-701, EXP-10, DK-5005, AG-001, PM-212 y XB-8010, en el fundo de la Universidad Nacional Agraria, 2007.











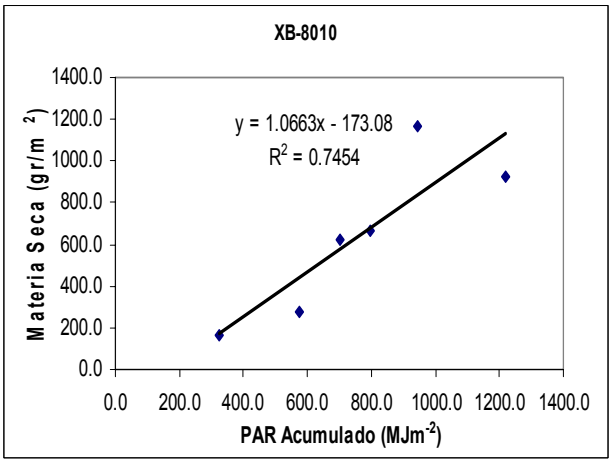


Figura 6.5 Eficiencia de Producción de Materia Seca Total (g/m^2) por unidad de Radiación Fotosintéticamente Activa (PAR) acumulada, para 06 híbridos de maíz amarillo duro C-701, EXP-10, DK-5005, AG-001, PM-212 y XB-8010, en el fundo de la Universidad Nacional Agraria, 2007.

6.3 Evapotranspiración del cultivo y eficiencia de uso de agua para el maíz amarillo duro

Dentro de los híbridos más tardíos, el EXP-10 y PM-212, registraron la mayor eficiencia de producción de materia seca total por unidad de agua evapotranspirada (7,37 a 7,59 g/l), así como los valores más elevados de índice de área foliar (4,1 y 3,9); sin embargo, se deduce que la mayor eficiencia de estos cultivares se centró en la producción de follaje y otras partes de la planta, y en menor proporción para la producción de granos, en especial en el PM-212, cuyo rendimiento fue significativamente menor en relación al resto de los híbridos. (Tabla 6.1).

En tanto que los híbridos C-701 y DK-5005, a comparación de los otros, registraron menores valores de EUA (5,56 y 6,16 g/l) para la producción de materia seca total; un IAF máximo de 3,8 y 3,1; sin embargo translocaron eficientemente la biomasa para la producción de granos, logrando mayor rendimiento (Tabla 6.1). En tanto que los híbridos AG-001 y XB-8010, registraron valores menores de eficiencia de producción de materia seca por unidad de agua consumida (4,48 a 4,82 g/l), y valores de IAF entre 2,9 a 3,1, alcanzaron rendimiento de granos comparativamente elevados (Tabla 6.1).

Los resultados de EUA encontrados son similares a los reportados por Fuenzalida (1993) en Chile, y superiores a los reportados por Villareal (2006) en la costa central del Perú, aunque éste último registró también mayores rendimientos y mayor consumo de agua por tratarse de una campaña de verano.

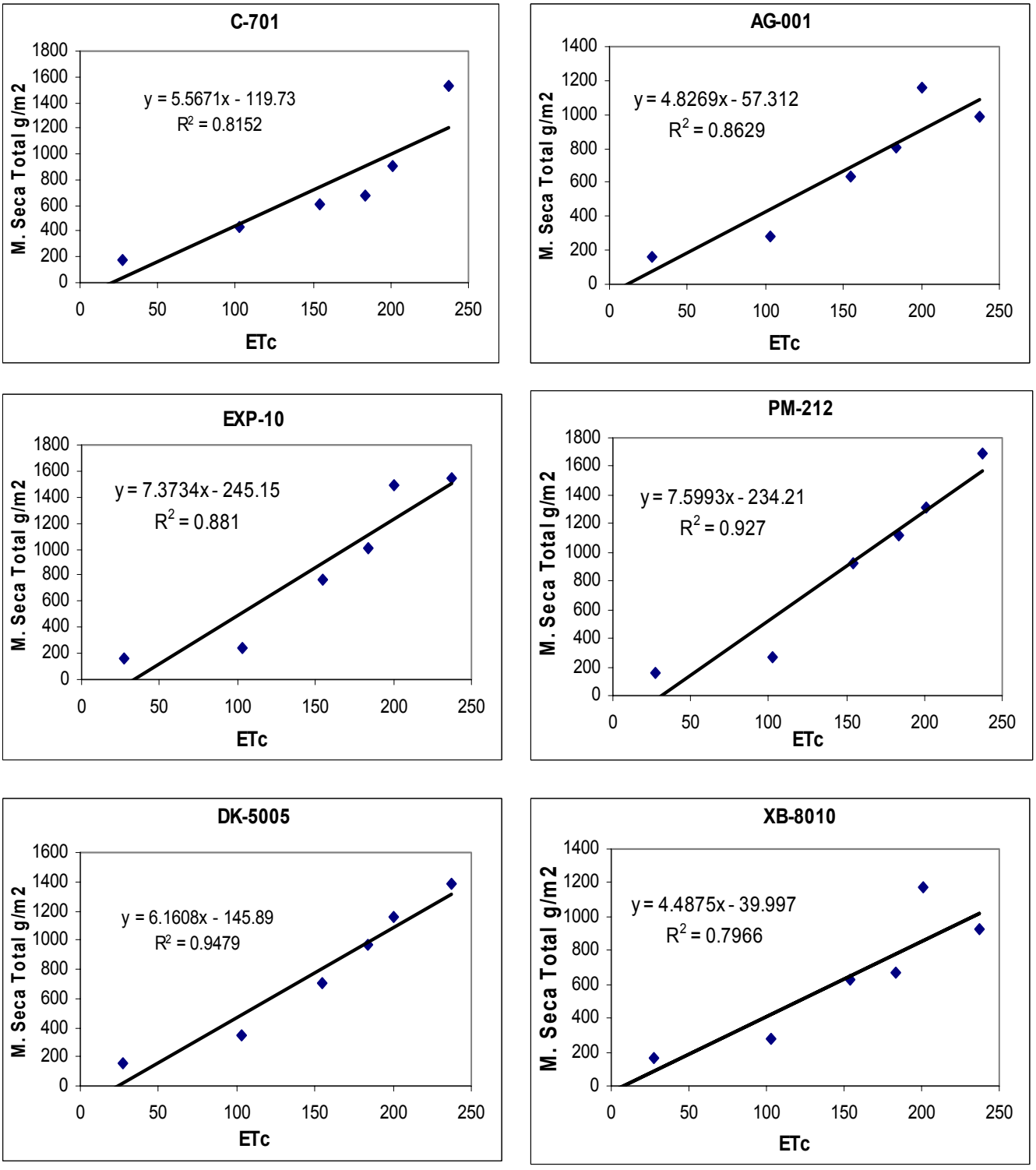


Figura 6.4. Eficiencia de uso de agua evapotranspirada (g/l) para 06 híbridos de maíz amarillo duro. C-701, EXP-10, DK-5005, AG-001, PM-212 y XB-8010, durante la evaluación de 06 híbridos de maíz amarillo duro, en el fundo de la Universidad Nacional Agraria La Molina, 2007.

6.4 Efecto de la variabilidad climática en la producción de maíz amarillo duro en la costa central.

En la Figura 6.5 se muestra la variabilidad del rendimiento promedio del cultivo de maíz amarillo duro, en Lima, costa central del Perú, entre la serie de 1952 al 2007. Se muestra la serie histórica original, presentando una tendencia cuadrática de incremento en el rendimiento promedio a nivel anual. En este caso los rendimientos del cultivo de maíz pueden ser atribuidos a la incorporación de nuevas tecnologías en el sistema de producción, como híbridos con mayor potencial de rendimiento y mejora en las prácticas de manejo (fertilización y control de enfermedades y plagas principalmente).

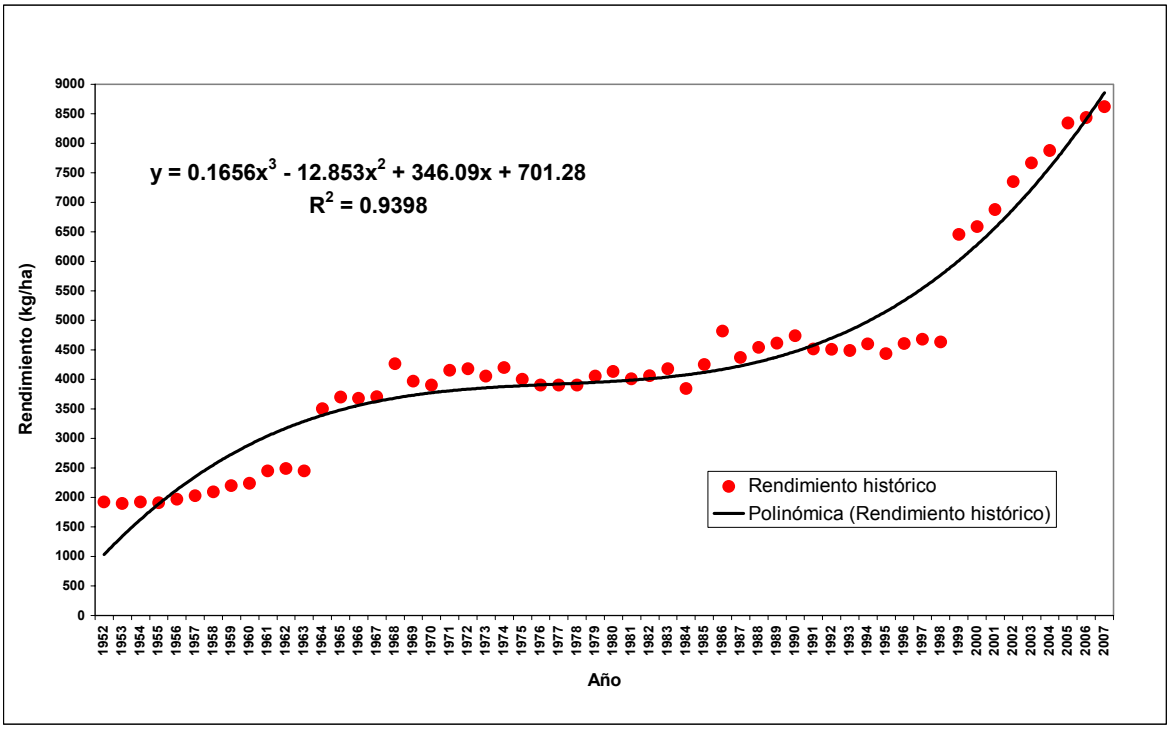


Figura 6.5. Serie histórica del rendimiento promedio del cultivo de maíz amarillo duro, para la Costa Central del Perú (Lima), 1952 al 2007.

En la Figura 6.6. Se muestran las mismas series históricas de rendimiento, pero una vez retirada la tendencia tecnológica en los datos, constatándose de esta forma el efecto de otros factores de naturaleza no tecnológica sobre el rendimiento del cultivo de maíz. En este sentido, se admite como posible admitir esta variabilidad de rendimiento al efecto de la variabilidad climática interanual ocurrida durante la serie histórica evaluada.

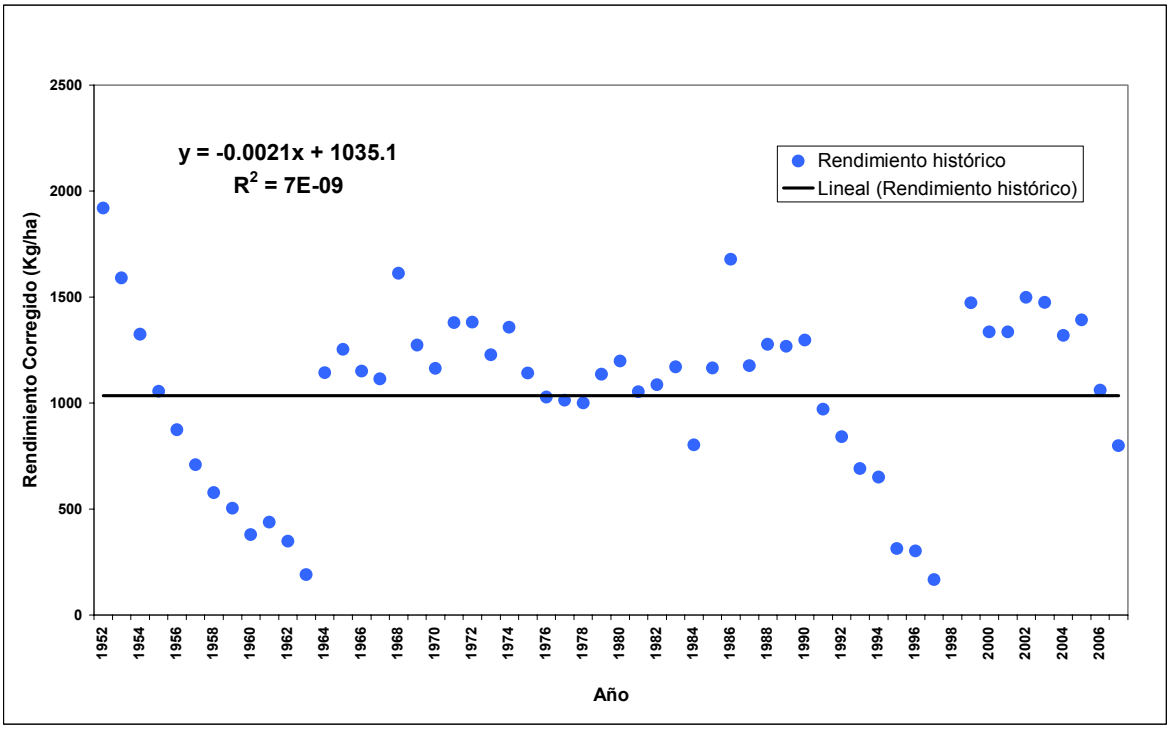


Figura 6.6. Serie histórica de rendimiento de cultivo de maíz amarillo duro corregida conforme a la tendencia de los datos, para la Costa Central del Perú (Lima), 1952 al 2007.

En la Figura 6.7. Se muestran las desviaciones del rendimiento corregido, esto es, sin la tendencia tecnológica, en relación al promedio, para cultivo de maíz amarillo duro en la zona de estudio. Las desviaciones se expresan en kg/ha y muestran valores positivos o negativos, conforme el rendimiento corregido en el año haya sido superior o inferior al promedio de la serie

histórica. La coloración de las barras indica rojo para años El Niño, azul para años La Niña y verde para años Neutrales.

En el período analizado de 1952 al 2007, ocurrieron 18 eventos El Niño, 17 eventos La Niña y el resto 20 años fueron neutrales. Los datos de la Figura 6.7 y la Tabla 6.2 evidencian que el evento El Niño, en la costa central mostró impactos positivos en un 56% y negativos en 44% para el cultivo de maíz amarillo duro, aunque el evento 1997-98 registró el impacto negativo más intenso sobre la producción de maíz, incluso superior a lo registrado en El Niño 1982-1983.

Situación contraria ocurrió durante los años La Niña, (Figura 6.7 y la Tabla 6.2), donde dominan los efectos positivos del evento (82%) que los negativos (18%). Asimismo, dentro de los Años Neutrales, de un total de 31 episodios, se mostraron impactos negativos y positivos equilibrados en 50%.

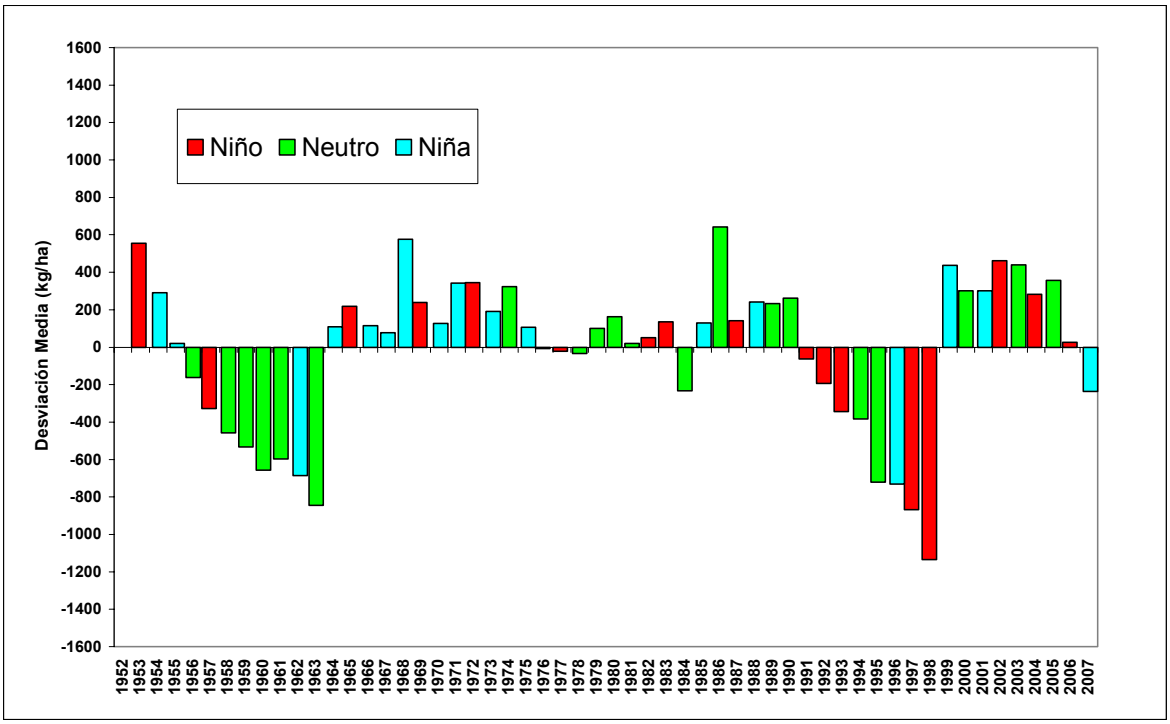


Figura 6.7 Serie histórica de desviaciones de la media de rendimiento de cultivo de maíz (kg/ha), datos corregidos conforme a la tendencia, de acuerdo con la fase del fenómeno ENOS.

Tabla 6.2. Desviación Media de los Rendimientos para el cultivo del maíz amarillo duro en la Costa central, de acuerdo al ENSO, Serie Histórica 1952-2007

Años de El Niño	Período	Positivo	Negativo	Total	Total de Años
Costa Central (Lima)	1952 - 2007	10 (56%)	8 (44%)	18 (33%)	55 (100%)
Año de la Niña	**Período**	**Positivo**	**Negativo**	**Total**	**Total de Años**
Costa Central (Lima)	1952 - 2007	10 (50%)	10 (50%)	20 (31%)	55 (100%)
Años Neutrales	**Período**	**Positivo**	**Negativo**	**Total**	**Total de Años**
Costa Central (Lima)	1952 - 2007	14 (82%)	3 (18%)	17 (36%)	55 (100%)

VII. CONCLUSIONES

7.1 Evaluación del efecto de la temperatura en el crecimiento y desarrollo del maíz amarillo duro

- El Método Residual (TT_{10}), con temperatura base de 10ºC, es el más eficiente para predecir las principales fases fenológicas para los 06 híbridos de maíz amarillo duro, y se adecua a las condiciones agroecológicas de la costa central, especialmente en la localidad de la Molina.

- La producción de Materia seca (g/m^2) y el Índice de área foliar (IAF) en los diferentes híbridos de maíz amarillo duro pueden ser estimadas a partir de la acumulación de Grados días; que al ser comparadas con los modelos de tiempo térmico presentan alto coeficiente de determinación (R^2).

- Para los 06 híbridos, el IAF y la producción de materia seca (g/m^2) presentaron un crecimiento inicial lento durante los primeros estados de crecimiento, luego fue creciente hasta las fases de panojamiento y espiga.

- La estimación del momento de ocurrencias de las fases fenológicas críticas, posibilita manejar el cultivo para optimizar sus estados fisiológicos en cada fase fenológica y el empleo oportuno de las distintas

labores culturales, con la finalidad de alcanzar rendimientos potenciales en el cultivo.

7.2 Índice de área foliar y eficiencia de uso de radiación durante el crecimiento y desarrollo del maíz amarillo duro

- Existe alta relación entre el Índice de Área Foliar (IAF) y la Radiación Fotosintéticamente Activa (PAR) para los 06 híbridos de maíz amarillo duro.
- Los híbridos de ciclo corto (C-700, XB-8010 y AG-001) presentaron menores valores acumulados de radiación fotosintéticamente activa, en comparación a los híbridos de ciclo tardío (PM-212, EXP-10 y DK-5005), que presentaron mayor radiación fotosintéticamente activa para la producción de mayor índice de área foliar.
- Existe una relación lineal entre la acumulación de la materia seca total del maíz y la radiación fotosintéticamente activa para los 06 híbridos en estudio.
- A mayor duración del ciclo del cultivo de maíz, será mayor la cantidad de radiación interceptada durante su crecimiento; este proceso se vincula directamente con la producción de la biomasa total, aunque no necesariamente con un mayor rendimiento en grano.
- Es necesario realizar una zonificación agroclimática donde se debe priorizar el estudio de los parámetros de zonas con alta radiación y amplitud térmica considerable, bajo condiciones de riego y fertilización; el

conjunto de estas características definen condiciones ambientales más apropiadas para determinar zonas con rendimientos potenciales.

7.3 Evapotranspiración del cultivo y eficiencia de uso de agua para el maíz amarillo duro

- Los híbridos de ciclo tardío registraron mayor eficiencia de producción de materia seca total por unidad de agua evapotranspirada, así como los valores más elevados de índice de área foliar; sin embargo, se deduce que la mayor eficiencia de estos cultivares se centró en la producción de follaje y de otras partes de la planta y en menor proporción para la producción de granos.

- Los híbridos de ciclo corto registraron menores valores de eficiencia de uso de agua para la producción de materia seca total; sin embargo translocaron eficientemente la biomasa para la producción de granos, logrando mayor rendimiento.

- El índice de eficiencia en el uso del agua (EUA), indicador que permite conocer la producción de los cultivos en el entorno de la sostenibilidad de los sistemas agrarios, está altamente relacionado con el uso racional de un recurso tan escaso como el agua, y tanto ecológica como agronómicamente una interesante forma de evaluar los cultivos en la producción de biomasa por unidad de agua evapotranspirada.

7.4 Efecto de la variabilidad climática en la producción de maíz amarillo duro en la costa central

- Para determinar el efecto de la variabilidad climática en los rendimientos del maíz fue necesario corregir la tendencia tecnológica y una vez obtenido las desviaciones de los rendimientos corregidos (kg/ha), sin la tendencia tecnológica, se relaciona con los años El Niño, La Niña y años neutrales.
- Los eventos El Niño ocasionaron impactos negativos más intensos sobre la producción del maíz amarillo duro, en la costa central.
- Los eventos La Niña causaron más efectos positivos que negativos, asimismo, durante años considerados neutrales se produjeron impactos negativos y positivos equilibrados.

VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Andrade, F.H. 1995. Analysis of growth and yield of maize, sunflower and soybean grown at Balcarce, Argentina. Field Crops Research, 41:1-12.

Andrade, F.H., S.A. Uhart y G.G. Arguissain. (1991). Rendimiento potencial de maíz en Balcarce. Análisis de los factores que lo determinan. Boletín Técnico 101. Estación Experimental Agropecuaria Balcarce (INTA), Balcarce, Buenos Aires, Argentina.

Arguissain, G.G. (1990). Productividad de maíz en Balcarce. Tesis Magister Scientiae. Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Mar del Plata. Balcarce, Buenos Aires, Argentina. 60 págs.

Aloni, R. y Griffith, M. 1991. Xylem in the root: shoot junction of cereals. Planta, 184: 123-129.

Angus, J.F., Hasegawa, S., Hsaio, T.C., Liboon, S.P. y Zandstra, H.C. 1983. The water balance of post-monsoonal dryland crops. J. Agric. Sci. Camb., 10: 699-710.

Arnold, C.Y. 1959. The determination and significance of the base temperature in a linear heat unit system. Proceeding of the American Society for Horticultural Science, Geneve, v.74, p.430-445.

Aspiazu, C.; Shaw, R.H. 1972. Comparison of several methods of growing degree-unit calculations for corn (Zea mays L.). Journal of Science, Iowa State, v.46 n.4, p. 435-442.

Bartoloni, R.1990. El maíz. Agroguías Mundi-Prensa. Ed. Mundi-Prensa. Madrid, 280 págs.

Bassetti, P. y M. E. Westage. 1993a. Senescence and receptivity of maize silks. Crop Science, 33:275-278.

Bassetti, P. y M. E. Westage. 1993b. Emergence, elongation, and senescense of maize silks. Crop Science, 33:271-275.

Beingolea et. Al. 1993. Manual de semillas para la Costa Proyecto TTA. UNALM. Lima-Perú. 78 págs.

Bolaños, J. y G. O. Edemeades. 1993. Eight cycles of selection for drought tolerance in lowland tropical maize. I. Responses in yield, biomass and radiation utilization. Field Crops Res. 31:233-252.

Boletín informativo de Cargill S.A. 2004. C-701 Híbridos comerciales de maíz.

Boletín informativo de Dekalb. 2000. Dekalb-5005. Hortus.

Blacklow, W. M. 1972. Influence of temperature on germination and elongation of the radicle and shoot of corn (Zea mays L.). Crop Science, 12:647-650.

Brown, D.M. 1978. Heat units for corn in Southern Ontario, Ontario Ministry of agriculture and Food, Canada, Fact sheet AGDEX 111/31, Order Nº 75-077.

Bunting, E. 1976. Accumulated temperature and maize development in England Journal of Agricultural Science, Great Britain, v.87, p.577-583.

Cirilo, A.G. y F. H. Andrade, 1994. Sowing date and maize productivity. II: Kernel number determination. Crop Science, 34: 1044-1046.

Cirilo A. G. Y F.H. Andrade. 1996. Sowing date and kernel weight in maize. Crop Science, 36:325-331.

Coelho, D.; Dale, R. 1980. An energy-crop growth variable and temperature function for predicting corn growth and development-planting to silking. Agronomy Journal, Madison, v.72, n.3, p.503-510.

Contreras R., Nuñez G. y J. Martinez. 1993. Cunha G. 1999. El Nino-Oscilaçao do Sul e perspectivas climáticas aplicadas no manejo de culturas no sul do Brasil. Revista Brasileira de Agrometeorologia. V. 7. Nº 1 p. 127-138.

Crane, P.; Goldsworthy, P.;Cuany, R., et al. 1976. Climatological factors in maize adaptation. In: Agrometeorology of the maize crop. Publ. WMO-481, World Meteorological Organization, Geneva, p. 81-102.

Cross, H.Z.; Zuber, M.S. 1972. Prediction of flowering dates in maize based on different methods of estimating thermal units. Agronomy Journal, Madison, v.64, n.4, p.351-355.

Cunha G., G. Dalmago, V. Estefanel, A. Pasinato y M. Moreira. 2001. El NINO – scilación do Sul e seus impactos sobre a cultura de cevada no Brasil. Revista Brasileira de Agrometeorologia. V. 9. Nº 1 p. 137-145.

Daynard, T.B. y Duncan, W.G. 1969. The black layer and grain maturity in corn. Crop Science, 9:473-476.

Derieux, M. y R. Bonhomme. 1982a. Heat unit requirements for maize hybrids in Europe. Results of the European FAO sub-network. I. Sowing-silking period. Maydica, 27:59-77.

Derieux, M. y R. Bonhomme. 1982b. Heat unit requirements for maize hybrids in Europe. Results of the European FAO sub-network. II. Period from silking to maturity. Maydica, 27:79-76.

Dwyer, L. M., D.W.Stewart, R.I. Hamilton y L. Houwing. 1992. Ear position and vertical distribution of leaf area in corn. Agronomy Journal, 84:430-438.

Edgard, R. S y Clovis A. V. 2002. Relação entre soma térmica efectiva e o crescimiento da soja. Revista Brasileira de Agrometeorología, Santa Maria, v. 10, n.1, p. 89-96.

Edmeades, G.O., Fairey, N.A. y Daynard, T.B. 1979. Influence of plant density on the distribution of 14C-labelled assimilate in maize at flowering. Can. J. Plant Sci., 59: 577-584.

Ellis, R.H., Summerfield, R.J., Edmeades, G.O. y Roberts, E.H. 1992. Photoperiod, temperature, and the interval from sowing to tassel initiation in diverse cultivars of maize. Crop Sci., 32: 1225-1232.

FAO. 2006. Evapotranspiración del Cultivo. Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. Serie Riego y Drenaje Nº 56. 323p.

Fernández E. y F. Camacho. 2005. Eficiencia en el uso del agua. Viveros. Revista Extra 2005. Pg. 86-89.

Fischer, K.S. y Palmer, A.F.E. 1984. Tropical maize. In P.R. Goldsworthy y N.M. Fisher, eds. The physiology of tropical field crops, p. 213-248. New York, NY, USA, J. Wiley y Sons.

Fontana, D.C. Berlato M.A. 1996. Relação entre El Nino Oscilação Sul (ENOS), precipitação e rendimento de milho no Estado de Rio Grande do Sul. Pesquisa Agropecuária Gaúcha. Porto Alegre. V2.n.1. 39-45.

França S., H. Bergamaschi y L. Gonçalves.(1999). Modelagem do crescimento de milho em função da radiação fotossinteticamente ativa e do acúmulo de graus-día, com e sim radiação. Revista Brasileira de agrometeorologia. V7.n1. p 55-66.

Fuenzalida J., H. Rodríguez, y F. Santibáñez. 1993. Eficiencia del uso del agua y productividad de maíz: un modelo simple para predecir la evapotranspiración del cultivo.

García J. 1990. Agrometeorología. Energía y Agua en la Agricultura. Ediciones UNALM. 175 págs.

Gardner, B. R, B. Perace y R. L. Mitchel. 1985. Physiology of crop plants. Iowa State University Press. USA. 327págs.

Gilmore, E.; Rogers, J. 1958. Heat units as a method of measuring maturity in corn. Agronomy Journal, Madison, v.50, n.5, p.611-615.

Hay, R.K.M. y Walker, A.J. 1989. An introduction to the physiology of crop yield. Essex, UK, Longman Scientific and Technical.

Heisey, P. W., y G. O. Edmeades. 1999. Maize production in Drought-Stressed Environments: Technical Options and Research Resources Allocation. Part I. *In*: CIMMYT. World Maize Facts and Trends 1997/98. CIMMYT. Mexico D.F. pp: 1-12.

Johnson, R.R. y M.P. Herrero. 1981. Corn pollination under moisture and high temperature stress. En : H.D. Loden y D. Wilkinson (eds.). Proceedings 36th. Ann.

Corn and Sorghum Industry res. Conf. Chicago, Illinois. 9-11 dec. American Seed Trad. Ass., Washinton, D.C., USA.

Jones, C.A., J.T.Ritchie,J.R. Kiniry y D.C. Goodwin. 1986. Subroutine structure. En: CERES-Maize: A simulation model of maize growth and development. Texas A&M Univ. Press, College Station, TX. Págs. 49-111.

Kiniry, J.; R. 1991. Maize phasic development. En: J. HANKS y J.T. RITCHIE (eds.). Modeling plant and soil systems. ASA-CSSA-SSSA. Madison, Wisconsin. Agronomy Monograph, 31:55-70.

Kiniry, J.; Ritchie, J. 1981. Rates of leaf primordia and tip appearance of different maize genotypes in the field. Agronomy Journal, Madison, v.77, n.5, p.115-131.

Kiniry, J.R., Ritchie, J.T. y Musser, R.L. 1983. Dynamic nature of the photoperiod response in maize. Agron J., 75: 700-703.

Kiniry, J.; R. y R. Bonhomme. 1991. Predicting maize phenology. En: T. Hodges (ed.). Predicting crop phenology. CRC Press. Bocsa Raton, Ann Arbor. Boston. Págs. 115-131.

Kiesselbach TA. 1949. The structure and reproduction of corn. University of Nebraska Collection of Agricultural and Experimental State Result Bulletin 161, 1–96.

Lafitte, H.R. y Edmeades, G.O. 1994. Improvement for tolerance to low soil nitrogen in tropical maize. II. Grain yield, biomass accumulation, and N accumulation. Field Crops Res., 39: 15-25.

Lindquist J., Arkebauer, T. Walkers D., Cassman K. Y A. Doberman. 2005. Maize radiation use efficiency under optimal growth conditions. Agronomy Journal 97:72-78.

Lozada, B.; Angelocci, L. 1999. Determinação da temperatura-base e de graus-dia para estimativa da duração do subperíodo da semeadura à floração de um

híbridode milho (Zea mays). Revista Brasileira de Agrometeorologia, Santa Maria, v.7, n.1, p.31-36,.

Mederski, J.; Miller, M.; Weaver, C. 1973. Accumulated heat units for classifing corn hybrid maturity. Agronomy Journal, Madison, v.65, n.7, p.743-747.

Micucci F. 2007. Impacto de lãs prácticas de manejo sobre la eficiência de uso del água em los cultivos extensivos de la región pampeana argentina. Disponible en: www.bvsde.paho.org/bvsacd/upf/micucci.pdf. Julio 2007.

Miedema, P. 1982. The effects of low temperature on zea mays. Adv. Agron., 35: 93-129.

Ministerio de Agricultura. 2003. Plan estratégico de la cadena productiva del maíz amarillo duro, avícola y porcícola. Lima. Perú. 108 págs.

Ministerio de Agricultura. 2007. Dirección General de Información Agraria. Estadística Agraria Mensual-Diciembre. Lima. Perú.

Monteith, J.L. y Unsworth, M.H. 1990. Principles of environmental physics. Arnol, London.

Morrison, J. A., J. R. Kessler y D.R. Buxton. 1994. Maize internode elongation patterns. Crop Science, 34:1055-1060.

Muchow, R.C. 1990. Effect of high temperature on grain-growth in field-grown maize. Field Crops Res., 23: 145-158.

Muchow, R.C. y Sinclair, T.R. 1994. Nitrogen response of photosynthesis and canopy radiation use efficiency in field-grown maize and sorghum. Crop Sci., 34: 721-727.

Neild, R. y M.W. Seeley. 1987. Applications of growing degree days in field corn production. In: Agrometeorology of the maize crop. WMO Nº 481. p. 426-436. Geneva, Swtzerland.

NOAA/ National Weather Service. 2008. http://www.ncep.noaa.gov/

Norman, M.J.T., Pearson, C.J. y Searle, P.G.E. 1995. The ecology of tropical food crops. New York, NY, USA, Cambridge University Press. 430 pp.

Ometto, J. C. 1981. Bioclimatología Vegetal. Sao Paulo. Editora Agronómica Ceres Ltda. 425 págs.

Otegui, M. E. 1992. Incidencia de una sequía alrededor de antesis en el cultivo de maíz. Consumo de agua, producción de materia seca y determinación del rendimiento. Tesis Magíster Scientiae. Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad nacional de mar del Plata. Balcarce, Buenos Aires, Argentina. 93 págs.

Otegui, M. E., F.H. Andrade y E.E. Suero. 1995. Growth, water use, and kernel abortion of maize sujected to drought at silking. Field Crops Research, 40:87-94.

Pearson, C.J. & Hall, A.J. 1984. Maize and pearl millet. In C.J. Pearson, ed. Control of crop productivity, p. 141-158. New York, NY, USA, Academic Press.

Paulsen, G.M. 1994. High temperature responses of crop plants. In K.J. Boote, J.M. Bennett, T.R. Sinclair y G.M. Paulsen, eds. Physiology and determination of crop yield, p. 365-389. Madison, WI, USA, American Society of Agronomy.

Purseglove, J.W. 1972. Tropical crops: monocotyledons, Vol. 1. Londres, Longman Group Limited. 334 p.

Ritchie, J. T. y J.J. Hanway. 1982. How a corn plant develops. Iowa State University of Science and Technology. Cooperative Extension Service Ames, Iowa. Special Report Nº 48.

Ritchie, T. y D.S. Nesmith. 1991. Temperature and crop development. En: J. Hanks y J. T. Ritchie (eds.). Modeling plant and soil systems. ASA-CSSA-SSSA. Madison, Wisconsin. Agronomy Monograph, 31:5-29.

Ripusudan L. P. Gonzalo G., Honor R. L. y Alejandro D. V. El maíz en los trópicos: Mejoramiento y producción. FAO, Roma 2001.

Roel A. y W. Baethgen. 2005. El Niño y el arroz-Efectos en la producción Uruguaya. INIA – Revista El País Uruguayo. Enero 2005. Pg. 25-28.

Ruget, F y J.B. Duburcq. 1983. Dévelopment reproducteur des bourgeons axillaires chez le maïs: stade de différenciation, nombre de fleurs. Agronomie, 3:797-808.

Sadras, V. O., A.J. Hall y T. M. Schlichter. 1985. Kernel set of the uppermost ear in maize: I. Quantification of some aspects of floral biology. Maydica, 30: 37-47.

Sellers, P.J.; Dickinson, R.E.; Randall, A., Betts, A.K., Hall, F.G., Berry, J.A., Collatz, G.J., Denning, A.S., Mooney, H.A., Nobre, C,A., Sato, N., Field, C.B. y Henderson-Sellers, A. (1997). Modelling the Exchanges of Energy, Water, and Carbon Between Continents and the Atmosphere. Science, 275:502-509.

Senamhi. 1999. Fenómeno “El Niño 1997/1998”. 84 págs. Lima. Perú.

Squire, G.R. 1990. The physiology of tropical crop production. Oxon, UK, CAB International. 236 pp.

Stevens, S.J., E.J. Stevens, K.W.Lee, A.D. Flowerday y C.O. Gardner. 1986. Organogenesis of the staminate and pistillate inflorescences of pop and dent corns: relationship to leaf stages. Crop Science, 26:712-718.

Tollenaar, M.; Daynard, T.; Hunter, R. 1979. Effect of temperature on rate of leaf appearance and flowering date in maize. Crop Science, Madison, v.19, n.1, p.363-366.

Trasmonte, G. y Yamina. S, 2008. Definición y clasificación de eventos la niña según ATSM área Niño 1+2. Trabajos de investigación del Comité Técnico de coordinación del Enfen. Lima-Perú (en prensa).

Villareal. 2006. Efecto de la fertilización nitrogenada en tres híbridos experimentales y un híbrido comercial de maíz (*Zea maiz* L.) bajo riego por goteo. Tesis. Universidad Nacional Agraria. 125 p.

Wang, J. A. 1960. Critique of the heat unit approach to plant response studies. Ecology, Brooklin, v.41, n.4, p.785-790.

Warrington, I.J.; Kanemasu, E. 1983. Corn growth response to temperature and photoperiod. I. Seedling emergence, tassel initiation, and anthesis. Agronomy Journal, Madison, v. 75, n.5, p. 749-754.

Westgate, M.E. 1994. Seed formation in maize during drought. In K.J. Boote, J.M. Bennett, T.R. Sinclair & G.M. Paulsen, eds. Physiology and determination of crop yield, p. 361-364. Madison, WI, USA, American Society of Agronomy.

Wilkes, H.G. 1979. Mexico and Central America as a centre for the origin of agriculture and the evolution of maize. Crop Improv., 6(1): 1-18.

Wilkes, H.G. 1985. Teosinte: the closest relative of maize revisited. Maydica, XXX: 209-223.