

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA**

**ESCUELA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN PRODUCCIÓN AGRÍCOLA**



**“UNIDADES TÉRMICAS PARA EL DESARROLLO DEL
CULTIVO DE MAÍZ AMARILLO DURO (*Zea mays*, L.) EN
LA LOCALIDAD DE CAÑETE”**

Presentada por:

SANDRA ELIZABETH SORIA ALBINAGORTA

**TESIS PARA OPTAR EL GRADO DE MAGISTER SCIENTIAE EN
PRODUCCIÓN AGRÍCOLA**

Lima - Perú

2015

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA**

**ESCUELA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN PRODUCCIÓN AGRÍCOLA**

**“UNIDADES TÉRMICAS PARA EL DESARROLLO DEL
CULTIVO DE MAÍZ AMARILLO DURO (*Zea mays*, L.) EN
LA LOCALIDAD DE CAÑETE”**

**TESIS PARA OPTAR EL GRADO DE
MAGISTER SCIENTIAE**

Presentada por:

SANDRA ELIZABETH SORIA ALBINAGORTA

Sustentada y aprobada ante el siguiente jurado:

Ph. D. Salomón Helfgott Lerner
PRESIDENTE

Ph. D. Hugo Soplín Villacorta
PATROCINADOR

Mg.Sc. Gilberto Rodríguez Soto
MIEMBRO

Mg.Sc. Julián Chura Chuquiya
MIEMBRO

AGRADECIMIENTOS

En este apartado de la tesis quiero agradecer no sólo a las personas que de una u otra manera me han ayudado directamente a llevar a cabo esta tesis, sino también a aquellas con quienes he compartido muchos momentos gratos durante este tiempo.

Al Dr. Hugo Soplín, patrocinador de esta tesis, por el apoyo brindado y sus valiosas enseñanzas.

A mi familia: mis padres Luzmila y Mauro, mi hermana Patricia y mi pequeña Ariana, gracias por toda la preocupación, cariño y confianza que me han demostrado.

UNIDADES TÉRMICAS PARA EL DESARROLLO DEL CULTIVO DE MAÍZ AMARILLO DURO (*Zea mays*, L.) EN LA LOCALIDAD DE CAÑETE

RESUMEN

Para determinar las unidades térmicas requeridas para el desarrollo de maíz amarillo duro se sembraron cinco híbridos en el fundo Don Germán ubicado en el distrito de Cañete (Lima –Perú), en dos fechas de siembra (13 de noviembre del 2012 y 18 de enero del 2013), en un diseño en Bloques Completos al Azar, con seis repeticiones. Los híbridos evaluados fueron: NB 7316 (triple), NK 254 (simple), Dekalb 7088 (simple), AG 1596 (simple), y NK Impacto (simple doble haploide). Los intervalos fenológicos evaluados fueron: siembra a emergencia, emergencia a panojado y siembra a panojado. Se compararon tres modelos para calcular las unidades térmicas en cada intervalo fenológico: El modelo residual modificado con temperatura base de 10 °C (TT₁₀), el modelo Ontario (C.H.U.), y el modelo Ometto.

Los resultados obtenidos indican que dentro de los híbridos, el más precoz fue NK Impacto con 57 días en promedio de las dos fechas de siembra, seguido de AG-1596 y NB-7316 con 72 y 76.5 días, respectivamente y finalmente NK-254 y Dekalb 7088 con 79 y 80.5 días, respectivamente. Sin embargo, la diferencia en días transcurridos entre la primera fecha de siembra y la segunda no fue constante para todos los híbridos, siendo mayor en Dekalb 7088 con 19 días y menor en NK Impacto, con 4 días. Dentro de cada intervalo fenológico, los valores de unidades térmicas fueron mayores cuando se calculaban usando el modelo C.H.U. y menores cuando se usaba el modelo TT₁₀, arrojando el modelo OMETTO, valores intermedios. Para ningún híbrido existe concordancia en las unidades térmicas calculadas para las dos fechas de siembra en ninguno de los modelos evaluados. El híbrido que produjo los más altos rendimientos en ambas fechas de siembra fue AG-1596 (15.753 ton ha⁻¹ en promedio), mientras que los que produjeron los menores rendimientos fueron NK-254 y NK Impacto (9.291 y 9.277 ton ha⁻¹, respectivamente).

Palabras clave: Unidades térmicas, doble haploide, intervalos fenológicos

THERMAL UNITS FOR YELLOW CORN (*Zea mays*, L.) DEVELOPMENT AT CAÑETE LOCATION

ABSTRACT

To determine the thermal units required for yellow corn development, five hybrids were planted at “Don German” farm, located in the district of Cañete (Lima-Peru), in two sowing dates (November 13, 2012 and January 18, 2013), in a Randomized Complete Block Design with six replications. The hybrids evaluated were: NB 7316 (triple), NK 254 (single), Dekalb 7088 (simple), AG 1596 (simple), and NK Impact (single double haploid). Phenological intervals assessed were: sowing to emergency, emergency to tasseling and sowing to tasseling. Three models were used to calculate the thermal units in each phenological interval: The modified residual model with 10°C as base temperature (TT10), the Ontario model (C.H.U.), and the Ometto model.

The results obtained indicate that within hybrids the most precocious was NK Impacto with 57 days on average of the two planting dates, followed by AG-1596 and NB-7316 with 72 and 76.5 days, respectively, and finally NK-254 and Dekalb 7088 with 79 and 80.5 days, respectively. However, the difference in days elapsed between the first sowing date and the second was not constant for all hybrids. It was higher in Dekalb 7088 (19 days) and lower in NK Impact (4 days). Within each phenological interval the thermal unit values were higher when they were calculated using the C.H.U. model and lower when the TT10 model was used. The OMETTO model, showed intermediate values. For each model evaluated there was no agreement in the thermal units calculated for the two planting dates, in any of the five hybrids. The hybrid that produced the highest yields in both planting dates was AG-1596 (15.753 t ha⁻¹ on average) while those that produced the lowest yields were NK-254 and NK Impact (9,291 and 9,277 t ha⁻¹, respectively).

Key words: Thermal units, double haploid, phenological intervals

ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTO

RESUMEN

ABSTRACT

I.	INTRODUCCIÓN	1
	1.1. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN	3
II.	REVISIÓN DE LITERATURA	4
	2.1 GENERALIDADES	4
	2.1.1 La Planta de Maíz	4
	2.1.1.1 Características Morfológicas y Taxonómicas del Maíz	4
	2.1.1.2 Fenología del Maíz Amarillo Duro	5
	2.1.2 Requerimientos Climáticos del Maíz Amarillo Duro	11
	2.1.2.1 Influencia de la temperatura	11
	2.1.2.2 Influencia del Fotoperiodo	14
	2.1.2.3 Influencia de la Radiación Solar	14
	2.1.2.4 Requerimiento de Agua	17
	2.1.2.5 Requerimiento de Suelo	18
	2.1.3 El maíz amarillo duro a nivel nacional	19
	2.1.3.1 Principales indicadores de la actividad de Maíz Amarillo Duro	19
	2.1.3.2 Aporte a la producción Agropecuaria	19
	2.1.3.3 Producción Nacional	20
	2.2 GRADOS DÍAS DE CRECIMIENTO	22
III.	MATERIALES Y MÉTODOS	25
	3.1. MATERIALES	25
	3.1.1 Ubicación del campo experimental	25
	3.1.2 Condiciones Metereológicas en la zona de Estudio	26
	3.1.3 Tratamientos en Estudio	29

3.1.4	Materiales y Equipos	29
3.1.5	Análisis de Suelos	30
3.2	METODOLOGÍA	34
3.2.1	Método residual modificado (TT ₁₀)	34
3.2.2	Método Ontario	35
3.2.3	Método Ometto	36
3.3	DISEÑO EXPERIMENTAL	37
3.3.1	Distribución Experimental de los Híbridos de Maíz Amarillo Duro	38
3.3.2	Características del Ensayo Experimental	40
3.3.2.1	Característica de la parcela Experimental	40
3.3.2.2	Características del Bloque	40
3.3.2.3	Características del campo experimental	40
3.4	EVALUACIONES EN LA CONDUCCIÓN DEL EXPERIMENTO	40
3.4.1	Días al 50% de la Emergencia	40
3.4.2	Días al 50% de la Floración Masculina	41
3.4.3	Número de plantas Cosechadas	41
3.4.4	Número de Mazorcas Cosechadas	41
3.4.5	Peso de Mazorcas en Campo	41
3.4.6	Porcentaje de Humedad del Grano	41
IV.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	43
4.1	DÍAS CALENDARIO TRANSCURRIDOS	43
4.2	UNIDADES TÉRMICAS CALCULADAS CON LOS TRES MODELOS	44
4.3	RENDIMIENTOS	48
V.	CONCLUSIONES	55
VI.	RECOMENDACIONES	56
VII.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	57

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1:	Fases Fenológicas del Maíz.....	5
Tabla 2:	Algunos factores ambientales que afectan la eficiencia de conversión (CE) en el maíz tropical de zonas bajas.....	16
Tabla 3:	Producción y Superficie Cosechada Nacional.....	20
Tabla 4:	Temperaturas mensuales registradas en la micro estación, durante la evaluación de 05 híbridos de maíz amarillo duro, de la primera siembra, en el fundo Don Germán, Cañete – Lima.....	26
Tabla 5:	Temperaturas mensuales registradas en la micro estación, durante la evaluación de 05 híbridos de maíz amarillo duro, de la segunda siembra, en el fundo Don Germán, Cañete – Lima.....	28
Tabla 6:	Análisis de suelo: Caracterización, para la parcela en donde se realizó la primera siembra.....	31
Tabla 7:	Análisis de suelo: Caracterización, para la parcela en donde se realizó la segunda siembra.....	33
Tabla 8:	Análisis de Varianza para las observaciones biométricas en cada siembra de los híbridos de maíz en estudio, en el fundo Don Germán de la Universidad Nacional Agraria La Molina, Cañete – Lima.....	38
Tabla 9:	Días calendario transcurridos desde la siembra al panojado de cinco híbridos, en dos fechas de siembra.....	43
Tabla 10:	Niveles de significación de los cuadrados medios del ANVA para las unidades térmicas calculadas en dos fechas de siembra, usando tres modelos, para el intervalo siembra-emergencia.....	44

Tabla 11:	Niveles de significación de los cuadrados medios del ANVA para las unidades térmicas calculadas en dos fechas de siembra, usando tres modelos, para el intervalo emergencia-panoja.....	44
Tabla 12:	Niveles de significación de los cuadrados medios del ANVA para las unidades térmicas calculadas en dos fechas de siembra, usando tres modelos, para el intervalo siembra-panoja.....	44
Tabla 13:	Promedios de unidades térmicas calculadas empleando tres modelos, para el intervalo siembra-emergencia, de 5 híbridos, en dos fechas de siembra.....	45
Tabla 14:	Promedios de unidades térmicas calculadas empleando tres modelos, para el intervalo emergencia-panoja, de 5 híbridos, en dos fechas de siembra.....	46
Tabla 15:	Promedios de unidades térmicas calculadas empleando tres modelos, para el intervalo siembra-panoja, de 5 híbridos, en dos fechas de siembra.....	46
Tabla 16:	Niveles de significación de los cuadrados medios de los ANVAS combinados para las unidades térmicas calculadas en tres intervalos fenológicos, en dos fechas de siembra, empleando tres modelos.....	47
Tabla 17:	Promedios de unidades térmicas en dos fechas de siembra, de cinco híbridos, para tres intervalos fenológicos, calculadas empleando tres modelos.....	47
Tabla 18:	Niveles de significación e los cuadrados medios de los ANVA's efectuados para el rendimiento de cinco híbridos, en cada fecha de siembra.....	49
Tabla 19:	Análisis combinado de los rendimientos para las dos fechas de siembra.....	50
Tabla 20:	Rendimientos (kg ha ⁻¹) de los cinco híbridos en dos fechas de siembra.....	50

Tabla 21: Temperaturas máxima, mínima (°C) y radiación solar (cal cm ⁻² dia ¹).....	51
--	----

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1:	Fases Fenológicas del Maíz (<i>Zea mays</i>).....	10
Figura 2:	Principales zonas productoras de maíz amarillo duro. Año 2007....	21
Figura 3:	Ubicación geográfica de los campos experimentales.....	25
Figura 4:	Temperaturas máximas y mínimas (°C) diarias registradas en la micro estación, durante la evaluación de 05 híbridos de maíz amarillo duro, de la primera siembra, en el fundo Don Germán, Cañete – Lima.....	27
Figura 5:	Variaciones de la radiación solar ($\text{cal}^{-2} \text{ día}^{-1}$) durante la conducción del experimento. Primera siembra, Cañete – Lima.....	27
Figura 6:	Temperaturas máximas y mínimas (°C) diarias registradas en la micro estación, durante la evaluación de 05 híbridos de maíz amarillo duro, de la segunda siembra, en el fundo Don Germán, Cañete – Lima.....	28
Figura 7:	Variaciones de la radiación solar ($\text{cal}^{-2} \text{ día}^{-1}$) durante la conducción del experimento. Segunda siembra, Cañete – Lima.....	29
Figura 8:	Relaciones entre tasa diaria de desarrollo del maíz y las temperaturas nocturnas (mínima) y diurnas (máxima).....	36
Figura 9:	Círculos y líneas segmentadas (escala de la izquierda): aparición de hojas de trigo como función de la temperatura (según Ritchie and NeSmith, 1991). Curva (escala de la izquierda): aparición de hojas de maíz como función de la temperatura (según Tollenaar et al., 1979). Puntos (escala de la derecha): tasa de elongación (mm h^{-1}) de coleóptilos de maíz como una función de la temperatura.....	54

I. INTRODUCCIÓN

El maíz amarillo es uno de los cultivos más importantes de nuestro país, como la papa y el arroz. A pesar de que el maíz amarillo duro es cultivado en gran sector de la costa y selva, su abastecimiento para el consumo nacional es insuficiente, y esto lleva la necesidad de tener que importarlo.

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 o 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 cultivo. El maíz amarillo duro producido en el Perú posee un alto valor proteico y buena concentración de caroteno a diferencia del maíz amarillo duro importado, por lo que es apreciado por las principales empresas dedicadas a la industria avícola, que minimizan el uso de harina de marigold en la alimentación de sus aves para la producción de carne y huevos.

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. 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 desarrollo sustentó la elaboración de los modelos para el cálculo de las sumas térmicas (a través de funciones de ajuste lineal, exponencial 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.

Por ello, en coherencia con la política del Sector Agrario Peruano, que considera orientar las acciones y prioridades para aumentar sosteniblemente la competitividad de la oferta alimentaria nacional, con el enfoque de orientación por la demanda, se ha realizado el presente estudio a fin de evaluar unidades térmicas en el desarrollo de híbridos de maíz amarillo duro en condiciones de la localidad de Cañete.

1.1. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.1.1. OBJETIVO GENERAL

Determinar unidades térmicas para el desarrollo de 5 híbridos de maíz amarillo duro en condiciones de la localidad de Cañete.

1.1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Evaluar el efecto de la temperatura en el desarrollo de 5 híbridos de maíz amarillo duro en condiciones de la localidad de Cañete.
- Evaluar tres modelos de grados días para predecir las fases fenológicas de 5 híbridos de maíz amarillo duro en condiciones de la localidad de Cañete.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. GENERALIDADES

2.1.1. LA PLANTA DE MAÍZ

2.1.1.1. CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS Y TAXONÓMICAS DEL MAÍZ

Wilkes (1979, 1985) mencionó que 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. 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.

Kiesselbach (1949), Purseglove (1972), Fisher y Palmer (1984) describieron que 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 glabras en parte inferior, monoica con flores masculinas en panoja 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.

2.1.1.2. FENOLOGÍA DEL MAÍZ AMARILLO DURO

Ritchie y Hanway (1982) indicaron que en la escala fenológica del ciclo de un cultivo de maíz se puede distinguir dos grandes etapas, la vegetativa y la reproductiva. 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 (R1) y finaliza con la madurez fisiológica de los granos (R6). Las subdivisiones de la etapa reproductiva corresponden a distintos momentos del llenado del grano (Tabla 1).

Tabla 1. Fases Fenológicas del maíz

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	

Fuente: Ritchie y Hanway (1982)

Bewley y Black (1994) refirieron que se entiende por germinación a la serie de procesos que incluyen desde la imbibición o absorción de agua por parte de la semilla, hasta emergencia de la radícula; y por emergencia, a la etapa desde que emerge la radícula hasta la aparición del coleóptilo sobre el suelo.

Rojas y Casas (1987) señalaron que la semilla de maíz está recubierta por una capa externa que se llama pericarpio. La función de esta capa es proteger a la semilla, limitando o impidiendo la entrada de hongos o bacterias. Si el pericarpio resulta dañado, probablemente la germinación se torne más lenta, pues los patógenos pueden utilizar reservas de las semillas.

Kiesselbach (1980) indicó que el sistema radical del maíz consiste de dos sistemas de raíces: (1) raíces seminales cuyo origen está presente en el embrión y (2) raíces adventicias que se originan del tallo después de la germinación. Estos sistemas radicales son llamados temporario y permanente respectivamente, si bien el sistema seminal puede persistir y ser funcional durante toda la vida de la planta.

Ritchie et al (1986) refirieron que el sistema adventicio empieza a desarrollarse cerca de V_E y las primeras raíces empiezan a elongarse a partir del primer nudo durante V_1 . Desde V_1 hasta casi R_3 (después de la cual hay un crecimiento radical limitado), se desarrollan raíces adventicias en cada nudo del tallo hasta un total de 7 a 10 nudos. Dado que la radícula y las raíces seminales laterales comienzan el crecimiento directamente de la semilla, la profundidad a la cual se desarrollan inicialmente dependerá de la profundidad de siembra. El crecimiento de estas raíces, sin embargo, decrece después de V_E y es casi inexistente en el estado V_3 .

Stevens y col. (1986) mencionaron que simultáneamente a los cambios externos descritos por la escala de Ritchie y Hanway, el meristema apical y las yemas axilares también sufren modificaciones. 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 diferenciación de hojas y comienza a diferenciar las espiguillas estaminadas correspondientes a la panoja. A esa altura del desarrollo queda determinado el número de hojas y, por lo tanto, el área foliar potencial que puede alcanzar la planta.

Dwyer y col. (1992) refirieron que 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 los 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.

Fischer y Palmer (1984) mencionaron que 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, 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. 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.

Morrison y col. (1994) indicaron que la elongación de los entrenudos se inicia alrededor de V6 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). El orden de elongación de los entrenudos es acrópeto y normalmente hasta cuatro entrenudos se elongan simultáneamente. 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. Las raíces seminales dejan de crecer antes de V3. A partir de VE se desarrollan raíces nodales y a partir de V18, aparecen raíces en los nudos ubicados por encima de la superficie del suelo.

Bartolini (1990) y Otegui (1992) señalaron que 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.

Ritchie et al (1986), mencionaron que V_T se inicia aproximadamente 2-3 días antes de la emergencia de barbas, tiempo durante el cual la planta de maíz ha alcanzado su altura final y comienza la liberación del polen. El tiempo entre V_T y R_1 puede variar considerablemente en función del cultivar y de las condiciones ambientales.

Bassetti y Westgate (1993 a), Fischer y Palmer (1984) indicaron que 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.

Ritchie et al (1986) refirieron que la etapa R_1 comienza cuando algunas barbas son visibles fuera de las vainas (chala), aproximadamente 66 días después de la emergencia. La polinización ocurre cuando los granos de polen se depositan sobre las barbas. Un grano de polen capturado requiere 24 horas para crecer dentro de la barba hasta el óvulo donde ocurre la fertilización y el óvulo es fecundado. Generalmente se necesitan entre 2 y 3 días para que todas las barbas de una espiga queden expuestas y sean polinizadas. Las barbas van a crecer 2.5-3.8 cm por día y continuarán elongándose hasta ser fertilizadas.

Sadras y col. (1985), Bassetti y Westage (1993 a- b), Cirilo y Andrade (1994) refirieron que 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.

Jhonson y Herrero (1981), Otegui y col. (1995) mencionaron que 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.

Bassetti y Westgate (1993) señalaron que la emergencia de los estigmas es también un proceso progresivo. Los estigmas de una espiga toman de cuatro a ocho días en emerger, en una secuencia que sigue el patrón general de diferenciación y desarrollo de la inflorescencia.

Daynard y Duncan (1969) indicaron que 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”, resultante, esta última, de la necrosis de los haces vasculares que conectan con los tejidos maternos.

Fischer y Palmer (1984) refirieron que el período de llenado del grano involucra 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. La etapa final, de crecimiento no lineal, tiene una duración de una a dos semanas 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. La Figura 1 ilustra las fases fenológicas del maíz.

Figura 1: Fases Fenológicas del Maíz (*Zea mays*)



▲ EMERGENCIA	▲ APARICIÓN DE HOJAS	▲ PANOJA	▲ ESPIGA	▲ MADURACIÓN LECHOSA	▲ MADURACIÓN PASTOSA	▲ MADURACIÓN CÓRNEA
Aparición de las plantitas por encima de la superficie del suelo.	Comienza desde que aparecen las dos primeras hojas, debiéndose anotar como fase "dos hojas", y así sucesivamente de acuerdo al número de hojas que vayan saliendo hasta el inicio de la fase panoja.	Se observa salir la panoja de la hoja superior de la planta, sin ninguna operación manual que separen las hojas que la rodean.	Salida de los estigmas (barba o cabello de choclo), se produce a los ocho o diez días después de la aparición de la panoja.	Se ha formado la mazorca; y los granos al ser presionados presentan un líquido lechoso.	Los granos de la parte central de la mazorca adquieren el color típico del grano maduro. Los granos, al ser presionados, presentan una consistencia pastosa.	Los granos de maíz están duros. La mayoría de las hojas se han vuelto amarillas o se han secado.

Fuente: SENAMHI. 2009

2.1.2. REQUERIMIENTOS CLIMÁTICOS DEL MAÍZ AMARILLO DURO

2.1.2.1. 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.

Ellis y col. (1992) mencionaron que la temperatura óptima para el desarrollo del maíz en las tierras bajas y de media altitud está entre 30° y 34°C, y se considera que para los maíces tropicales de tierras altas está alrededor de 21°C. 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.

Norman y col. (1995) señalaron que 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. 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 en 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.

Squire (1990) indicó que para un cereal C4 como el maíz se estima que el rendimiento máximo será obtenido a una temperatura media de 20° a 22°C. 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 1° o 2°C 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 3° a 6°C superior a la temperatura del aire y si el cierre de los estomas es total, la temperatura de la hoja puede ser hasta 10°C más alta que la temperatura del aire.

La fotosíntesis disminuye a temperaturas de la hoja mayores de 40°C, 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.

Westgate (1994) indicó que 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. 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 la duración de dicho 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.

Muchow (1990) refirió que en un estudio donde la temperatura varió de 25° a 32°C 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.

Paulsen (1994) mencionó que 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 35°C se reduce la duración del período de llenado.

Miedema (1982) señaló que el maíz es un cultivo sensible al frío y sufre daños a temperaturas entre 0° y 10° C si está expuesto a la luz normal, y a temperaturas entre 10° y 15°C 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.

Aloni y Griffith (1991) indicaron que las temperaturas entre 0° y 10°C pueden también resultar en un desarrollo radical anormal y en la pérdida de turgencia.

2.1.2.2. INFLUENCIA DEL FOTOPERIODO

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

Kiniry y col. (1983) refirieron que el fotoperiodo también puede afectar el tiempo requerido por la floración. El maíz es clasificado como una planta cuantitativa de día corto. Hay variabilidad genética para la duración crítica del fotoperiodo por debajo de la cual la fecha de floración no es afectada. La mayoría de los cultivares tropicales son sensibles al fotoperiodo 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 más tempranos y también menos sensibles al fotoperiodo, lo cual les permite completar su ciclo en un tiempo relativamente más corto bajo las condiciones de días largos que caracterizan a los veranos de las zonas templadas.

2.1.2.3. 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.

Pearson y Hall (1984) señalaron que 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, pero también **Hay y Walker (1989)** indicaron que el efecto es menor en cultivos C4 como el maíz, comparado con cultivos C3. 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. 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.

Norman y col. (1995) mencionaron que 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 2). Las tasas máximas de fotosíntesis en el maíz tropical se encuentran entre 30° y 40°C. El efecto de la temperatura sobre la CE en el rango de 20° a 40°C es relativamente pequeño, pero las temperaturas fuera del rango de adaptación del cultivar (por debajo de 15°C o por encima de 44°C para maíz tropical de tierras bajas) también pueden reducir la CE.

Tabla 2. Algunos factores ambientales que afectan la eficiencia de conversión (CE) en el maíz tropical de zonas bajas

Factor	Rango de incremento lineal de CE	Umbral para nivel o declinación	Referencia
Temperatura	20 ° - 40 °C	40 ° - 44°C	Fischer y Palmer (1984), Hay y 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)

Muchow y Sinclair (1994) indicaron que la radiación diaria de onda corta en los trópicos varía de 10 MJ/m²/día en zonas nubosas a 25 MJ/m²/día en zonas semiáridas durante la estación seca. 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.

Fischer y Palmer (1984) y **Tollenaar (1977)** refirieron que la energía solar utilizada por el maíz es la proveniente de longitud de onda entre 0.4 y 0.7 micrones, la llamada radiación visible del espectro. Radiación alta y temperaturas excesivamente altas, pueden causar que la fotosíntesis del estrato superior de hojas cese por el fenómeno de foto

inhibición. La cantidad de radiación potencialmente interceptable en un período fenológico específico está determinada por la radiación incidente diaria, la que a su vez determina la tasa de crecimiento del cultivo, y por la temperatura, que define la duración del período. La cantidad de radiación interceptada en el período crítico de floración, define el número de granos, mientras que aquella interceptada durante el período de llenado de granos, define el peso de mil granos.

2.1.2.4. REQUERIMIENTO DE AGUA

La disponibilidad de agua en cantidades adecuadas al requerimiento de la planta, posibilita que el cultivo pueda desarrollarse adecuadamente y potenciar el rendimiento. La utilización del agua está en función del desarrollo fenológico de la planta y se correlaciona con otras variables muy importantes como lo son 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.

Lafitte y Edmeades (1994) mencionaron que 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 desarrollo:

- 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 pérdidas de 25%, 50% y 21%, respectivamente.

Heisey y Edmeades (1999) indicaron 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.

Lafitte y Edmeades (1994) indicaron que 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.

2.1.2.5. REQUERIMIENTO DE SUELO

Lafitte y Edmeades (1994) mencionaron que el cultivo de maíz se desarrolla bajo diferentes condiciones de suelo. La mayor dificultad de desarrollo del cultivo se encuentra 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 características 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), tienden a presentarse carencias de Fe, Mn y Zn. 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.

2.1.3. EL MAÍZ AMARILLO DURO A NIVEL NACIONAL

2.1.3.1. PRINCIPALES INDICADORES DE LA ACTIVIDAD DE MAÍZ AMARILLO DURO

MINAG - DGIA (2007) indicó que el maíz amarillo duro es el tercer cultivo en importancia a nivel nacional y constituye uno de los principales enlaces de la Cadena Agroalimentaria del país, la cual se inicia con su cultivo y termina en las cadenas e industrias de carne de aves y cerdos respectivamente. Si bien en los últimos diez años la producción nacional de maíz amarillo duro, ha mostrado una tasa de crecimiento de 1.8% promedio anual, es necesario mejorar e incrementar la productividad y competitividad del cultivo, considerando el favorable comportamiento del mercado nacional e internacional para los próximos años. (Figura 2).

2.1.3.2. APOORTE A LA PRODUCCIÓN AGROPECUARIA

MINAG-DGPA (2003) refirió que la participación de la cadena productiva del maíz amarillo duro en el PBI agropecuario es de aproximadamente el 25%, lo cual es un indicador de la importancia que tiene dicha cadena, en las industrias avícola, porcícola y 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 más barata a la mayor parte de la población peruana.

El maíz amarillo duro producido en el Perú posee un alto valor proteico y buena concentración de caroteno a diferencia del maíz amarillo duro importado, por lo que es apreciado por las principales empresas dedicadas a la industria avícola, que minimizan el uso de harina de marigold en la alimentación de sus aves para la producción de carne y huevos.

2.1.3.3. PRODUCCIÓN NACIONAL

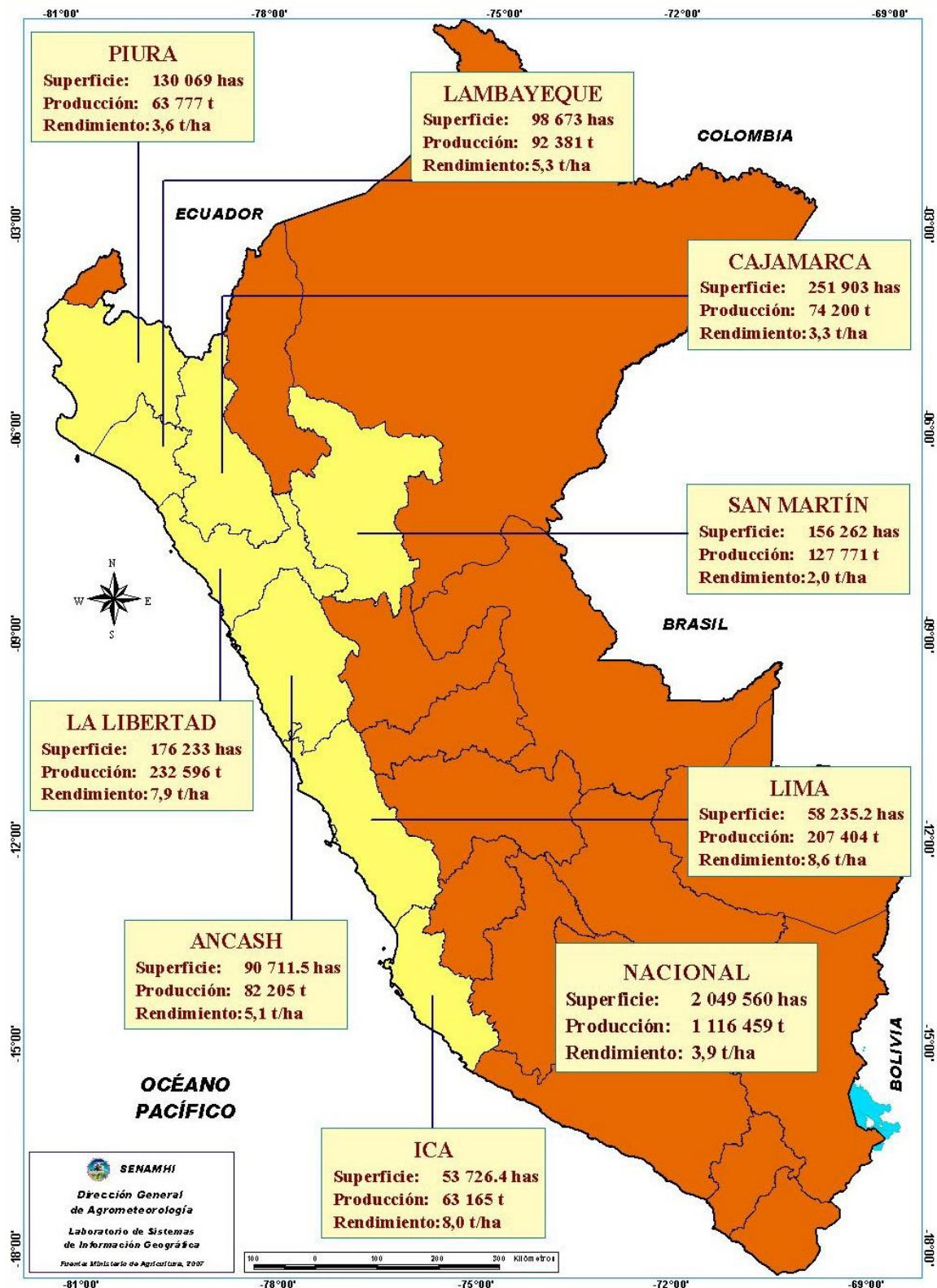
MINAG (2012) señaló que la producción de maíz amarillo ha venido creciendo a una tasa promedio de 1.8% en los últimos nueve años. La superficie cosechada al mes de septiembre del año 2012 fue alrededor de 221 720 hectáreas, existiendo un crecimiento del 8.7% con respecto al mismo periodo del año anterior. La producción de maíz amarillo duro a septiembre del año 2012, es aproximadamente de 996 803 toneladas, los tres principales productores con una participación en la producción son Lima (22.6%), La Libertad (18.2%) y San Martín (10.2%), concentrando el 51% de toda la producción nacional, tal como lo señalado en la Tabla 3.

Tabla 3. Producción y Superficie Cosechada en el Perú

Regiones	Superficie cosechada (ha)			Producción (t)			Part %
	2011	2012	Var %	2011	2012	Var %	
San Martín	44568	49805	11.8	90225	102043	13.1	10.2
Loreto	14312	7998	-44.1	34172	19436	-43.1	1.9
Lima	24200	24231	0.1	218466	225311	3.1	22.6
Huánuco	9859	9773	-0.9	30304	31429	3.7	3.2
Piura	12968	12605	-2.8	55488	45279	-18.4	4.5
Cajamarca	19243	18930	-1.6	56873	58169	2.3	5.8
Ucayali	4874	9042	85.5	11216	19970	78.1	2.0
La Libertad	14706	20976	42.6	122198	181282	48.4	18.2
M. de Dios	3996	4533	13.4	8692	9976	14.8	1.0
Junín	4643	4572	-1.5	12821	12930	0.9	1.3
Amazonas	9927	9904	-0.2	22501	23054	2.5	2.3
Ancash	9233	10854	17.6	47123	55774	18.4	5.6
Ica	8266	8842	7.0	72990	80083	9.7	8.0
Lambayeque	10190	16247	59.4	67527	97301	44.1	9.8
Puno	2308	2390	3.6	3917	4138	5.6	0.4
Pasco	3504	3005	-14.2	5430	4545	-16.3	0.5
Cusco	2780	1705	-38.7	4888	2956	-39.5	0.3
Resto del País	4471	6309	41.1	13398	23127	72.6	2.3
TOTAL	204047	221720	8.7	878229	996803	13.513.5	100

Fuente: MINAG (2012)

Figura 2. Principales zonas productoras de maíz amarillo duro. Año 2007



Fuente: MINAG (2007)

2.2. GRADOS DÍAS DE CRECIMIENTO

Tollenaar y col. (1979) y **Warrington y Kanemasu (1983)** mencionaron que la influencia de la temperatura sobre la duración de las fases fenológicas en maíz fue puesta en manifiesto en 1914 por Lehenbauer con su trabajo “Ley de acción en relación con el efecto de la temperatura sobre el crecimiento en longitud de coleótilos de maíz”. Si bien el tiempo que ocurre hasta alcanzar una determinada etapa de desarrollo no es una función lineal de la temperatura, 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). 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. **Cross y Zuber (1972)**, **Derieux y Bonhomme (1982 a, b)**, **Ritchie y Nesmith (1991)** señalaron que 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 para predecir, con éxito variable, el momento de ocurrencia de distintos sucesos fenológicos en maíz, basados en la acumulación de grados-día.

Neild y Seeley (1987) refirieron que 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. Entre las principales aplicaciones de los GDD figuran:

- 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).

Warrington y Kanemasu (1983) indicaron que 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. 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.

Arnold (1959) señaló que la simple acumulación de temperaturas medias diarias por encima de 10°C (método residual) explica el 98 % de la variabilidad en el desarrollo del cultivo de maíz en Nebraska 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 30°C, igual a 30°C y es uno de los modelos más ampliamente difundidos.

Brown (1978) desarrolló un modelo de sumas térmicas, denominado método Ontario, que asume una relación parabólica entre 10 y 30 °C y lineal entre 4,4 y 10 °C, 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.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. MATERIALES

3.1.1. UBICACIÓN DEL CAMPO EXPERIMENTAL

El trabajo de investigación fue realizado en los terrenos del fundo Don Germán de la Universidad Nacional Agraria La Molina, ubicado en la localidad de Cañete – Lima. Se sembraron 05 híbridos de maíz amarillo duro. Se realizaron las siembras en dos fechas diferentes: la primera siembra se realizó en el mes de noviembre del 2012 y la segunda siembra durante el mes de enero de 2013. La Figura 3 ilustra la localización de los campos experimentales.

Figura 3. Ubicación geográfica de los campos experimentales



Fuente: Google Earth 2012.

3.1.2. CONDICIONES METEREOLÓGICAS EN LA ZONA DE ESTUDIO

La información meteorológica registrada durante la realización del presente trabajo de investigación se obtuvo de la micro - estación Meteorológica ubicada en el Fundo Don Germán- Cañete, de la Universidad Nacional Agraria La Molina.

De acuerdo a la información meteorológica registrada, se puede precisar que para el mes de la primera siembra realizada en el mes de noviembre del 2012, se registraron temperaturas mínimas y máximas de 15.57 °C y 21.22 °C respectivamente.

Durante el mes de enero del 2013 los híbridos en estudio se encontraban en floración masculina con temperaturas mínimas promedio de 18.76 °C y máximas de 25.08 °C. La segunda siembra se realizó durante el mes de enero del 2013, en donde se registró temperaturas mínimas y máximas de 18.76 °C y 25.08 °C, respectivamente. Durante el mes de abril del 2013 los híbridos en estudio se encontraban en floración masculina con temperaturas mínimas de 15.97 °C y máximas de 23.49°C. (Tabla 4 y 5). Las Figuras 4 y 6 ilustran sobre las fluctuaciones de las temperaturas durante la primera y segunda siembra, respectivamente, mientras que las Figuras 5 y 7 ilustran las variaciones de radiación solar durante la primera y segunda conducción del experimento respectivamente.

Tabla 4. Temperaturas mensuales registradas en la micro estación, durante la evaluación de 05 híbridos de maíz amarillo duro, de la primera siembra, en el fundo Don Germán, Cañete - Lima

Año	Mes	Temperatura Máxima (°C)	Temperatura mínima (°C)	Radiación solar (cal² día⁻¹)
2012	Noviembre	21.22	15.57	188.25
	Diciembre	23.06	17.81	197.40
2013	Enero	25.08	18.76	236.02
	Febrero	27.16	20.39	239.96
	Marzo	25.54	18.95	210.20

Fuente: Micro estación Meteorológica – UNALM. Cañete - Lima

Figura 4. Temperaturas máximas y mínimas (°C) diarias registradas en la micro estación, durante la evaluación de 05 híbridos de maíz amarillo duro, de la primera siembra, en el fundo Don Germán, Cañete – Lima

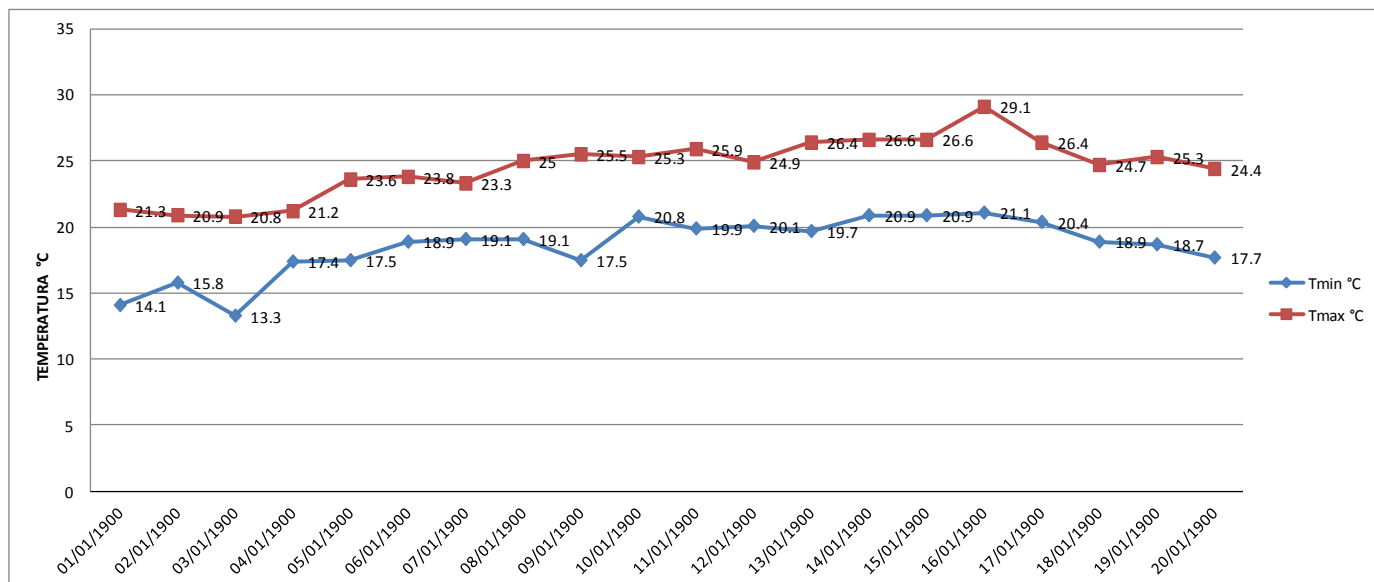


Figura 5. Variaciones de la radiación solar ($\text{cal}^{-2} \text{ día}^{-1}$) durante la conducción del experimento. Primera siembra, Cañete – Lima

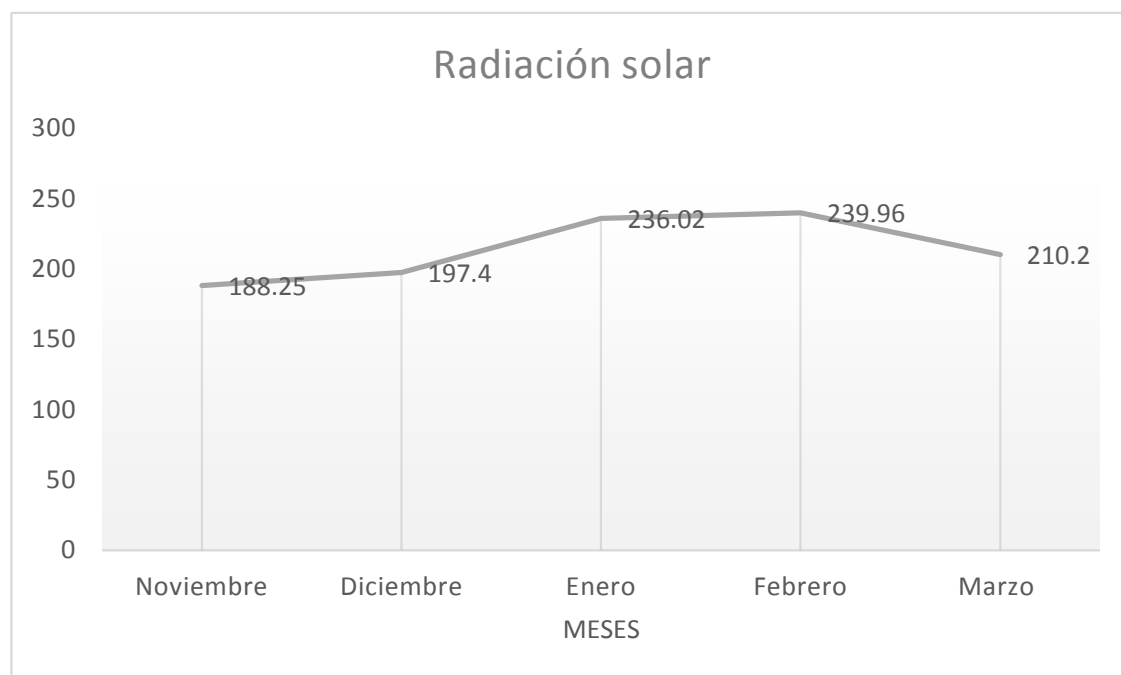


Tabla 5. Temperaturas mensuales registradas en la micro estación, durante la evaluación de 05 híbridos de maíz amarillo duro, de la segunda siembra, en el fundo Don Germán, Cañete – Lima

Año	Mes	Temperatura Máxima (°C)	Temperatura mínima (°C)	Radiación solar (cal ⁻² día ⁻¹)
2013	Enero	25.08	18.76	236.02
	Febrero	27.16	20.39	239.96
	Marzo	25.54	18.95	210.20
	Abril	23.49	15.97	196.50
	Mayo	21.18	15.17	124.15
	Junio	19.29	13.19	99.36

Fuente: Micro estación Meteorológica – UNALM. Cañete – Lima

Figura 6. Temperaturas máximas y mínimas (°C) diarias registradas en la micro estación, durante la evaluación de 05 híbridos de maíz amarillo duro, de la segunda siembra, en el fundo Don Germán, Cañete – Lima

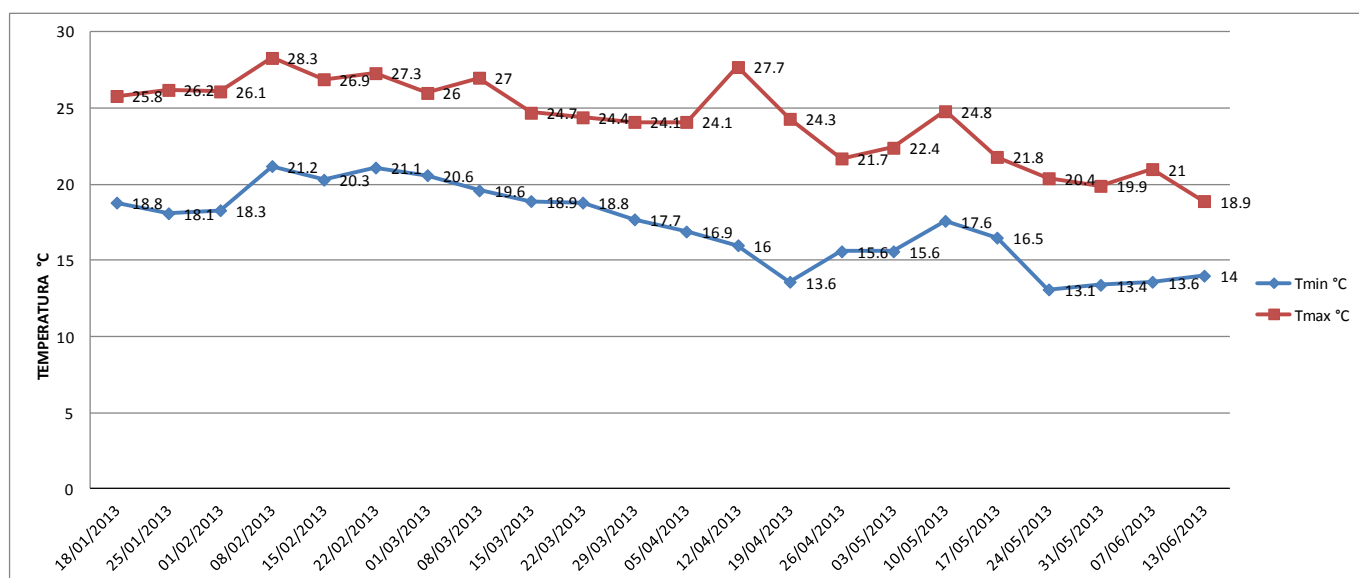
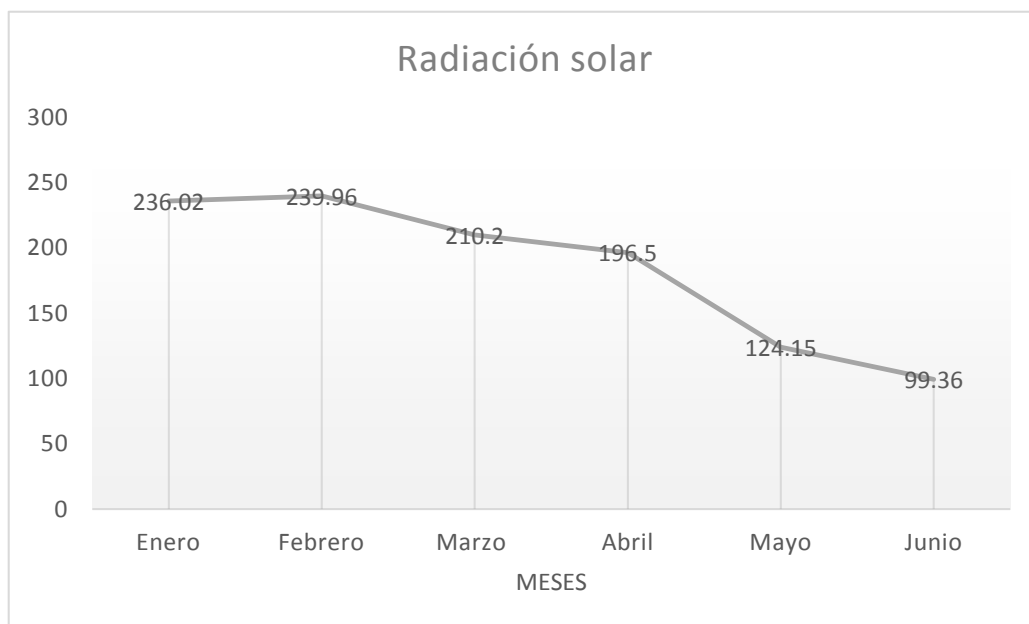


Figura 7. Variaciones de la radiación solar ($\text{cal}^{-2} \text{ día}^{-1}$) durante la conducción del experimento. Segunda siembra, Cañete – Lima



3.1.3. TRATAMIENTOS EN ESTUDIO

Se evaluaron los siguientes cinco híbridos de maíz amarillo duro: NB 7316 (triple), NK 254 (simple), Dekalb 7088 (simple), AG 1596 (simple), y NK Impacto (simple doble haploide).

3.1.4. MATERIALES Y EQUIPOS

Los materiales y equipos experimentales utilizados en la instalación, conducción y evaluación del experimento fueron los siguientes: cordel de siembra, cal, lampa, wincha, bolsas de papel, etiquetas, canastas, costalillos, balanza, bolsas de plástico, libreta de campo, lápiz, cámara fotográfica.

En el laboratorio se utilizó los siguientes equipos: estufa y balanza digital.

3.1.5. ANÁLISIS DE SUELOS

Con respecto a la caracterización del suelo, se tomó en cuenta los resultados del análisis que se realizó en el Laboratorio del Análisis de Suelos, Plantas, Aguas y Fertilizantes de la Universidad Nacional Agraria La Molina, dichos resultados se muestran en las Tablas 6 y 7.

Los resultados de caracterización de la parcela donde se realizó la primera siembra indicaron que son suelos de textura conocida como Franca, ligeramente salino (2.14 dS/m). El pH indica una alcalinidad ligera (7.27). El contenido de materia orgánica es medio (2.15%). El contenido de carbonato de calcio es nulo (0.0%). El contenido de fósforo disponible está a un nivel alto (29.5 ppm). De igual manera el potasio disponible también es alto (422 ppm).

Tabla 6. Análisis de suelo: Caracterización, para la parcela en donde se realizó la primera siembra

Tipo de análisis	Valor	Método de análisis
Físico - Mecánico		
Arena (%)	50	Hidrómetro
Limo (%)	32	Hidrómetro
Arcilla (%)	18	Hidrómetro
Clase Textural	Franca	Triángulo textural

C.E (1:1) (dS/m)	2.14
pH (1:1)	7.27
CaCO ₃ (%)	0.0
P disp (ppm)	29.5
k disp (ppm)	422
M.O (%)	2.15
CIC total	12.80
Cationes Cambiables	
Ca ⁺² (meq/ 100g)	9.13
Mg ⁺² (meq/100g)	1.93
K ⁺ (meq/100g)	1.30
Na ⁺ (meq/100g)	0.44

Fuente: Laboratorio del Análisis de Suelos, Plantas, Aguas y Fertilizantes

Los resultados de caracterización de la parcela donde se realizó la segunda siembra indicaron que son suelos de textura conocida como Franca. El pH indica una alcalinidad ligera (7.14). El contenido de materia orgánica es bajo (1.91%) lo que no indica que la fertilización nitrogenada es trascendental. El contenido de carbonato de calcio es nulo (0.0%). El contenido de fósforo disponible está a un nivel alto (16.3 ppm). De igual manera el potasio disponible también es alto (297 ppm).

Tabla 7. Análisis de suelo: Caracterización, para la parcela en donde se realizó la segunda siembra

Tipo de análisis	Valor	Método de análisis
Físico - Mecánico		
Arena (%)	50	Hidrómetro
Limo (%)	34	Hidrómetro
Arcilla (%)	16	Hidrómetro
Clase Textural	Franca	Triangulo textural

Químico	
C.E (1:1) (dS/m)	6.26
pH (1:1)	7.14
CaCO ₃ (%)	0.0
P disp (ppm)	16.30
k disp (ppm)	297
M.O (%)	1.91
CIC total	12.80
Cationes Cambiables	
Ca ⁺² (meq/ 100g)	9.63
Mg ⁺² (meq/100g)	1.95
K ⁺ (meq/100g)	0.81
Na ⁺ (meq/100g)	0.41

Fuente: Laboratorio del Análisis de Suelos, Plantas, Aguas y Fertilizantes

3.2. METODOLOGÍA

EVALUACIÓN DEL EFECTO DE LA TEMPERATURA EN EL DESARROLLO DEL MAÍZ AMARILLO DURO

Se realizaron 2 siembras de 5 híbridos de maíz amarillo duro de acuerdo a la distribución experimental en el punto 3.3.1.

- La primera siembra se realizó el 13 de noviembre del 2012, días previos a la siembra se realizó la aplicación del insecticida Semevin. La cosecha se realizó el 24 de marzo del 2013, a los 132 días después de la siembra.
- La segunda siembra se realizó en 18 de enero del 2013, días previos a la siembra se realizó la aplicación del insecticida Semevin. La cosecha se realizó el 13 de junio del 2013 a los 147 días después de la siembra.

Para evaluar las unidades térmicas y su efecto en el desarrollo del maíz amarillo duro se utilizó 3 métodos para determinar los Grados Días de Crecimiento:

3.2.1. Método residual modificado (TT₁₀).

Gilmore y Rogers (1958) señalaron que este método asume una temperatura base de 10°C y una temperatura máxima de 30 °C. En el caso de producirse temperaturas máximas superiores a 30 °C, serán asumidas como iguales a 30°C

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

Donde,

TT₁₀ : Valor diario de tiempo térmico.

TM : Temperatura máxima (Si TM > 30°C, TM = 30°C)

Tm : Temperatura mínima.

Tb : Temperatura base (10°C)

3.2.2. Método Ontario.

Brown (1978) refirió que este modelo considera al tiempo térmico como una función cuadrática de la temperatura máxima y una función lineal de la temperatura mínima. La temperatura base se asume como 10°C para la temperatura máxima y 4,4°C para la temperatura mínima.

$$TT = 0,5 (YM + Ym)$$

Donde:

TT : Valor diario de tiempo térmico.

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

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

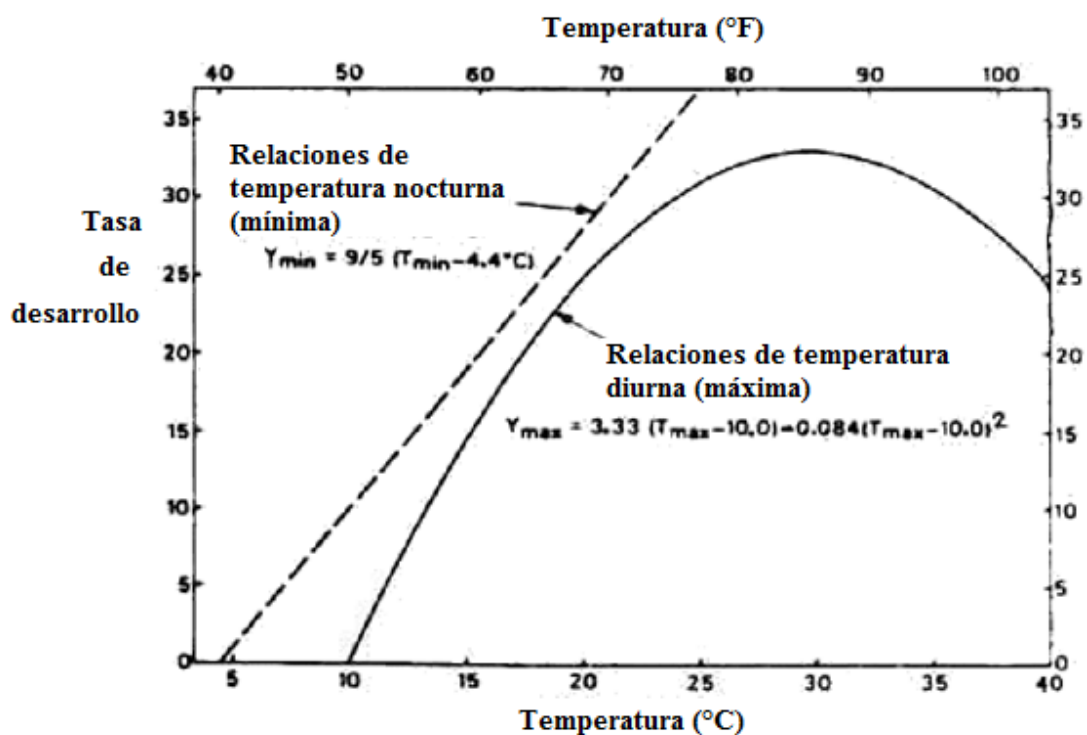
TM : Temperatura máxima.

Tm : Temperatura mínima.

Las Unidades de calor del cultivo diarias se calculan a partir de estas temperaturas mínimas y máximas., realizándose cálculos separados para el día y la noche. La relación diurna utiliza 10 °C como la temperatura de base y 30 ° C como la óptima porque los cultivos de estación cálida no se desarrollan cuando las temperaturas diurnas caen por debajo de 10 ° C y desarrollan más rápido a aproximadamente 30 ° C. La relación nocturna utiliza 4,4 ° C como la temperatura base y no especifica una temperatura óptima ya que las temperaturas mínimas durante la noche rara vez superan los 25 ° C en este método.

La relación nocturna es una línea recta mientras la relación durante el día es una curva que registra mayores unidades de calor del cultivo a 30 ° C que a temperaturas mayores o menores, tal como se observa en la figura 6.

Figura 8. Relaciones entre tasa diaria de desarrollo del maíz y las temperaturas nocturnas (mínima) y diurnas (máxima).



3.2.3. Método Ometto.

Para cada día se calculó el valor de los grados día (GD) usando las siguientes fórmulas; el valor de los grados días de crecimiento (GDD) fueron obtenidos sumando los valores de GD de los sub periodos.

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

Cuando $Tm > Tb$ y $TM < TB$

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

Cuando $Tm < Tb$ y $TM < TB$

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

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.

Jones y col. (1986), Kiniry y Bonhomme (1991), Kiniry (1991) indicaron que se utilizó como temperatura base mínima (Tb) 8°C y **Gilmore y Rogers (1958), Tollenaar (1979), Kiniry y Bonhomme (1991)** señalaron como temperatura base máxima (TB) 34°C.

Además 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 una vez por semana. Las fases consideradas fueron: emergencia, floración masculina (panoja), y para el análisis de la información fenológica se analizó los períodos: siembra a la emergencia, emergencia al panojado y siembra a panojado.

3.3. DISEÑO EXPERIMENTAL

El diseño experimental que se utilizó fue el Diseño de Bloques Completos al azar (DBCA). Se realizó el análisis de varianza, según el modelo lineal aditivo siguiente:

$$Y_{ij} = u + a_i + B_j + E_{ij}$$

Donde:

Y_{ij} : Es la observación de la i-ésimo tratamiento en el j-ésimo bloque.

u : Es la media general del experimento.

a_i : Es el efecto asociado del i-ésimo tratamiento.

B_j : Es el efecto asociado al j-ésimo bloque.

E_{ij} : Variación aleatoria asociada a la parcela del i-ésimo genotipo en el j-ésimo bloque.

Para la comparación de medias se empleó la prueba de Duncan 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 (Tabla 8). Y se realizó los análisis posteriores de cada objetivo planteado en el presente estudio.

Tabla 8: Análisis de Varianza para las observaciones biométricas en cada siembra de los híbridos de maíz en estudio, en el fundo Don Germán de la Universidad Nacional Agraria La Molina, Cañete - Lima

Fuentes de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	ECM
Bloques	Sc de bloques	05	CM de bloques	
Tratamientos	Sc de tratamientos	05	CM de tratamientos	$\sigma^2_e + r \sigma^2_g$
Error	Sc de error	25	CM de error	σ^2_e

3.3.1. DISTRIBUCIÓN EXPERIMENTAL DE LOS HÍBRIDOS DE MAÍZ AMARILLO DURO

En el presente trabajo de investigación se empleó un diseño experimental estadístico de bloques completos al azar (DBCA), con 6 repeticiones.

El croquis de campo para la primera siembra fue el siguiente:

NB 7316 1 101	Dekalb7088 3 102	NKImpacto 5 103	NK 254 2 104	AG 1596 4 105
NK 254 2 205	AG 1596 4 204	Dekalb7088 3 203	NB 7316 1 202	NKImpacto 5 201
AG 1596 4 301	NKImpacto 5 302	NB 7316 1 303	NK 254 2 304	Dekalb7088 3 305
Dekalb7088 3 405	NK 254 2 404	NKImpacto 5 403	AG 1596 4 402	NB 7316 1 401
NB 7316 1 501	Dekalb7088 3 502	NKImpacto 5 503	NK 254 2 504	AG 1596 4 505
AG 1596 4 605	NKImpacto 5 604	NB 7316 1 603	NK 254 2 602	Dekalb7088 3 601

El croquis de campo para la segunda siembra fue el siguiente:

AG 1596 4 101	NK 254 2 102	Dekalb7088 3 103	NKImpacto 5 104	NB 7316 1 105
AG 1596 4 205	NB 7316 1 204	NKImpacto 5 203	NK 254 2 202	Dekalb7088 3 201
NB 7316 1 301	NKImpacto 5 302	AG 1596 4 303	Dekalb7088 3 304	NK 254 2 305
NK 254 2 405	Dekalb7088 3 404	NKImpacto 5 403	NB 7316 1 402	AG 1596 4 401
NB 7316 1 501	AG 1596 4 502	NK 254 2 503	Dekalb7088 3 504	NKImpacto 5 505
AG 1596 4 605	NK 254 2 604	Dekalb7088 3 603	NKImpacto 5 602	NB 7316 1 601

3.3.2. CARACTERÍSTICAS DEL ENSAYO EXPERIMENTAL

3.3.2.1. CARACTERÍSTICA DE LA PARCELA EXPERIMENTAL

- Distancia entre surcos : 0,85 m.
- Distancia entre plantas : 0,40 m.
- N° de golpes por surco : 25
- N° de surcos : 8.
- N° de semillas por golpe : 3
- N° de plantas por golpe : 2
- Longitud : 10.0 m.
- Ancho : 6.8 m.
- Área : 68 m².
- N° de surcos evaluado : 2/ parcela experimental

3.3.2.2. CARACTERÍSTICAS DEL BLOQUE

- N° de parcelas por bloque : 5
- Longitud : 10 m
- Ancho : 34 m
- Área : 340 m².

3.3.2.3. CARACTERÍSTICAS DE CAMPO EXPERIMENTAL

- N° de bloques : 6
- Área experimental neta : 2 040 m².

3.4. EVALUACIONES EN LA CONDUCCIÓN DEL EXPERIMENTO

3.4.1. DÍAS AL 50% DE LA EMERGENCIA

Se contó los días transcurridos desde el momento de la siembra hasta cuando el 50% de la población entró en emergencia. La observación se realizó visualmente en los dos surcos centrales de cada parcela.

3.4.2. 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. La observación se realizó visualmente en los dos surcos centrales de cada parcela.

3.4.3. NÚMERO DE PLANTAS COSECHADAS

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

3.4.4. NÚMERO DE MAZORCAS COSECHADAS

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

3.4.5. PESO DE MAZORCAS EN CAMPO

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

3.4.6. PORCENTAJE DE HUMEDAD DEL GRANO.

Se calculó la humedad del grano utilizando el método de la estufa, el que consistió en secar en la colca las mazorcas de los dos surcos centrales de cada parcela, luego se tomó al azar 10 mazorcas de cada parcela y se desgranó a mano para calcular el porcentaje promedio de desgrane. Inmediatamente después se mezcló los granos de las 10 mazorcas de cada parcela y se tomaron 3 muestras de 50 gramos cada una por cada parcela, que fueron colocadas en la estufa a 103 °C por 17 horas, para calcular el porcentaje de humedad promedio de los granos por parcela. Habiendo determinado el porcentaje de desgrane y conociendo el porcentaje de humedad promedio de los granos, por parcela, se calculó el peso de granos por parcela con el contenido de humedad determinado en la estufa. Luego se calculó el rendimiento en grano con 14% de humedad de los dos surcos centrales, aplicando la siguiente fórmula:

$$PF = ((100-\%HI) / (100- \%HF)) \times PI$$

Donde:

PF : Peso final al 14% de humedad.

HI : % de humedad inicial

HF : % de humedad final.

PI : Peso inicial

Finalmente el rendimiento de grano con 14% de humedad, por parcela, se llevó a rendimiento por hectárea.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. DÍAS CALENDARIO TRANSCURRIDOS

En la Tabla 9 se observa que el número de días calendario promedio entre híbridos, transcurridos desde la siembra al panojado fue mayor en 8.8 días en la segunda siembra, respecto a la primera. Dentro de los híbridos, el más precoz fue NK Impacto con 57 días en promedio de las dos fechas de siembra, seguido de AG-1596 y NB-7316 con 72 y 76.5 días, respectivamente y finalmente NK-254 y Dekalb 7088 con 79 y 80.5 días, respectivamente. Sin embargo, la diferencia en días transcurridos entre la primera fecha de siembra y la segunda no fue constante para todos los híbridos, siendo mayor en Dekalb 7088 con 19 días y menor en NK Impacto, con 4 días.

Tabla 9. Días calendario transcurridos desde la siembra al panojado de cinco híbridos, en dos fechas de siembra

Híbridos	Fecha de siembra 1	Fecha de siembra 2	Promedios	Diferencia
AG-1596	68	76	72	8
NK-254	76	82	79	6
Dekalb 7088	71	90	80.5	19
NK Impacto	55	59	57	4
NB-7316	73	80	76.5	7
Promedios	68.6	77.4	73	

4.2. UNIDADES TÉRMICAS CALCULADAS CON LOS TRES MODELOS

Los datos consignados en las tablas 10, 11 y 12, indican que tanto en la primera fecha de siembra como en la segunda, existen diferencias altamente significativas entre híbridos en cuanto al número de unidades térmicas calculadas empleando cada uno de los tres diferentes modelos, para los tres intervalos fenológicos, excepto en la segunda fecha de siembra donde las diferencias fueron solo significativas.

Tabla 10. Niveles de significación de los cuadrados medios del ANVA para las unidades térmicas calculadas en dos fechas de siembra, usando tres modelos, para el intervalo siembra-emergencia.

Fuentes de Variación	G.L.	PRIMERA FECHA			SEGUNDA FECHA		
		MODELOS					
		TT10	C.H.U	OMETTO	TT10	C.H.U	OMETTO
Bloques	5	**	**	**	*	*	*
Híbridos	4	**	**	**	*	*	*
Error	20						

Tabla 11. Niveles de significación de los cuadrados medios del ANVA para las unidades térmicas calculadas en dos fechas de siembra, usando tres modelos, para el intervalo emergencia-panoja.

Fuentes de Variación	G.L.	PRIMERA FECHA			SEGUNDA FECHA		
		MODELOS					
		TT10	C.H.U	OMETTO	TT10	C.H.U	OMETTO
Bloques	5	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Híbridos	4	**	**	**	**	**	**
Error	20						

Tabla 12. Niveles de significación de los cuadrados medios del ANVA para las unidades térmicas calculadas en dos fechas de siembra, usando tres modelos, para el intervalo siembra-panoja.

Fuentes de Variación	G.L.	PRIMERA FECHA			SEGUNDA FECHA		
		MODELOS					
		TT10	C.H.U	OMETTO	TT10	C.H.U	OMETTO
Bloques	5	NS	NS	NS	*	*	*
Híbridos	4	**	**	**	**	**	**
Error	20						

Los resultados de la prueba de Duncan ($p=.05$) para comparar los promedios de los valores de las unidades térmicas calculadas para cada híbrido, en cada intervalo fenológico, para cada combinación modelo-época de siembra (tablas 13, 14 y 15), indican que dentro de cada intervalo fenológico, dichos valores fueron mayores cuando se calculaban usando el modelo C.H.U. y menores cuando se usaba el modelo TT10, arrojando el modelo OMETTO, valores intermedios. Los valores de unidades térmicas también fueron mayores en la segunda época de siembra, para todos los híbridos. Dentro de cada combinación modelo-época de siembra, para el intervalo fenológico siembra-emergencia (tabla 13), los híbridos AG-1596 y NK-254 fueron los que consistentemente acumularon los mayores valores de unidades térmicas, mientras que el híbrido NK Impacto fue el que acumuló los menores valores. El ranking de los híbridos en cuanto a unidades térmicas acumuladas es similar para los intervalos fenológicos emergencia-panoja y siembra panoja (tablas 14 y 15), pero diferente al del intervalo siembra-emergencia. En la primera fecha de siembra el híbrido NK-254 es el que acumula más unidades térmicas calculadas con los tres modelos, mientras que en la segunda fecha de siembra lo es el híbrido Dekalb 7088. Al igual que en el intervalo siembra-emergencia, el híbrido NK- Impacto es el que acumula menos unidades térmicas.

Tabla 13. Promedios de unidades térmicas calculadas empleando tres modelos, para el intervalo siembra-emergencia, de 5 híbridos, en dos fechas de siembra.

HÍBRIDOS	MODELOS					
	TT10		C.H.U		OMETTO	
	Fecha 1	Fecha 2	Fecha 1	Fecha 2	Fecha 1	Fecha 2
AG-1596	59.483 A*	108.242 A	165.162 A	256.77 A	73.483 A	126.242 A
NK- 254	59.442 A	108.150 A	165.110 A	256.53 A	73.442 A	126.150 A
NB- 7316	50.900 B	96.10 AB	141.350 B	228.31 AB	62.900 B	112.10 AB
Dekalb 7088	50.742 B	108.208 A	141.102 B	256.67 A	62.742 B	126.208 A
NK Impacto	42.017 C	84.133 B	117.106 C	200.01 B	52.017 C	98.133 B

* Dentro de cada columna, los promedios que tienen una letra en común, no son significativamente diferentes entre sí según la prueba de Duncan ($p = .05$)

Tabla 14. Promedios de unidades térmicas calculadas empleando tres modelos, para el intervalo emergencia-panoja, de 5 híbridos, en dos fechas de siembra.

HÍBRIDOS	MODELOS					
	TT10		C.H.U		OMETTO	
	Fecha 1	Fecha 2	Fecha 1	Fecha 2	Fecha 1	Fecha 2
AG-1596	638.917 D*	858.933 C	1618.54 D	1970.52 C	760.92 C	992.93 C
NK- 254	735.633 A	923.700 B	1847.25 A	2130.28 B	893.08 A	1069.70 B
NB- 7316	707.817 B	914.158 B	1785.65 B	2105.69 B	841.82 B	1058.15 B
Dekalb 7088	683.742 C	999.725 A	1728.71 C	2327.96 A	813.74 B	1161.72 A
NK Impacto	501.808 E	692.825 D	1295.88 E	1561.47 D	608.81 D	796.82 D

* Dentro de cada columna, los promedios que tienen una letra en común, no son significativamente diferentes entre sí según la prueba de Duncan ($p = .05$)

Tabla 15. Promedios de unidades térmicas calculadas empleando tres modelos, para el intervalo siembra-panoja, de 5 híbridos, en dos fechas de siembra.

HÍBRIDOS	MODELOS					
	TT10		C.H.U		OMETTO	
	Fecha 1	Fecha 2	Fecha 1	Fecha 2	Fecha 1	Fecha 2
AG-1596	698.40 D*	967.18 C	1783.70 D	2227.29 C	834.40 C	1119.18 C
NK- 254	795.07 A	1031.85 B	2012.36 A	2386.81 B	966.53 A	1195.85 B
NB- 7316	758.71 B	1010.26 B	1927.00 B	2334.00 B	904.72 B	1170.26 B
Dekalb 7088	734.48 C	1107.93 A	1869.81 C	2584.63 A	876.48 B	1287.93 A
NK Impacto	543.82 E	776.96 D	1412.99 E	1761.48 D	653.83 D	894.96 D

* Dentro de cada columna, los promedios que tienen una letra en común, no son significativamente diferentes entre sí según la prueba de Duncan ($p = .05$)

Luego de comprobar la homogeneidad de varianzas empleando la prueba Fmax de Hartley, de las unidades térmicas acumuladas por los híbridos, dentro de cada combinación modelo-intervalo fenológico, se efectuaron los análisis combinados de las dos fechas de siembra, cuyos resultados se resumen en la tabla 16. Para todas las combinaciones modelo, intervalo fenológico, se encontraron diferencias altamente significativas entre fechas de siembra y entre híbridos, así como también para la interacción fechas x híbridos, excepto en el intervalo fenológico siembra-emergencia, en los que no se encontraron diferencias significativas.

Tabla 16. Niveles de significación de los cuadrados medios de los ANVAS combinados para las unidades térmicas calculadas en tres intervalos fenológicos, en dos fechas de siembra, empleando tres modelos.

Fuentes de variación	G.L.	MODELOS								
		TT10			C.H.U.			OMETTO		
		INTERVALOS FENOLOGICOS								
		S – E	E – P	S – P	S – E	E – P	S – P	S – E	E – P	S – P
Fechas (F)	1	**	**	**	**	**	**	**	**	**
Bloques/fechas	10									
Híbridos (H)	4	**	**	**	**	**	**	**	**	**
F x H	4	N.S.	**	**	N.S.	**	**	N.S.	**	**
Error	40									

Tabla 17. Promedios de unidades térmicas en dos fechas de siembra, de cinco híbridos, para tres intervalos fenológicos, calculadas empleando tres modelos.

HÍBRIDOS	INTERVALOS FENOLOGICOS								
	Siembra – emergencia			Emergencia – panoja			Siembra – panoja		
	TT10	C.H.U.	OMETT O	TT10	C.H.U.	OMETT O	TT10	C.H.U.	OMETTO
AG 1596	83.87 A*	210.9 A	99.9 A	748.9 D	1794.5 D	876.9 C	832.8 C	2005.5 C	976.8 C
NK 254	83.80 A	210.8 A	99.8 A	829.7 A	1988.8 B	981.4 A	913.5 A	2199.6 A	1081.2 A
Dekalb 7088	79.50 AB	198.9 AB	94.5 AB	841.7 A	2028.3 A	987.7 A	921.2 A	2227.2 A	1082.2 A
NB 7316	73.50 B	184.8 B	87.5 B	811.0 C	1945.7 C	950.0 B	884.5 B	2130.5 B	1037.5 B
NK Impacto	63.07 C	158.6 C	75.1 C	597.3 E	1428.7 E	699.3 D	660.4 D	1587.2 D	774.4 D
Promedios							842.48	2030	990.42

* Dentro de cada columna, los promedios que tienen una letra en común, no son significativamente diferentes entre sí según la prueba de Duncan ($p = .05$)

En vista que la interacción fechas de siembra x híbridos no fue significativa sólo para el intervalo fenológico siembra emergencia, para los tres modelos evaluados (tabla 16), el ranking de los híbridos en cuanto a las unidades térmicas acumuladas en promedio para las dos fechas de siembra (tabla 17) y las unidades térmicas acumuladas por fechas de siembra, en promedio para los cinco híbridos, sólo es válido para dicho intervalo fenológico. La significancia de dicha interacción en las unidades térmicas evaluadas con los tres modelos en los otros dos intervalos fenológicos, indica que las unidades térmicas calculadas para cada híbrido variaba significativamente en función de la fecha de siembra, por lo cual no podían

evaluarse los efectos promedio, debiendo evaluarse ambas fechas de siembra en forma independiente, en función de los datos consignados en las tablas 13, 14 y 15.

Considerando que la diferencia principal en cuanto a días transcurridos entre siembra y cosecha entre híbridos precoces, medianos y tardíos está en el tiempo entre siembra y panojado, pues la fase reproductiva es relativamente constante, es de importancia comparar los resultados obtenidos en el presente ensayo, en cuanto a unidades térmicas en el intervalo fenológico de siembra a panojado, con los obtenidos en otros ensayos similares. Izarra et al., (2009) calcularon las unidades térmicas acumuladas desde la siembra (20 de Abril del 2008) hasta el panojado (Junio del 2008) de cinco híbridos, sembrados en la UNALM, empleando los mismos modelos que en el presente ensayo. Encontraron que en promedio de los cinco híbridos, las unidades térmicas acumuladas eran mayores con el modelo C.H.U. (2162.2), menores con el modelo TT10 (779.7), e intermedias con el modelo Ometto (977.7), lo cual concuerda con los datos obtenidos en el presente ensayo, tanto en orden, como en magnitud (2030, 842 y 990.4, para los modelos C.H.U., TT10, y Ometto, respectivamente) (ver tabla 17). Esta probable similitud en cuanto a magnitud, indica la probable adecuación de los modelos para predecir la ocurrencia del panojado, pues a pesar de que la siembra en el trabajo de Izarra et al., correspondía a una campaña de invierno, mientras que la nuestra era de verano, los valores de unidades térmicas acumuladas calculadas con los tres modelos son bastante similares.

4.3. RENDIMIENTOS

En la tabla 18 se presentan los resultados de los niveles de significación de los cuadrados medios de los análisis de varianza efectuados para los rendimientos obtenidos en las cosechas para las dos fechas de siembra correspondientes. Dichos resultados indican que se encontraron diferencias altamente significativas entre híbridos dentro de cada fecha de siembra.

Tabla 18. Niveles de significación e los cuadrados medios de los ANVA's efectuados para el rendimiento de cinco híbridos, en cada fecha de siembra.

Fuentes de variación	G.L	Fecha de siembra 1		Fecha de siembra 2	
		C.M.	Nivel de significación	C.M.	Nivel de significación
Bloques	5	4.775	**	2.08	N.S.
Híbridos	4	22.297	**	25.367	**
Error	20	0.422		0.855	
Total	29				

Prueba de homogeneidad de variancias de las dos siembras:

Teniéndose dos fechas de siembra las hipótesis a probar fueron:

$$H_0: \sigma^2_1 = \sigma^2_2$$

$$H_1: \sigma^2_1 \neq \sigma^2_2$$

Denominando S^2_1 y S^2_2 a los cuadrados medios para la primera y segunda siembra, respectivamente, se empleó la prueba de F para evaluar la homogeneidad de variancias, donde:

$F_c = S^2_1 / S^2_2$ y este valor se comparó con el valor tabulado para F con n_1 y n_2 grados de libertad, que corresponden a los grados de libertad del error de la primera y segunda siembra, respectivamente.

Para nuestro caso tenemos que

$$F_c = 0.422 / 0.855 = 0.493$$

El valor de F_t con $n_1 = 20$ y $n_2 = 20$ grados de libertad es 1.793 con $p = 0.05$

Como F_c es menor que F_t se acepta la hipótesis nula; se concluye que las variancias son homogéneas y se procedió a efectuar el análisis combinado de las dos fechas de siembra, cuyos resultados se muestran en la tabla 19. Dichos resultados indican que existen diferencias altamente significativas entre fechas de siembra, y entre híbridos, así como también una alta significancia en la interacción híbridos por fechas de siembra. La significancia de la interacción indica que existe una respuesta diferente entre híbridos dentro de cada fecha de siembra o que el ranking de los mismos varía según la fecha de siembra. También indica que la diferencia en el rendimiento entre fechas de siembra, varía según el híbrido. Por todo ello, no se

puede concluir en términos de efectos principales ni de híbridos, ni de épocas de siembra, que representan las diferencias entre los rendimientos de cada híbrido en promedio de las dos fechas de siembra o de la diferencia entre los rendimientos de las dos fechas de siembra en promedio para cada uno de los cinco híbridos. Por ello, cada fecha de siembra se analizó como un experimento independiente, consignándose los resultados de las pruebas de Duncan ($p=.05$) en la tabla 20.

Tabla 19. Análisis combinado de los rendimientos para las dos fechas de siembra

Fuentes	G.L	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F calculado	P valor
Híbridos (H)	4	175.271	43.817	68.62	<.0001
Fechas (F)	1	159.772	159.772	250.2	<.0001
Rep/ Fechas	10	34.421	3.442	5.39	<.0001
H x F	4	15.390	3.847	6.03	<.0001
Error	40	25.542	0.638		
Total	59	410.399			

Tabla 20. Rendimientos (kg ha⁻¹) de los cinco híbridos en dos fechas de siembra

Híbridos	Fecha de siembra 1	Fecha de siembra 2	Diferencias
AG-1596	12,165 A	15,573 A	3408
Dekalb 7088	9,498 B	11,132 C	1634
NB-7316	9,283 B	13,516 B	4233
NK-254	7,945 C	10,637 C	2692
NK Impacto	7,101 D	11,453 C	4352
PROMEDIOS	9,198.4	12,462.2	3263.8

* Dentro de cada columna, los promedios que tienen una letra en común, no son significativamente diferentes entre sí según la prueba de Duncan ($p = .05$)

Los resultados de la tabla 20 indican que el híbrido AG-1596 fue el que produjo los más altos rendimientos en las dos fechas de siembra, mientras que los híbridos NK Impacto y NK-254 fueron los que produjeron los menores rendimientos. En la primera fecha de siembra no existieron diferencias significativas entre los rendimientos de los híbridos Dekalb 7088 y NB-7316, mientras que en la segunda fecha de siembra el rendimiento del híbrido NB-7316 fue significativamente superior al de Dekalb 7088. También se observa que los rendimientos de todos los híbridos fueron superiores en la segunda fecha de siembra, lo cual indica que las condiciones ambientales imperantes durante la segunda fecha de siembra fueron más favorables que aquellas de la primera fecha de siembra, para todos los híbridos. Sin embargo dichas condiciones favorables no influyeron en la misma magnitud a todos los híbridos, tal como se observa en los datos de la tabla 20 en la columna de diferencias. La segunda fecha de siembra favoreció más a los híbridos NK Impacto, NB 7316 y AG-1596, quienes tuvieron incrementos de 4352 kg ha⁻¹, 4233 kg ha⁻¹ y 3408 kg ha⁻¹ en sus rendimientos, respectivamente y, en menor magnitud, a los híbridos Nk-254 y Dekalb 7088. Esta diferencia en la magnitud de la respuesta diferencial de los rendimientos de los híbridos, a los cambios en el ambiente, explica en gran parte la significancia de la interacción híbridos x fechas de siembra, aunque también es explicada en menor proporción por la diferencia en el orden de mérito entre los híbridos Dekalb 7088 y NB-7316 en las dos fechas de siembra.

Tabla 21. Temperaturas máxima, mínima (°C) y radiación solar (cal cm⁻² día⁻¹)

Año	Mes	Temperatura máxima		Temperatura mínima		Radiación solar (cal cm ⁻² día ⁻¹)	
		Fecha de siembra 1	Fecha de siembra 2	Fecha de siembra 1	Fecha de siembra 2	Fecha de siembra 1	Fecha de siembra 2
2012	Noviembre	21.22		15.57		188.25	
	Diciembre	23.06		17.81		197.40	
2013	Enero	25.08	25.08	18.76	18.76	236.02	236.02
	Febrero	27.16	27.16	20.39	20.39	239.96	239.96
	Marzo	25.54	25.54	18.95	18.95	210.20	210.20
	Abril		23.49		15.97		196.50
	Mayo		21.18		15.17		124.15
	Junio		19.29		13.19		99.36
PROMEDIOS		24.41	23.62	18.29	17.07	214.36	184.36

Ellis y col. (1992) mencionaron que la temperatura óptima para el desarrollo del maíz en las tierras bajas y de media altitud está entre 30° y 34°C, y se considera que para los maíces tropicales de tierras altas está alrededor de 21°C. Squire (1990) indicó que para un cereal C4 como el maíz se estima que el rendimiento máximo será obtenido a una temperatura media de 20° a 22°C. 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. Las temperaturas medias (máxima + mínima)/2, en la primera y en la segunda siembra fueron 21.35°C y 20.34 °C, respectivamente (Tabla 21), las cuales están dentro del rango estimado por Squire (1990) para un rendimiento máximo (20-22°C) mientras que la temperatura mínima promedio fue más baja en la segunda fecha de siembra, en comparación con la primera (17.07 °C versus 18.29 °C, respectivamente). Para el caso de plantas C4 como el maíz, la fotosíntesis neta resulta de la diferencia entre fotosíntesis bruta y la respiración. Por lo tanto, a igualdad de tasa fotosintética en las dos fechas de siembra, por la semejanza en cuanto a temperaturas medias, el mayor rendimiento promedio obtenido en la segunda fecha de siembra es probable que se deba a la menor respiración, producto de una menor temperatura nocturna, sumada al mayor número de días calendario transcurridos entre siembra y cosecha (147 días, versus 132 días en la primera siembra) Duncan (1975), Peters y col (1971).

El impacto práctico de la utilización de las sumas de grado día es considerable (**Ritchie y NeSmith, 1991**). Algunos de sus usos son:

- Estimación de la madurez de cosecha (**Gilmore y Rogers, 1958**, para el maíz).

Muchas compañías productoras de semilla comercial solicitan la categorización de sus híbridos de maíz en términos de madurez sobre las bases de unidades térmicas así como también días calendario, lo cual constituye una expresión de su disconformidad de la categorización basada sólo en términos de días calendario. La desventaja de usar la categorización por madurez sólo en términos de días calendario se hace obvia cuando se siembran genotipos en varias condiciones variables de medioambiente. En

algunos casos el mismo híbrido puede consignarse en dos clases de madurez diferentes cuando se siembran en dos localidades diferentes (**Cross y Zuber, 1972**).

- Planificar la cosecha de verduras de acuerdo a su nivel de ternura (**Katz, 1946**, para los frijoles).

La cada vez creciente industria hortícola ha sido muy consciente del problema de predecir la madurez debido a la necesidad crítica de tener disponible equipo para la cosecha y mano de obra cuando el cultivo alcanza su máxima calidad que tiene un periodo corto de vida. Por ello los productores y envasadores de arvejas, vainita, maíz dulce y varios cultivos de frutales han usado diferentes métodos para predecir las fechas de cosecha. Los métodos más comúnmente usados están basados en las unidades térmicas acumuladas (**Cross y Zuber, 1972**).

- Clasificar las plantas por su tasa de floración o la duración del ciclo (**Derieux y Bonhomme, 1982a, b**) y en el fitomejoramiento

Si bien los productores de maíz dentado amarillo, por lo general no están interesados en conocer la fecha exacta de madurez de sus híbridos, si necesitan tener una idea general de la madurez de un híbrido en particular. Esto es especialmente cierto en áreas donde existe un periodo corto de crecimiento, y para programas de manejo que se basan en calendarios de siembra y de cosecha. Los fitomejoradores están interesados en el etiquetado de los nuevos híbridos desarrollados, con el mejor estimado posible de su madurez relativa. Los agricultores a su vez desean escoger un híbrido con la madurez correcta que encaje dentro de un medioambiente determinado. Cuanto más exacta sea la información que obtenga el agricultor en relación con la categorización por madurez más fácil será su trabajo para escoger el mejor híbrido que se ajuste a su condición particular. Otro problema en relación a las fechas de floración ocurre cuando el fitomejorador trata de planificar sus siembras de modo tal que las dos líneas que él desea cruzar floreen simultáneamente.

Aun así, esta profusión de obras que utilizan unidades grados día a veces da lugar a que se olviden las bases del método: la linealidad entre la tasa de crecimiento y la temperatura, la relación inequívoca entre la tasa de crecimiento y la temperatura, la calidad de representación obvia de temperatura tomada como referencia en relación con el fenómeno estudiado y la ausencia de cualquier otro factor que limita el desarrollo.

En cuanto a la linealidad entre la tasa de crecimiento y temperatura se muestra en la Figura 9, que la tasa de desarrollo puede considerarse como linealmente proporcional a la temperatura por sólo un corto rango de variación de la temperatura.

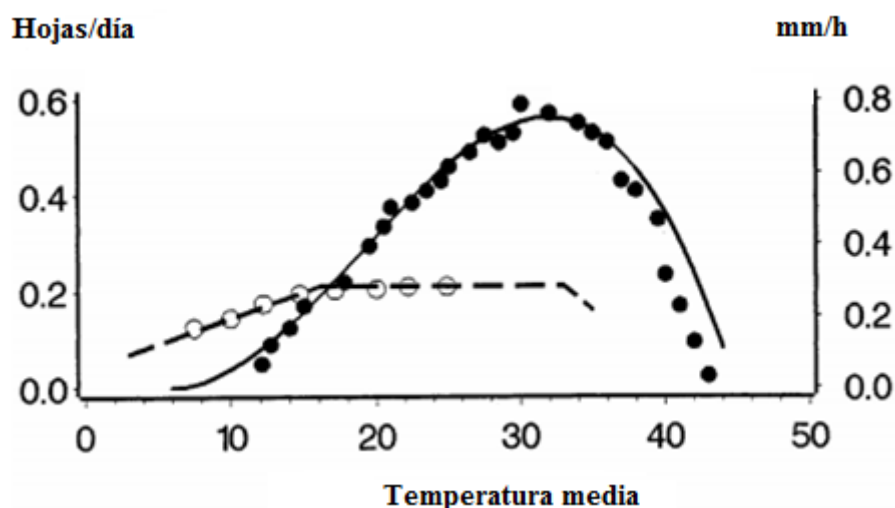


Figura 9. Círculos y líneas segmentadas (escala de la izquierda): aparición de hojas de trigo como función de la temperatura (según Ritchie and NeSmith, 1991). Curva (escala de la izquierda): aparición de hojas de maíz como función de la temperatura (según Tollenaar et al., 1979). Puntos (escala de la derecha): tasa de elongación (mm h^{-1}) de coleótilos de maíz como una función de la temperatura.

V. CONCLUSIONES

Para las condiciones en las cuales se desarrolló el presente trabajo experimental y en función de los resultados obtenidos podemos concluir:

1. En promedio de los cinco híbridos, el número de días transcurridos desde la siembra al panojado, entre la primera y segunda fecha de siembra, fue de 73 días, siendo mayor en 9 días, en la segunda fecha de siembra.
2. El híbrido NK Impacto fue el más precoz en ambas fechas de siembra.
3. Dentro de cada intervalo fenológico, los valores de unidades térmicas fueron mayores cuando se calculaban usando el modelo C.H.U. y menores cuando se usaba el modelo TT10, arrojando el modelo OMETTO, valores intermedios.
4. Dentro de cada modelo, existen diferencias entre los híbridos en cuanto a las unidades térmicas calculadas, independientemente de la fecha de siembra y el intervalo fenológico.
5. Para ningún híbrido existe concordancia en las unidades térmicas calculadas para las dos fechas de siembra en ninguno de los modelos evaluados.
6. El promedio de rendimiento de los cinco híbridos fue mayor en la segunda fecha de siembra.
7. El híbrido que produjo los más altos rendimientos en ambas fechas de siembra fue AG-1596 (15.753 ton ha⁻¹ en promedio), mientras que los que produjeron los menores rendimientos fueron NK-254 y NK Impacto (9.291 y 9.277 ton ha⁻¹, respectivamente).

VI. RECOMENDACIONES

1. Cultivar el híbrido AG1596 por ofrecer un buen rendimiento en la localidad en la que se desarrolló el experimento.
2. Evaluar nuevos híbridos de maíz amarillo duro, debido a que la zona es principalmente productora de maíz.
3. Realizar el estudio de unidades térmicas en el desarrollo de otros cultivos.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Aloni, R.; Griffith, M. 1991. Xylem in the Root: Shoot Junction of Cereals. *Planta*, 184: 123-129.
2. 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.
3. 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.
4. Bartolini, R.1990. *El Maíz*. AgrogúíasMundi-Prensa. Ed. Mundi-Prensa. Madrid, 280 págs.
5. Bassetti, P.; M. E. Westage. 1993 a. Senescence and receptivity of maize silks. *Crop Sci.* 33:275-278.
6. Bassetti, P.; M. E. Westage. 1993 b. Emergence, elongation, and senescence of maize silks. *Crop Sci.* 33:271-275.
7. Bewley, J.D.; Black, M. 1994. Seeds: germination, structure and composition. In *Seeds: physiology of development and germination*. 2. ed. New York, Plenum.p. 1-3.
8. Bolaños, J.; 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.
9. Brown, D.M. 1978. Heat units for corn in Southern Ontario, Ontario Ministry of agriculture and Food, Canada, Fact sheet AGDEX 111/31, Order N° 75-077.
10. Cirilo, A.G.; F. H. Andrade, 1994. Sowing date and maize productivity. II: Kernel number determination. *Crop Sci.* 34: 1044-1046.
11. Cross, H.Z.; Zuber, M.S. 1972. Prediction of flowering dates in maize based on different methods of estimating thermal units. *Agronomy Journal.* 64, 4: .351-355.
12. Daynard, T.B.; Duncan, W.G. 1969. The black layer and grain maturity in corn. *Crop Sci.* 9:473-476.

13. Derieux, M.; R. Bonhomme. 1982 a. Heat unit requirements for maize hybrids in Europe. Results of the European FAO sub-network. I. Sowing-silking period. *Maydica* 27:59-77.
14. Derieux, M.; R. Bonhomme. 1982 b. 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.
15. Duncan, W.G. (1975). Maize. In: *Crop Physiology*. Evans L.T. (Ed.) Cambridge University Press. Pag. 23-80.
16. Dwyer, L. M., D.W.Stewart, R.I. Hamilton; L. Houwing. 1992. Ear position and vertical distribution of leaf area in corn. *Agronomy Journal*, 84:430-438.
17. 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.
18. Fischer, K.S.; 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 and Sons.
19. Gilmore, E.; Rogers, J. 1958. Heat units as a method of measuring maturity in corn. *Agronomy Journal*, 50(5): 611-615.
20. Google Earth. 2012. Fundo Don Germán (en línea). Consultado 28 de Julio 2014. Disponible en <http://www.earth.google.com>.
21. Hay, R.K.M.; Walker, A.J. 1989. *An Introduction to the Physiology of Crop Yield*. Essex, UK, Longman Scientific and Technical.
22. Heisey, P. W.; 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.
23. Johnson, R.R.; M.P. Herrero. 1981. Corn Pollination under moisture and high Temperature Stress. En : H.D. Loden; D. Wilkinson (eds.). *Proceedings 36th. Ann. Corn and Sorghum Industry. Conf. Chicago, Illinois. 9-11 dec. American Seed Trad. Ass., Washington, D.C., USA*.
24. Jones, C.A., J.T.Ritchie, J.R. Kiniry; 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.
25. Kiesselbach, T.A. 1980. *The structure and reproduction of corn*. 93 p.

26. 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.
27. Kiniry, J.; R.; R. Bonhomme. 1991. Predicting maize phenology. En: T. Hodges (ed.). Predicting crop phenology. CRC Press. Boca Raton, Ann Arbor. Boston. Págs. 115-131.
28. Kiniry, J.R., Ritchie, J.T.; Musser, R.L. 1983. Dynamic nature of the photoperiod response in maize. Agron J., 75: 700-703.
29. Kiesselbach TA. 1949. The structure and reproduction of corn. University of Nebraska. Collection of Agricultural and Experimental State Results. Bulletin 161, 1-96.
30. Lafitte, H.R.; 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.
31. Miedema, P. 1982. The effects of low temperature on zea mays. Adv. Agron. 35: 93-129.
32. Ministerio de Agricultura. 2003. Plan estratégico de la cadena productiva del maíz amarillo duro, avícola y porcícola. Lima. Perú. 108 págs.
33. Ministerio de Agricultura. 2007. Dirección General de Información Agraria. Estadística Agraria Mensual-Diciembre. Lima. Perú.
34. Ministerio de Agricultura. 2012. Principales aspectos de la cadena agro productiva del maíz amarillo duro. Lima. Perú.
35. Morrison, J. A., J. R. Kessler; D.R. Buxton. 1994. Maize internode elongation patterns. Crop Sci. 34:1055-1060.
36. Muchow, R.C. 1990. Effect of high temperature on grain-growth in field-grown maize. Field Crops Res., 23: 145-158.
37. Muchow, R.C.; Sinclair, T.R. 1994. Nitrogen response of photosynthesis and canopy radiation use efficiency in field-grown maize and sorghum. Crop Sci., 34: 721-727.
38. Neild, R.; M.W. Seeley. 1987. Applications of growing degree days in field corn production. In: Agrometeorology of the maize crop. WMO N° 481. p. 426-436. Geneva, Switzerland.
39. Norman, M.J.T., Pearson, C.J.; Searle, P.G.E. 1995. The Ecology of Tropical Food Crops. New York, NY, USA, Cambridge University Press. 430 pp.

40. 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 de Plata. Balcarce, Buenos Aires, Argentina. 93 págs.
41. Otegui, M. E., F.H. Andrade; E.E. Suero. 1995. Growth, water use, and kernel abortion of maize subjected to drought at silking. *Field Crops Research*, 40:87-94.
42. 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.
43. 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.
44. Peters, D.B.; Pendleton, J.W.; Hageman, R.H.; Brown, C.M. (1971). Effect of Night Air Temperature on Grain Yield of Corn, Wheat and Soybeans. *Agron. J.* 63, 809.
45. Purselove, J.W. 1972. *Tropical Crops: monocotyledons*, Vol. 1. Londres, Longman Group Limited. 334 p.
46. Ritchie, J. T.; J.J. Hanway. 1982. How a corn plant develops. Iowa State University of Science and Technology. Cooperative Extension Service Ames, Iowa. Special Report N° 48.
47. Ritchie, S.W.; Hanway, J.J.; Benson, G.O. 1986. How a corn plant develops. Ames, Iowa State University. Special report. 48. 21 p.
48. Ritchie, T.; D.S. Nesmith. 1991. Temperature and crop development. En: J. Hanks; J. T. Ritchie (eds.). *Modeling plant and soil systems*. ASA-CSSA-SSSA. Madison, Wisconsin. *Agronomy Monograph*, 31:5-29.
49. Rojas, A.L.; Casas, G.A. 1987. Desarrollo de la planta y ciclo del cultivo, In Argentina. Comisión de Maíz. AACREA-Cargill. Cuaderno de Actualización Técnica 42: 13-20.
50. 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.
51. Squire, G.R. 1990. *The Physiology of Tropical Crop Production*. Oxon, UK, CAB International. 236 pp.
52. SERVICIO NACIONAL DE METEOROLOGÍA E HIDROLOGÍA- SENAMHI. 2009. Manual de Observaciones Fenológicas. Lima- Perú. Pag 41.

53. Stevens, S.J., E.J. Stevens, K.W.Lee, A.D. Flowerday; C.O. Gardner. 1986. Organogenesis of the staminate and pistillate inflorescences of pop and dent corns: relationship to leaf stages. *Crop Sci.* 26:712-718.
54. Tollenaar, M. 1977. Sink source relationship during reproductive development in maize: a review. *Maydica* 22(2):49-75.
55. Tollenaar, M.; Daynard, T.; Hunter, R. 1979. Effect of temperature on rate of leaf appearance and flowering date in maize. *Crop Sci.* v.19, n.1, p.363- 366.
56. Wang, J. A. 1960. Critique of the heat unit approach to plant response studies. *Ecology*, Brookling, v.41, n.4, p.785-790.
57. 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: 749-754.
58. 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.
59. 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.
60. Wilkes, H.G. 1985. Teosinte: the closest relative of maize revisited. *Maydica*, 209-223.