

## COEFICIENTES GENÉTICOS DE DOS CULTIVARES DE MAÍZ, AZUERO - PANAMÁ<sup>1</sup>

*Ana Elida Sáez-Cigarruista<sup>2</sup>; Román Gordón-Mendoza<sup>3</sup>; Jorge Iván Núñez-Cano<sup>4</sup>;  
Jorge Enrique Jaén-Villarreal<sup>3</sup>; Jorge Enrique Franco-Barrera<sup>3</sup>;  
Francisco Ramos-Manzané<sup>4</sup>; Aurisbel Ávila-Guevara<sup>4</sup>*

### RESUMEN

Esta investigación se realizó en la Estación Experimental del IDIAP en El Ejido, Los Santos. Se utilizó la variedad IDIAP-MV-1102 y el híbrido P-4226. La unidad experimental consistió de 15 hileras de 10 m de largo separadas a 0,75 m entre ellas y 0,20 m entre plantas. Se establecieron dos fechas de siembra agosto y octubre. Se evaluó el desarrollo de la etapa vegetativa y reproductiva de 15 plantas de cada cultivar por fecha de siembra. Se definió el tiempo termal exacto en que ocurre cada una de las etapas fenológicas. La determinación del periodo juvenil se realizó a través de muestreo destructivo a partir de la tercera hoja. La edad cronológica del cultivo al final del ciclo productivo fue de 118 días después de siembra (dds) equivalente a 2011,80° Cd, donde el periodo vegetativo culminó con 20 hojas expandidas en la variedad e híbrido, con una acumulación máxima de unidades de calor de 889,43°Cd. En la evolución de granos el híbrido presentó una ganancia de peso de 0,12 g.día<sup>-1</sup> y la variedad 0,11 g.día<sup>-1</sup>. El IDIAP-MV-1102 durante el periodo vegetativo utilizó 890 ± 9,87° Cd y para el periodo reproductivo utilizó 1926±17,39° Cd. La finalización del periodo juvenil se dio a los 25 días después de siembra (dds) y la madurez fisiológica a los 112 dds. El P-4226 finalizó el periodo juvenil a los 24 dds y la madurez fisiológica a los 104 dds, con un tiempo termal de 889 ± 9,17° Cd en el periodo vegetativo y en el reproductivo de 1755 ± 2574° Cd.

**Palabras claves:** cambio climático, simulación, tiempo termal, etapa vegetativa, etapa reproductiva.

<sup>1</sup> Recepción: 21 de septiembre de 2017. Aceptación: 3 de diciembre de 2018. Trabajo financiado por el Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá. Programa: Investigación e Innovación para la Competitividad del Agro negocio.

<sup>2</sup> Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá (IDIAP). Centro de Investigación Agropecuaria de Azuero (CIAA). Ing. Agrónomo en Cultivos Tropicales. e-mail: [ansacig@gmail.com](mailto:ansacig@gmail.com)

<sup>3</sup> Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá (IDIAP). CIAA. M.Sc. en Protección de Cultivos.

<sup>4</sup> Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá (IDIAP). CIAA. Ing. Agrónomo.



## GENETIC COEFFICIENTS OF TWO CULTIVARS OF CORNS, AZUERO - PANAMA

### ABSTRACT

This research was conducted at IDIAP's Research Station at El Ejido, Los Santos Province. IDIAP-MV-1102 variety and P-4226 hybrid were tested. The experimental unit consisted of 15 10 meters' rows separated 0,75 m with 0,20 m between plants. Two planting dates were established, in August and October. Vegetative and reproductive stages of 15 plants for each cultivar were evaluated by sowing date. Development of vegetative and reproductive stages of 15 plants for each cultivar were evaluated by sowing date. Exact thermal time for each phenological stage was defined. Juvenile stage was determined through destructive sampling from the third leaf. By the end of productive cycle, chronological age of crop was 118 days after sowing (das), equivalent to 2011,80° Cd, with vegetative period ending with 20 expanded leaves for both the variety and hybrid, and maximum heat unit's accumulation of 889,43° Cd. During grain evolution, hybrid and variety obtained weight gains of 0,12 and 0,11 g/day, respectively. During vegetative and reproductive periods, IDIAP-MV-1102 used  $890 \pm 9,87^\circ$  Cd and  $1926 \pm 17,39^\circ$  Cd. End of juvenile and physiological maturity periods occurred at 25 and 112 das. Juvenile period of P-4226 ended at 24 das and physiological maturity at 104 das, with a thermal time during vegetative and reproductive periods of  $889 \pm 9,17^\circ$  Cd and  $1755 \pm 2574^\circ$  Cd, respectively.

**Key words:** climate change, simulation, thermal time, vegetative stage, reproductive stage.

### INTRODUCCIÓN

El problema del cambio climático es uno de los más serios que le ha tocado enfrentar a la humanidad y que ella misma ha generado, poniendo en riesgo la vida entera del Planeta. Entre los efectos de estos cambios se habla de un aumento de la temperatura planetaria, propiciando el derretimiento del casco polar y por consiguiente un aumento del nivel de mar que afectará las tierras bajas e insulares. También se prevé una mayor y menor precipitación, provocada por eventos extremos como huracanes en ciertas temporadas y sequías en otros periodos. Basados en modelos de simulación climáticos el Panel de Expertos de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (IPCC) han estimado que dada la tendencia actual de emisiones de gases efecto invernadero a la atmósfera, la temperatura media del planeta podría alcanzar de 4° a 5° Cd más que la temperatura actual. Para la vertiente del Pacífico de Centroamérica uno de los aspectos más relevantes

que se pueden observar en la mayoría de estos escenarios de cambio climático es la importante reducción que sucede en la precipitación (Corrales 2010).

La agricultura es extremadamente vulnerable al cambio climático. El aumento de las temperaturas termina por reducir la producción de los cultivos deseados, a la vez que provoca la proliferación de malas hierbas y plagas. Los cambios en los regímenes de lluvias aumentan las probabilidades de fracaso de las cosechas a corto plazo y de reducción de la producción a largo plazo. Aunque algunos cultivos en ciertas regiones del mundo puedan beneficiarse, en general, se espera que los impactos del cambio climático sean negativos para la agricultura, amenazando la seguridad alimentaria mundial. Probablemente las más afectadas sean las poblaciones de los países en vías de desarrollo, desde ya vulnerables y presas de la inseguridad alimentaria (Nelson *et al.* 2009).

En Panamá, el cambio climático en la agricultura se ha notado durante las últimas dos décadas, por sufrir eventos que han afectado seriamente su desempeño. Por ejemplo, en 1997 la producción fue afectada por el fenómeno del niño y un año más tarde por lluvias intensas y continuas que ocasionaron fuertes inundaciones que afectaron de manera negativa a la producción, especialmente en las áreas rurales cercanas a ríos (fenómeno de la niña) (Mora *et al.* 2010). Esta es una situación alarmante ya que el 90% de su población depende de la agricultura y la ganadería.

Un modelo de simulación de cultivo es cualquier algoritmo que trata de describir de modo cuantitativo la respuesta del sistema de cultivo a su entorno (Campbell *et al.* 1994); la idea inicial de los modelos de crecimiento de los cultivos parte de la necesidad de integrar los conocimientos de suelo, clima, cultivos y prácticas agrícolas en una herramienta que facilite tomar decisiones acertadas. Esta información es importante a la hora de transferir tecnologías agrícolas de una localidad a otras, con diferentes suelos y climas. El modelo de simulación CERES-Maíz (Jones y Kiniry 1986) calcula cada día, el avance de la fenología, la tasa de crecimiento y el reparto de la biomasa entre los órganos en fase de crecimiento (Cuadro 1). Cuando el agua y el nitrógeno no limitan el crecimiento (crecimiento potencial), los procesos simulados se ven afectados por los valores que toman las principales variables ambientales como radiación solar, temperatura máxima y mínima diaria, y concentración de CO<sub>2</sub> atmosférico, de factores específicos del cultivar, y de las prácticas de cultivo.

Dentro de cada fotoperíodo, el avance a cada evento fenológico es una función lineal de la acumulación de unidades de calor (UC) o tiempo termal (TT). La tasa de progreso fenológico depende de temperaturas cardinales específicas para cada cultivo. El rango de las temperaturas cardinales reportadas en maíz a través de muchos experimentos es: de 6° a 10° C para Temperatura Base ( $T_{base}$ ), de 30° a 34° C para Temperatura Óptima ( $T_{opt}$ ) y de 40° a 44° C para Temperatura Crítica ( $T_{crt}$ ) (Edmeades *et al.* 1992). El TT se calcula de la siguiente forma:

$$\text{Si } T_{Promedio} \leq 30^{\circ} \text{ entonces } TT = T_{Promedio} - T_{base}$$

$$\text{Si } T_{Promedio} > 30^{\circ} \text{ entonces } TT = (T_{Promedio} - T_{base}) - (T_{Promedio} - 30)$$

**Cuadro 1. Definición de los coeficientes genéticos utilizados por el modelo de simulación cereales maíz.**

	Descripción
<b>P1</b>	Periodo desde la emergencia de la semilla hasta el final de la etapa juvenil durante el cual la planta no responde a cambios en fotoperíodo
<b>P2</b>	Periodo durante la etapa juvenil en el cual la planta es sensible a cambios en fotoperíodo
<b>P3</b>	Periodo desde iniciación de la inflorescencia masculina hasta el final del crecimiento de hojas y la formación de la inflorescencia femenina
<b>P4</b>	Periodo entre la fecha de floración hasta el comienzo del llenado del grano
<b>P5</b>	Periodo de llenado del grano desde fecha de floración femenina hasta fecha de madurez fisiológica
<b>P8</b>	Periodo entre germinación y emergencia de la semilla
<b>G2</b>	Número potencial de granos por mazorca por planta
<b>G3</b>	Velocidad de llenado del grano durante la etapa lineal bajo óptimas condiciones ( $\text{mg} \cdot \text{día}^{-1}$ )

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Ubicación

Este ensayo se realizó durante dos años (2016 y 2017) en los terrenos de la Estación Experimental del Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá (IDIAP) en El Ejido de Los Santos (Azüero). Localizada entre 7°54,640' de latitud Norte y 80°22,178' longitud Oeste, a unos 16 msnm.

Azüero se caracteriza por presentar tierras bajas de la costa pacífica del Istmo de Panamá, con régimen de humedad ústico. Los suelos del área son finos, mezclados,

clasificados como isohipertérmico udic haplustalf. El estudio fue realizado en una zona que está ubicada en el Bosque tropical seco según la clasificación de Holdridge (1967).

### **Características edáficas**

Antes de la siembra del ensayo se obtuvieron varias muestras de suelo para análisis físico-químico. Las mismas se tomaron en cada uno de los bloques a una profundidad de 0 a 20 cm. Estas fueron homogenizadas y enviadas al Laboratorio de Suelos del IDIAP, en donde se les realizó el análisis según Villarreal y Name (1996). Dicho suelo presentó un pH de 5,5 y textura franco-arcillosa, perteneciente al orden Alfisol. En cuanto a la fertilidad, es un suelo bajo en materia orgánica (1,24%), fósforo ( $14 \text{ mg.l}^{-1}$ ), aluminio ( $0,1 \text{ cmol.kg}^{-1}$ ), hierro ( $10,9 \text{ mg.l}^{-1}$ ) y zinc ( $2,9 \text{ mg.l}^{-1}$ ). Además, presentó valores medios en elementos como potasio ( $102 \text{ mg.l}^{-1}$ ) y cobre ( $2,21 \text{ mg.l}^{-1}$ ) y valores altos en los elementos calcio ( $15,2 \text{ cmol.kg}^{-1}$ ), magnesio ( $11,0 \text{ cmol.kg}^{-1}$ ) y manganeso ( $96 \text{ mg.l}^{-1}$ ).

### **Características climáticas**

Se tomaron datos de precipitación y temperatura durante todo el ciclo del cultivo utilizando una estación meteorológica tipo Davis, la cual estaba ubicada aproximadamente 200 m lineales de la parcela.

### **Unidad experimental**

El área total del ensayo fue de  $675 \text{ m}^2$ , en donde cada unidad experimental estuvo constituida por 15 hileras de 10 m de largo, separadas a 0,75 m entre ellas y 0,20 m entre plantas para un área de  $112,5 \text{ m}^2$ . Cada cultivar se sembró en dos fechas diferentes, una en fecha óptima para el desarrollo del cultivo (agosto) y otra en fecha tardía para que el cultivo fuera sometido a estrés hídrico después de la floración (45 días después de la primera siembra).

### **Material genético**

Se utilizó la variedad IDIAP-MV-1102 de grano normal y alto potencial de rendimiento generada por IDIAP y el híbrido simple P-4226 de la empresa Pioneer. Ambos cultivares se siembran de manera extensa en la región por productores dedicado a este cultivo.

### **Manejo agronómico**

El manejo agronómico del cultivo se dio según la tecnología generada por Gordón (2012), que consiste en un sistema de preparación del suelo convencional; el mismo consistió en dar dos pases de rastra pesada hasta dejar el suelo desmenuzado. La fertilización consistió en la aplicación de 273 kg.ha<sup>-1</sup> de la fórmula química 13-26-10-10 al momento de la siembra, en forma de banda continua a 4 cm de la línea de siembra. Posteriormente, se realizaron dos aplicaciones suplementarias de urea, la primera a los 20 días después de siembra (dds) a razón de 159 kg.ha<sup>-1</sup> y la segunda a los 37 dds a razón de 204 kg.ha<sup>-1</sup>. En total se aplicó 194 kg N, 54 kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y 27 kg K<sub>2</sub>O.ha<sup>-1</sup>. El control de malezas consistió en la aplicación en pre-emergencia de la mezcla de atrazina más pendimentalina a razón de 1,50 kg y 1,65 kg i.a.ha<sup>-1</sup>, respectivamente.

### **Variables del cultivo**

Para la determinación de las variables del estudio, se utilizó la calibración estipulada por el modelo de simulación CERES Maíz (Jones y Kiniry 1986) las cuales se detallan a continuación.

### **Determinación del desarrollo de la planta**

Se determinó la duración de días en que ocurre cada etapa del cultivo y se definió el tiempo termal exacto en que ocurre cada una de las etapas. El tiempo termal se determinó de acuerdo a la metodología de Bolaños y Edmeades (1992) y Yzarra *et al.* (2009).

### **Observación del estado del ápice**

Para determinar el momento de finalización del "periodo juvenil". Se realizaron muestreos destructivos a partir de la cuarta hoja. Estos muestreos se realizaron cada tres días hasta que se identificó el final del periodo juvenil.

### **Evolución del peso del grano**

Se cosecharon tres mazorcas por cada cultivar en cada muestreo. Se cortó en dos partes cada mazorca. Se muestreo 20 granos del tercio medio de cada una, los mismos fueron pesados y llevados al horno para después determinar el peso seco. Se realizaron muestreos a los 8, 11 y 14 días después de floración (ddf). A partir de este momento se realizó un muestreo semanal, hasta llegar a los 45 días después de la

floración femenina. Para detectar el momento de finalización de crecimiento del grano (fase de capa negra) se muestreo cada tres días después de los 90 dds.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Durante los dos años de estudio 2016 y 2017 las temperaturas máximas, promedio y mínima presentaron comportamientos muy similares durante todo el ciclo del cultivo (Figura 1 y 2). La tasa de progreso fenológico depende de temperaturas cardinales específicas para cada cultivo, según Bolaños y Edmeades (1993). En la  $T_{base}$  hay un completo arresto o detenimiento metabólico y la tasa de progreso fenológica es nula (0). En la  $T_{opt}$  el desarrollo fenológico es máximo y tiene un valor relativo de 1,0. En la  $T_{crt}$  la tasa de progreso decrece nuevamente a cero por efectos negativos del excesivo calor.

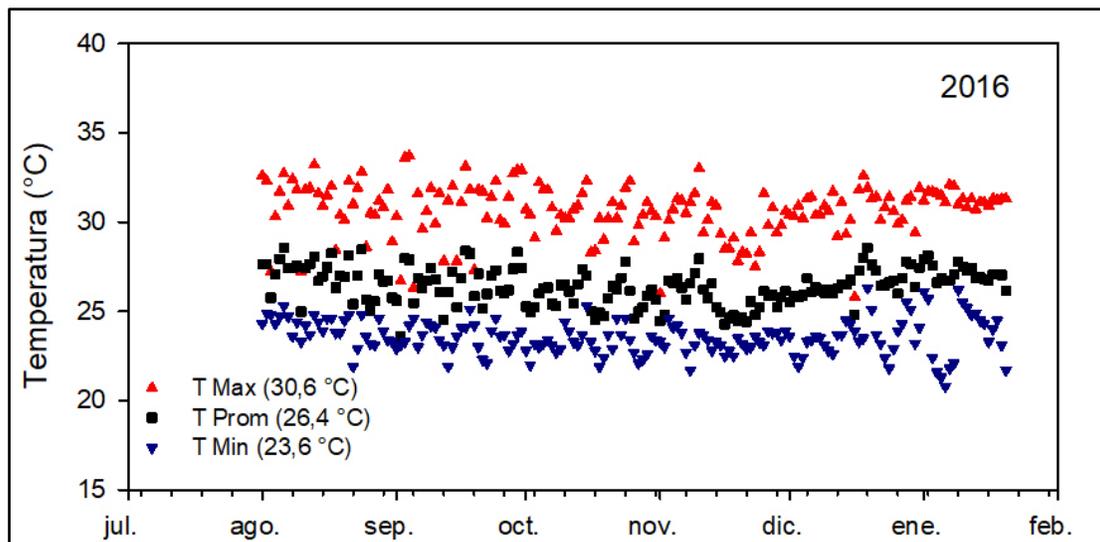


Figura 1. Temperatura máxima, promedio y mínima diaria en El Ejido durante el año 2016.

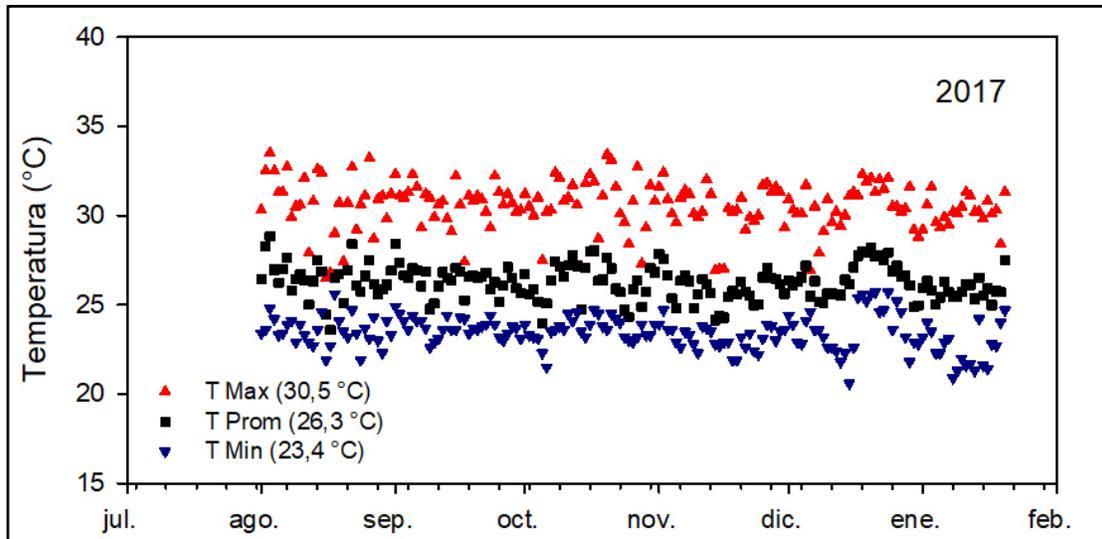


Figura 2. Temperatura máxima, promedio y mínima diaria en El Ejido durante el año 2017.

De igual manera, los dos años evaluados presentaron comportamientos muy similares en cuanto al tiempo termal (Figura 3). El tiempo termal para distintos eventos fenológicos del maíz ha sido evaluado en muchos cultivares bajo distintos ambientes, pero aún existen muy pocos datos sobre maíces tropicales (Edmeades *et al.* 1992). Materiales precoces requieren menos tiempo termal para alcanzar los eventos fenológicos (iniciación floral, floración, madurez fisiológica) que materiales más tardíos.

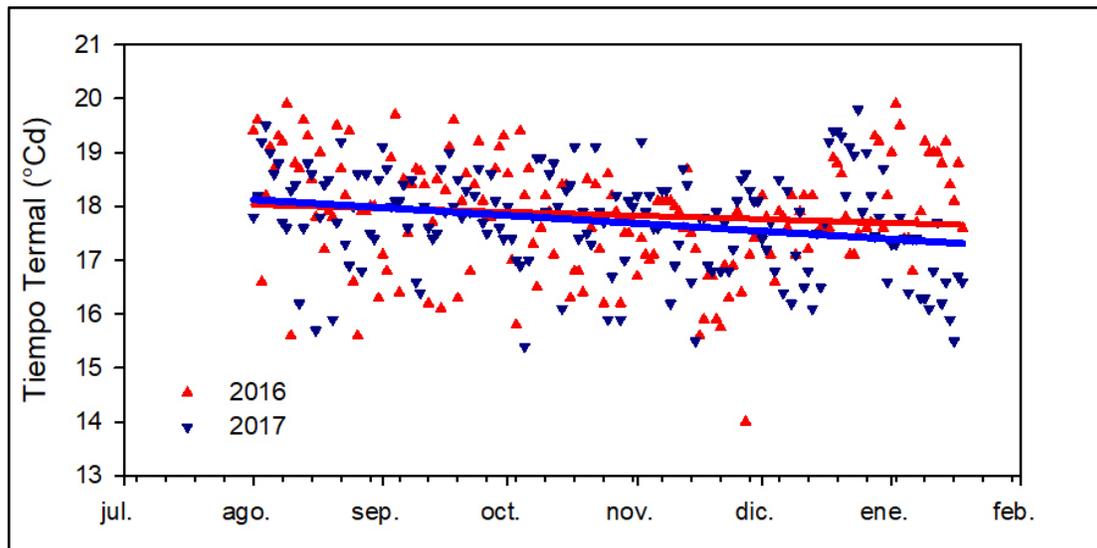


Figura 3. Tiempo termal diario en °Cd durante los meses de la investigación.

Los dos cultivares evaluados demostraron semejanza en los días requeridos para la aparición de cada hoja. Se puede apreciar una ligera variación en el tiempo termal requerido para la formación de cada hoja. La variedad presentó dicha variación a partir de la hoja ocho ( $V_8$ ) hasta la hoja 19 ( $V_{19}$ ), esto se nota en el aumento de días observado en el intervalo de confianza presentado en el tiempo termal. Mientras que el híbrido la presentó desde la hoja dos ( $V_2$ ) hasta la hoja siete ( $V_7$ ). Sin embargo, ambos materiales finalizan el ciclo con valores de tiempo termal muy similares (Cuadro 2).

**Cuadro 2. Cálculo de días y tiempo termal en que se formó cada hoja para los cultivares de maíz IDIAP-MV-1102 y P-4226.**

	AMBOS CULTIVARES		IDIAP-MV-1102		P-4226	
	Días	Intervalo Confianza	°Cd	Intervalo Confianza	°Cd	Intervalo Confianza
$V_1$	3	0,1	59	2	58	2
$V_2$	7	0,2	117	3	119	4
$V_3$	10	0,2	171	4	166	5
$V_4$	12	0,3	216	5	210	7
$V_5$	15	0,2	264	4	254	6
$V_6$	18	0,2	317	4	306	7
$V_7$	21	0,3	370	4	356	5
$V_8$	24	0,4	417	7	413	6
$V_9$	27	0,5	474	8	470	6
$V_{10}$	30	0,6	523	9	516	5
$V_{11}$	33	0,6	567	10	561	8
$V_{12}$	36	0,6	602	11	597	9
$V_{13}$	38	0,6	641	12	640	8
$V_{14}$	40	0,6	682	11	683	9
$V_{15}$	43	0,6	717	11	722	9
$V_{16}$	45	0,6	755	12	755	8
$V_{17}$	47	0,6	789	11	783	7
$V_{18}$	48	0,5	815	9	809	6
$V_{19}$	50	0,5	840	9	832	6
$V_{20}$	51	0,4	861	8	861	10

El tiempo promedio en días, requerido para la salida de una hoja nueva desde  $V_1$  a la  $V_{11}$ , fue de aproximadamente tres días. Mientras que desde la  $V_{12}$  en adelante ese tiempo se acortó, necesitando aproximadamente dos días para la formación de cada hoja (Figura 4). Este comportamiento sugiere que a partir de la  $V_{11}$  el crecimiento se acelera, lo que se refleja en un rápido crecimiento de las plantas.

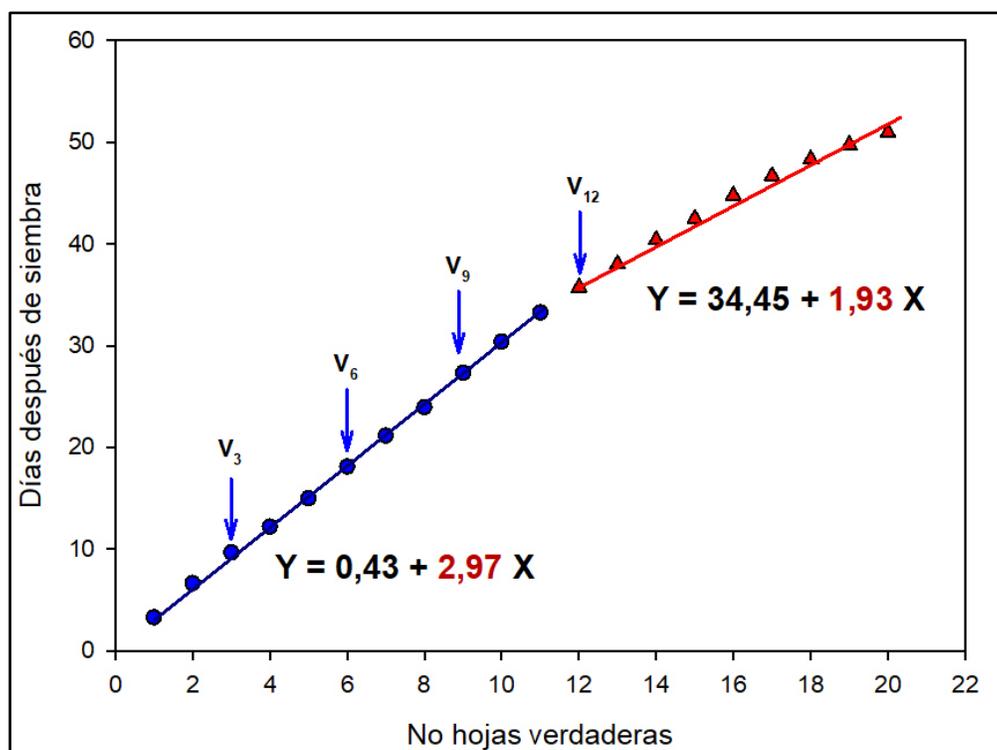
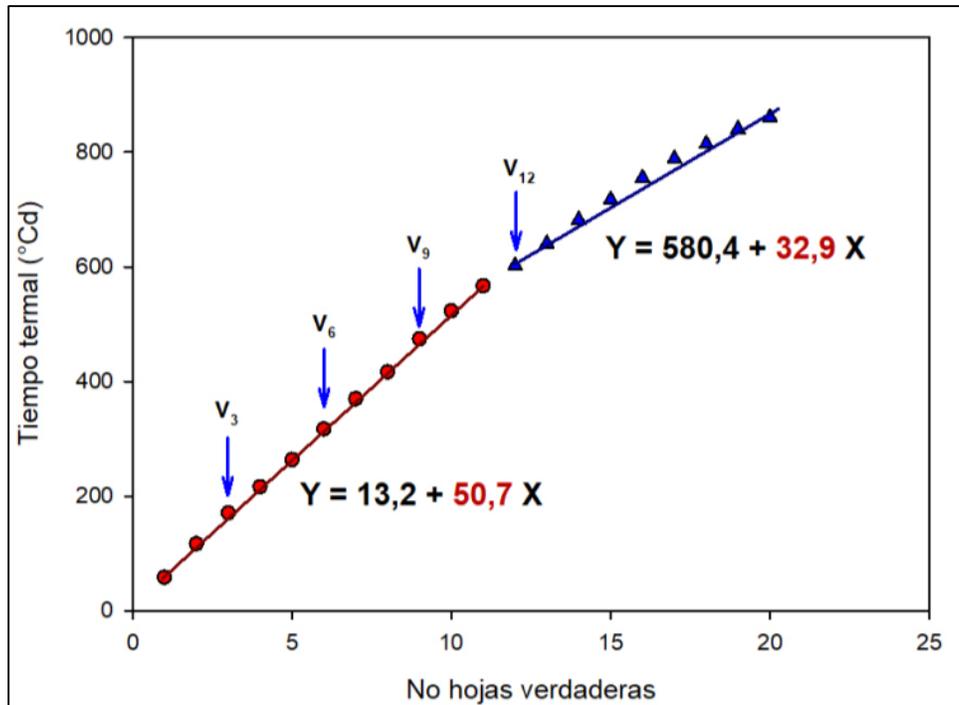


Figura 4. Días requeridos para la aparición de cada hoja para los cultivares de maíz IDIAP-MV-1102 y P-4226.

El tiempo termal de  $V_1$  a  $V_{11}$  requiere aproximadamente  $51^\circ \text{Cd}$  para la formación de cada hoja. Mientras que de la  $V_{12}$  hasta la última hoja, las unidades calóricas para cada hoja se acortó; se necesitó aproximadamente  $33^\circ \text{Cd}$  para la formación de cada hoja (Figura 5). Por el contrario, resultados de otros autores indican que, se necesitan en promedio  $25^\circ \text{Cd}$  para iniciar cada hoja sucesiva en maíz. En un ambiente de temperatura promedio de  $25^\circ \text{Cd}$  (15 unidades de calor por día), una hoja sucesiva se inicia cada 1,7 días (Edmeades *et al.* 1992).



**Figura 5. Tiempo termal requerido para la aparición de cada hoja para la variedad IDIAP-MV-1102 y el híbrido P-4226.**

El IDIAP-MV-1102 presentó la finalización del periodo juvenil a los  $24 \pm 0,4$  días con un tiempo termal acumulado de  $370 \pm 4^\circ$  Cd. Mientras que en el P-4226 el fin de la etapa juvenil fue a los  $25 \pm 0,9$  días, con un tiempo termal acumulado de  $417 \pm 7^\circ$  Cd (Cuadro 3). Este evento sucedió en la planta durante la hoja siete ( $V_7$ ). Esta etapa es de suma importancia para el manejo agronómico del cultivo, ya que situaciones metabólicas estresantes como la que se da producto de la aplicación de herbicidas a base de sulfonilurea durante o después de la  $V_7$  puede reducir el número de hileras de granos. Esto es muy similar a lo presentado por Esteves *et al.* (2012), quien en el 2004 mostró resultados de la evaluación de tres materiales un híbrido de Pioneer y dos variedades. Investigación realizada en Puerto Rico donde la diferenciación de la yema apical o finalización del periodo juvenil se observó a los 24, 26, 27 y 31 dds, para el híbrido Pioneer, Mayorbela, Diente de Caballo y Chulo, respectivamente.

**Cuadro 3. Finalización de la etapa juvenil ( $V_7$ ) en días y tiempo termal para IDIAP-MV-1102 y P-4226.**

	Días	°Cd
IDIAP-MV-1102	24 ± 0,4	370 ± 4
P-4226	25 ± 0,9	417 ± 7

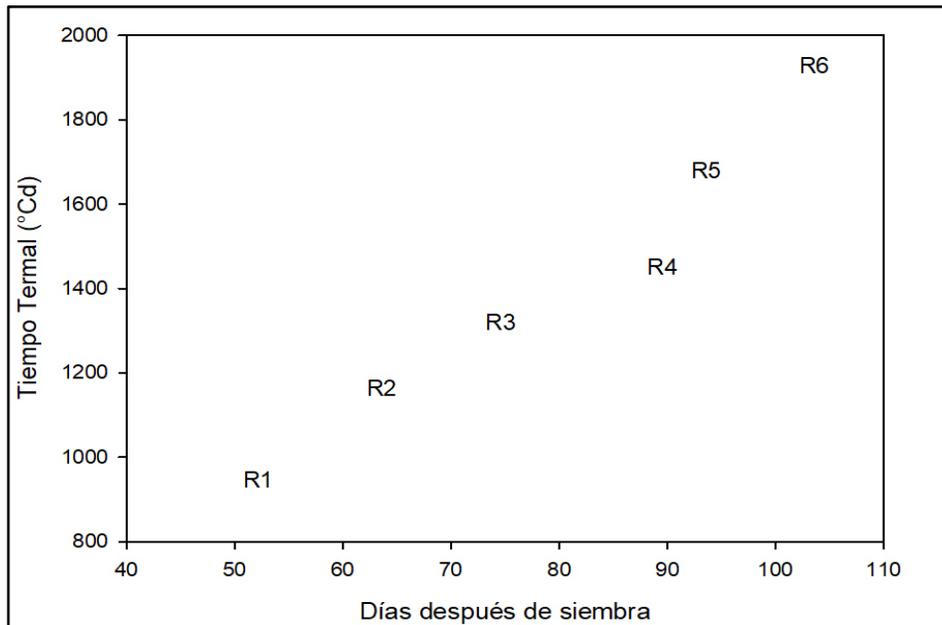
Ambos materiales utilizaron la misma cantidad de días y tiempo termal para su período de antesis ( $V_T$ ) y barbeo ( $R_1$ ) (Cuadro 4). La floración en maíz se reconoce por el derramamiento de polen de las anteras de la espiga (antesis) y la emisión de los estigmas del jilote o barbeo. Esto coincide con lo presentado por Bolaños y Edmeades (1993) donde indica que la antesis normalmente ocurre de uno a dos días antes que la emisión de los estigmas, pero con estrés la emisión de los estigmas se retrasa.

**Cuadro 4. Tiempo termal y días para la antesis ( $V_T$ ) y barbeo ( $R_1$ ) en IDIAP-MV-1102 y P-4226.**

Cultivar	Antesis ( $V_T$ )		Barbeo ( $R_1$ )	
	DDS	°Cd	DDS	°Cd
IDIAP-MV-1102	51 ± 0,5	905 ± 12	52 ± 0,6	945 ± 12
P-4226	51 ± 0,5	905 ± 12	52 ± 0,6	945 ± 12

Una vez finalizó la etapa vegetativa ( $V$ ) con la aparición de la última hoja, se dio inicio a la etapa reproductiva ( $R$ ). Para ambos cultivares el fin de la etapa vegetativa ( $R_1$ ) se dio a los 54 ± 0,9 dds acumulando 949 ± 7,7° Cd. La  $R_2$  (fase de ampolla) se presentó 10 días después de la emisión de los estigmas y acumuló 1162 ± 18,0° Cd. En esta etapa los granos son blancos, similares a una ampolla y contienen un fluido claro. Los granos contienen cerca de 85% de humedad. El embrión se desarrolla en cada grano. La división celular está completa y comienza el llenado de grano. Once días después los granos pasan al estado lechoso o  $R_3$  acumulando un tiempo termal de 1319 ± 17° Cd. En esta etapa los estigmas se secan y los granos alcanzan su color final. Estos contienen un fluido lechoso que puede ser extraído al presionarlos entre los dedos. Este fluido es el resultado de la acumulación de almidón. Catorce días después de la  $R_3$  (aproximadamente 26 a 30 días después de floración) los granos pasan al estado de masa o  $R_4$  con 1449 ± 16° Cd acumulados. En esta etapa el almidón acumulado en los granos adquiere una consistencia masosa. Ocurre una rápida acumulación de almidón y nutrientes, los granos poseen un 70% de humedad y comienzan a dentarse en su extremo superior. A continuación, pasan

al estado de R<sub>5</sub> (fase dentada) donde la mayoría de los granos están dentados. La humedad de los granos se ha reducido a un 55%, mientras que el contenido de almidón ha aumentado. Para llegar a esta fase los cultivares acumularon 1926° Cd y la misma se presentó cuatro días después de la R<sub>4</sub>. Por último, los granos pasan a la madurez fisiológica (R<sub>6</sub>), y se caracteriza por presentar una capa negra que se forma en la base del grano, impidiendo el movimiento de materia seca y nutriente desde la planta hacia el mismo. Los granos alcanzan su máximo peso (30% a 35% humedad) y se encuentran fisiológicamente maduros (Figura 6).



**Figura 6. Etapas reproductivas de los cultivares de maíz evaluados, IDIAP-MV 1102 y P-4226.**

La fase de llenado de grano inició después de la polinización y determina el peso final del grano y de la mazorca. El peso de grano está correlacionado con la duración y la cantidad de radiación interceptada durante esta fase, y es afectada por estreses hídricos y nutricionales (Fischer y Palmer 1984). El híbrido P-4226 superó la ganancia de peso con 0,12 g.día<sup>-1</sup>, debido a que los híbridos expresan mayor potencial genético que las variedades (Figura 7).

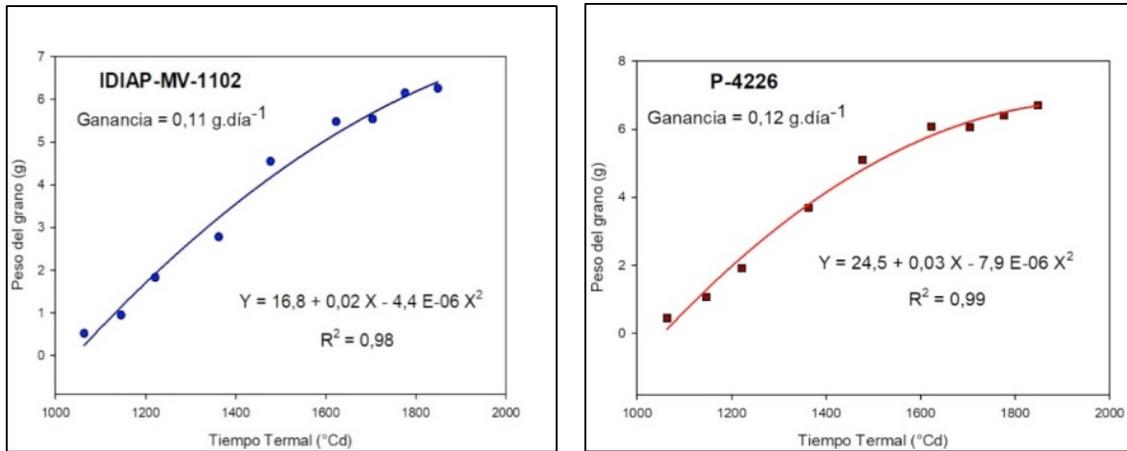


Figura 7. Ganancia diaria del peso de grano de la variedad IDIAP-MV-1102 y el híbrido P-4226.

De los dos cultivares evaluados el híbrido superó a la variedad en peso de mazorca (221,0 g vs 166,0 g) y número de granos por mazorca (488,9 granos vs 425,6 granos) (Figura 8). El número de granos es el principal componente del rendimiento y se encuentra estrechamente ligado a factores genéticos, ambientales y de manejo (Egli 1998). Si bien, el número de granos por unidad de área es el principal componente del rendimiento, las variaciones en el peso individual de los granos pueden producir fuertes variaciones en la productividad del maíz (Borrás y Gambín 2010). Un factor a tener en cuenta es la temperatura, ya que a partir de 30° C comienza a reducirse la tasa de fotosíntesis neta en maíz (Crafts-Brandner y Salvucci 2002), lo cual podría haber afectado la tasa de llenado de granos generando así una importante disminución del peso final a cosecha.

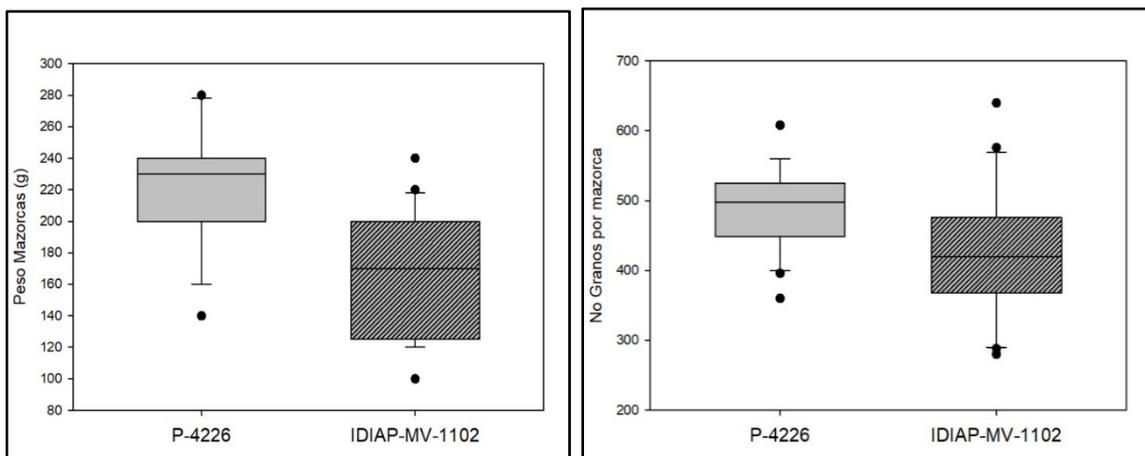


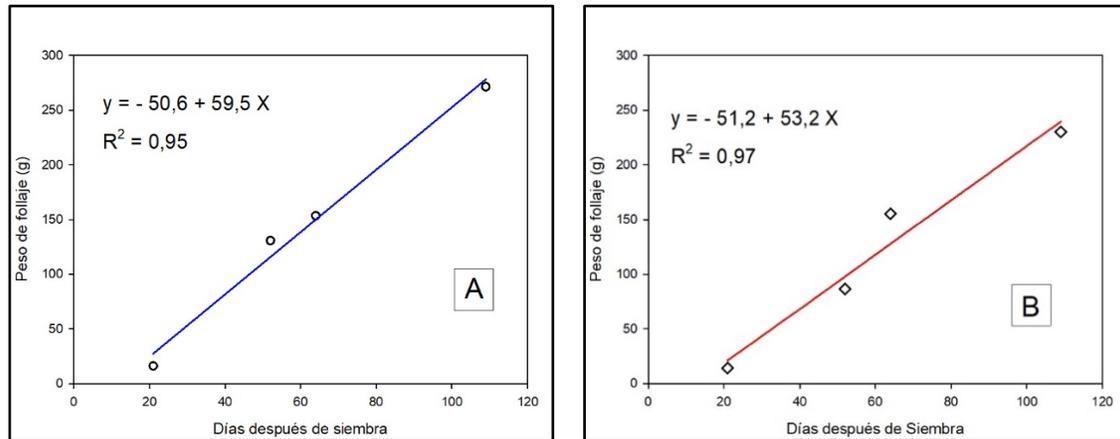
Figura 8. Peso y número de granos por mazorca por tipo de cultivar evaluado.

El híbrido P-4226 presentó mayor expresión en todos los componentes de rendimiento como peso de mazorca, número de granos por mazorca y número de granos por hilera (Cuadro 5). El híbrido presentó un índice de cosecha de 28,2%, mientras que en la variedad fue de 23,3%, (Cuadro 5). También se encontró que el peso de los granos del híbrido superó al de la variedad (76,4 g vs 53,7 g). Trabajos realizados en comunidades de la región de Chiapas, México corroboran que la mayor altura de la planta mostrada por las variedades locales no es un indicador deseable en el cultivo del maíz. De ahí que la acumulación de biomasa del tallo sea uno de los que mayor inciden en la disminución del índice de cosecha en las condiciones edafoclimáticas de la comunidad (Rodríguez *et al.* 2016). La importancia del índice de cosecha se refiere a una serie de evidencias sobre su utilidad para modelar el crecimiento de variedades de maíz, según Monteith 1996. Otros autores sugieren que este indicador se comporta relativamente constante dentro de los ámbitos de interés económico de uso de fertilizantes y de tipos de variedades híbridos y criollos, lo cual no corresponde con los resultados aquí mostrados (Turrent *et al.* 2006).

**Cuadro 5. Componentes del rendimiento para los cultivares de maíz P-4226 e IDIAP-MV-1102.**

	P-4226	IDIAP-MV-1102
Peso de mazorca (g)	221,0	166,0
Número de granos/mazorca (g)	488,9	425,6
Número de hileras/mazorca	12	14
Número de granos/hileras	38	30
Peso/planta (g)	271,3	229,9
Peso de granos (g)	76,4	53,7
Índice de cosecha (%)	28,2	23,3

Ambos cultivares presentaron comportamientos similares en la producción de biomasa. Aunque la ganancia de peso en el híbrido fue ligeramente superior (59,5 g/día) en comparación al encontrado para la variedad cuya tasa de crecimiento fue 53,2 g/día (Figura 9).



**Figura 9. Evolución del follaje para el híbrido P-4226 (A) y la variedad IDIAP-MV-1102 (B).**

La descripción fenológica completa de ambos cultivares es de suma importancia para el entendimiento de los eventos fenológicos. La duración de cada una de estas fases o etapas depende del genotipo, del fotoperíodo y de la temperatura. La edad cronológica del cultivo al final del ciclo productivo fue de 118 días equivalente a  $2011,80^{\circ}$  Cd, el período vegetativo culminó con 20 hojas expandidas en la variedad y el híbrido, respectivamente. La acumulación máxima de unidades de calor o tiempo térmico fue de  $889,43^{\circ}$  Cd al final del período expandido. El IDIAP-MV-1102 durante el período vegetativo utilizó  $890^{\circ}$  Cd de tiempo termal acumulado con un intervalo de confianza de  $\pm 9,87$  y para el período reproductivo utilizó  $1926^{\circ}$  Cd de tiempo termal con un intervalo de confianza de  $\pm 17,39$ . De igual manera, se dio un aumento en el peso del grano conforme evoluciona su desarrollo hasta alcanzar la madurez fisiológica a los 112 días después de la siembra. El P-4226 alcanzó la madurez fisiológica a los 104 dds. Este material utilizó un tiempo termal de  $889 \pm 9,17^{\circ}$  Cd en el período vegetativo y en el período reproductivo presentó un tiempo termal de  $1755 \pm 25,74^{\circ}$  Cd (Figuras 10 y 11).

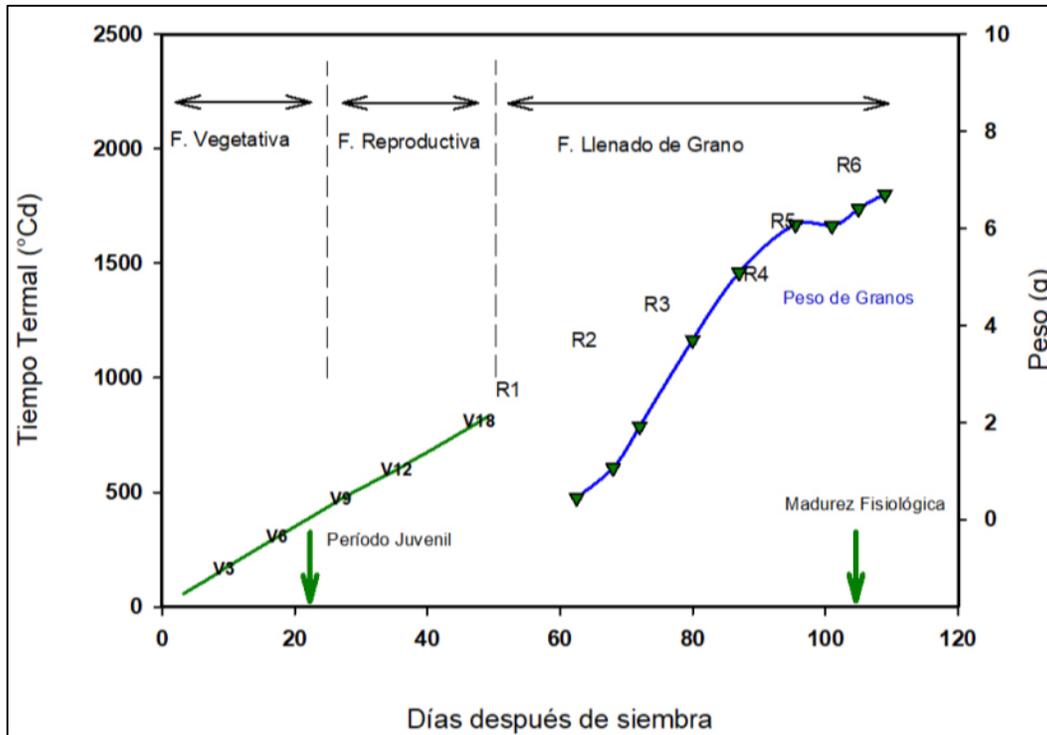


Figura 10. Descripción fenológica del híbrido de maíz P-4226.

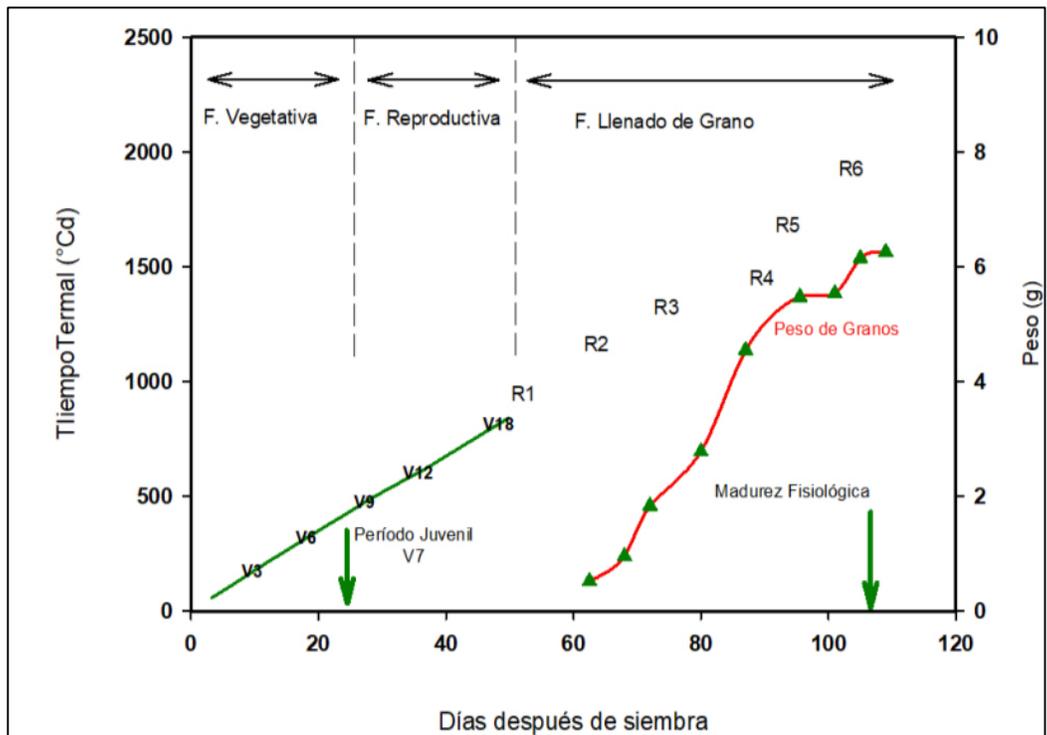


Figura 11. Descripción fenológica de la variedad de maíz IDIAP-MV-1102.

## CONCLUSIONES

- Se determinaron los coeficientes genéticos para la variedad IDIAP-MV-1102 y el híbrido P-4226.
- La variedad IDIAP-MV-1102 demandó mayor acumulación de tiempo termal y días a la madurez fisiológica.
- La fase de llenado granos determina el peso final de los mismos.
- La mayor ganancia de peso del híbrido P-4226 se debe a una mejor eficiencia en la fase de llenado de granos.

## BIBLIOGRAFÍA

- Bolaños, J; Edmeades, GO. 1993. Eight cycles of selection for drought tolerance in lowland tropical maize. II. Responses in reproductive behavior. *Field Crops Research*. México. 31:253-272.
- Bolaños, J; Edmeades, G. 1992. La fenología del maíz. *In Síntesis de Resultados Experimentales del PRM, 1992*. J. Bolaños, G. Saín, R. Urbina y H. Barreto (Editores). México. 4:251-261.
- Borrás, L; Gambín, B. 2010. Trait dissection of maize kernel weight: towards integrating hierarchical scales using a plant growth approach. *Field Crops Res*. 118:1-12.
- Campbell, G; Stockle, C; Martin, S. 1994. CropSyst, a cropping systems simulation model: hwater/nitrogen budgets and crop yield. *Agricultural systems* 46(3):335-359.
- Corrales, L. 2010. Informe Final Efectos del Cambio Climático para Centroamérica. Cuarto Informe. Estado de la región. 18 p.
- Crafts-Brandner, S; Salvucci, M. 2002. Sensitivity of photosynthesis in C4 plants, maize, to heat stress. *Plant Physiology*. Arizona. 129:1773-1780.

- Edmeades, GO; Ellis, RH; Lafitte, HR. 1992. Photothermal responses of tropically-adapted maize. Trabajo presentado en 84<sup>ava</sup> reunión anual de American Society of Agronomy. ASA Abstracts. 124 p.
- Egli, B. 1998. Seed biology and the yield of grain crops. CAB International, New York. 178p.
- Esteves, M; Román-Paoli, E; Beaver, JS; Muñoz, M; Armstrong, A. 2012. Determinación de coeficientes genéticos en tres cultivares y un híbrido de maíz. J. Agric. Univ P.R. 96(1-2):57-75.
- Fischer, K; Palmer, A. 1984. Tropical maize. In Goldsworthy, PR and Fischer, NM. (eds). The physiology of tropical field crops. John Wiley & Sons. New York. p. 213-248.
- Gordón, R. 2012. Manejo Integral del Cultivo de Maíz. Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá. Panamá. 18 p.
- Holdridge, LR. 1967. Sistema de clasificación de zonas de vida de Holdridge. Ecología basada en zonas de vidas. San José, CR. 206 p.
- Jones, CA; Kiniry, JR. 1986. CERES-Maize: A simulation model of maize growth and development. Texas A & M University Press, College Station, 144 p.
- Monteith, JL. 1996. "The Quest for Balance in Crop Modeling". *Agronomy Journal* 88:(5):695-697.
- Mora, J; Ramírez, D; Ordaz, JL; Acosta, A; Serna, B. 2010. Efectos Del Cambio Climático Sobre La Agricultura. Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL) Sede Subregional en México. Panamá. 71 p.
- Nelson, G; Rosegrant, M; Koo, J; Robertson, R; Sulser, T; Zhu, T; Ringler, C; Msangi, S; Palazzo, A; Batka, M; Magalhaes, M; Valmonte-Santos, R; Ewing, M; Lee, D. 2009. Cambio Climático El impacto en la agricultura y los costos de adaptación. Instituto Internacional de Investigación sobre Políticas Alimentarias IFPRI Washington, D.C. 19p.

- Rodríguez, L; Hernández, F; Cruz, J; Marto, J; Ortiz, R. 2016. Crecimiento e índice de cosecha de variedades locales de maíz (*Zea mays* L.) en comunidades de la Región Frailesca de Chiapas, México. *Cultivos Tropicales* 37(3):137-145.
- Turrent, A; Barrios, A; Otero, A; Ariza, R; Michel, A. 2006. Efectos de la interacción genotipos x prácticas de manejo sobre el índice de cosecha de híbridos de maíz bajo riego. *Asociación Interciencia: Revista de ciencia y tecnología de América* 31(7):530-544.
- Villarreal, J; Name, B. 1996. Técnicas analíticas del laboratorio de suelos. Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá. Panamá. 110 p.
- Yzarra, W; Trebejo, I; Noriega, V. 2009. Evaluación de unidades térmicas para el crecimiento y desarrollo del cultivo de maíz amarillo duro (*Zea mays*, L.) en la costa central del Perú. *Revista Peruana Geo-Atmosférica RPGA* no. 1:1-10.