

COEFICIENTES GENÉTICOS DE DOS VARIEDADES DE ARROZ EN DISTINTAS FECHAS DE SIEMBRA¹

*Luis Alberto Barahona-Amores²; Román Gordón-Mendoza³;
Rubén Samaniego-Sánchez⁴; Gustavo Castillo-Vega⁵*

RESUMEN

Con el objetivo de determinar los coeficientes genéticos en las variedades de arroz IDIAP 145-05 e IDIAP 38 en distintas fechas de siembra, se realizó un ensayo en Tonosí, Los Santos, Panamá, ubicado entre los 7° 26' 03" de latitud Norte y los 80° 24' 37" longitud Oeste a 18 msnm, entre agosto y diciembre de 2016 y 2017. Se utilizaron dos fechas de siembra en cada año, la primera en agosto y la segunda septiembre. Las parcelas fueron de 100 m² por variedad con riego suplementario; se tomaron cuatro plantas al azar en cada variedad para determinar la aparición de cada etapa fenológica, para luego determinar el tiempo termal que requiere la evolución de cada una de sus etapas. El tiempo termal se determinó utilizando la temperatura media diaria, promediando las temperaturas máximas y mínimas del día de la localidad. Se realizó prueba de t-student y estadística descriptiva (media, intervalo de confianza 99%). Se encontró diferencia significativa en la duración del ciclo en días con respecto a las fechas de siembra para ambas variedades, mientras que no existió diferencia estadística en la acumulación °Cdía para cumplir su ciclo fenológico. La variedad I-38 requirió acumular 2100 ± 43 °Cdía para cumplir su ciclo fenológico en 118 ± 2 días, en cuanto la I-145 05 necesita acumular 2024 ± 53 °Cdía durante su fenología la cual cumple en 112 ± 2 días. La mayor variabilidad en la duración de las etapas fenológicas para ambas variedades se da entre el inicio de macollamiento y la formación de la hoja bandera.

PALABRAS CLAVES: Variabilidad climática, fenología, temperatura.

¹Recepción: 5 de junio de 2018. Aceptación: 18 de junio de 2018. Investigación financiada con fondos del Proyecto de "Generación de Investigación e Innovación de estrategias agronómicas ante el cambio climático en el Arco Seco de Panamá".

²M.Sc. en Manejo de Suelos y Agua. Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá (IDIAP).
e-mail: alberline@gmail.com

³M.Sc. en Protección de Cultivos. IDIAP. e-mail: gordon.roman@gmail.com

⁴M.Sc. en Agricultura Ecológica. IDIAP. e-mail: ruben_sama15@hotmail.com

⁵Agrónomo. IDIAP.

GENETIC COEFFICIENTS OF TWO RICE VARIETIES IN DIFFERENT PLANTING DATES

ABSTRACT

In order to determine the genetic coefficients in IDIAP 145-05 and IDIAP 38 rice varieties at different sowing dates, a trial was conducted in Tonosí, Los Santos, Panama, located between 7°26'03 " of North latitude and the 80°24'37 " west longitude at about 18 masl, between august to December 2016 and 2017. Two sowing dates were used each year, the first in august and the second in september. The plots were 100 m² per variety with supplementary irrigation; four plants were taken randomly in each variety to determine the appearance of each phenological stage, to then determine the thermal time required for the evolution of each of its stages. The thermal weather was determined using the average daily temperature, averaging the maximum and minimum temperatures of the day of the locality. T-student test and descriptive statistics were performed (average, confidence interval 99%). There was a significant difference in the duration of the cycle in days with respect to the sowing dates for both varieties, while there was no statistical difference in the accumulation °Cday to meet its phenological cycle. The variety I-38 required to accumulate 2100 ± 43 °Cday to complete its phenological cycle in 118 ± 2 days, while the I-145 05 needs to accumulate 2024 ± 53 °Cday during its phenology which it fulfills in 112 ± 2 days. The greatest variability in the duration of the phenological stages for both varieties occurs between the start of tillering and the formation of the flag leaf.

KEY WORDS: Climate variability, phenology, temperature.

INTRODUCCIÓN

El modelado de escenarios de cambio climático para Panamá reveló modificaciones en el Arco Seco en relación con los patrones de temperatura y precipitación. Estas incluyen un ambiente más cálido, de 2° a 3° C sobre las temperaturas actuales (ANAM 2011). Con la finalidad de lograr un rendimiento en el cultivo de arroz, es importante comprender los procesos fisiológicos de las plantas. El carácter complejo en este proceso es la producción de granos y

materia seca, que es el resultado del funcionamiento de la planta con respecto a las condiciones agroclimáticas donde se desarrolla (Villalba *et al.* 2017).

Generalmente se expone que la planta de arroz alcanza una etapa vegetativa a cierto número de días después de germinado. Sin embargo, en la actualidad se ha estudiado que existen factores climáticos como la temperatura máxima y mínima, las cuales influyen en el desarrollo de la planta de arroz. Toda

aceleración o disminución del ritmo vegetativo o de la velocidad de desarrollo regido por la temperatura afecta al cultivo, ocasionando variaciones en su rendimiento (Yoshida 1981, Streck *et al.* 2003, Maqueira *et al.* 2010).

Los umbrales térmicos y la temperatura óptima de una especie son las temperaturas cardinales (Durán-Puga *et al.* 2011). La temperatura promedio diaria determina el ritmo de crecimiento y modifica también el ciclo de cada variedad. Esto, se debe a que cada etapa fenológica necesita la acumulación de una determinada cantidad de unidades térmicas (Pascale y Damario 2004, Méndez 2002).

El arroz necesita para germinar un mínimo de 10° a 13° C considerándose su óptimo entre 30° y 35° C. Por encima de 40° C no se produce la germinación. El crecimiento del tallo, hojas y raíces tiene un mínimo de 7° C, considerándose su óptimo en los 23° C. Con temperaturas superiores a los 23° C, las plantas crecen más rápido, pero los tejidos se hacen más blandos. Esta condición los hace más susceptibles a los ataques de plagas y enfermedades (Datta 1986).

Una vez se conocen las temperaturas cardinales y la fenología de

un genotipo, se puede determinar de manera precisa su requerimiento térmico (°Cdía). También se establece la temperatura que necesita el cultivar para completar su ciclo de madurez (Ruíz *et al.* 2002). Durante más de 200 años, los ecólogos de plantas, los climatólogos y los científicos de cultivos han utilizado la suma de temperaturas para relacionar la temperatura con la duración del cultivo y la productividad (Yoshida 1981). La suma térmica es utilizada por muchos modelos de simulación de cultivo para su funcionamiento (Hernández *et al.* 2009).

Un modelo de simulación es un programa que permite describir, mediante ecuaciones matemáticas, diferentes procesos, mecanismos e interacciones que ocurren dentro de un sistema biológico. Ante el inminente cambio climático, la predicción del rendimiento de los cultivos anticipada a la cosecha permite aumentar el conocimiento de la relación clima/cultivo. Este conocimiento permite, a su vez, generar información que se pueda aprovechar oportunamente en la planificación y el manejo de la producción agropecuaria (De La Casa y Ovando 2007).

La utilidad de los modelos no depende sólo de su disponibilidad para su aplicación, sino, también de la

disponibilidad de información que pueden hacer posible correrlos para diferentes escenarios. Por ende, es necesario generar los coeficientes genéticos de las variedades que sean requeridos para su utilización. Este estudio se realizó con el objetivo de determinar los coeficientes genéticos en las variedades de arroz IDIAP 145-05 e IDIAP 38 a distintas fechas de siembra, para luego ser utilizados en modelos de simulación de cultivo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización geográfica

El estudio se realizó en los terrenos del Instituto Profesional Técnico Agropecuario de Tonosí (IPTAT), ubicado en el corregimiento de El Cacao, distrito

de Tonosí, provincia de Los Santos, entre los 7°26'03" de latitud Norte y los 80°24'37" longitud Oeste (Figura 1). Los suelos fueron clasificados como Typic Udifluents, textura franca con régimen de humedad Údico. El régimen de temperatura es considerado Isohipertérmico (MIDA 2014). Esta localidad está ubicada dentro de la zona de vida correspondiente a Bosque Húmedo Tropical según Holdridge (1967).

Material genético

El material genético utilizado en el experimento, fueron las dos variedades liberadas por el instituto, IDIAP 38 de ciclo intermedio y la IDIAP 145-05 de ciclo precoz.

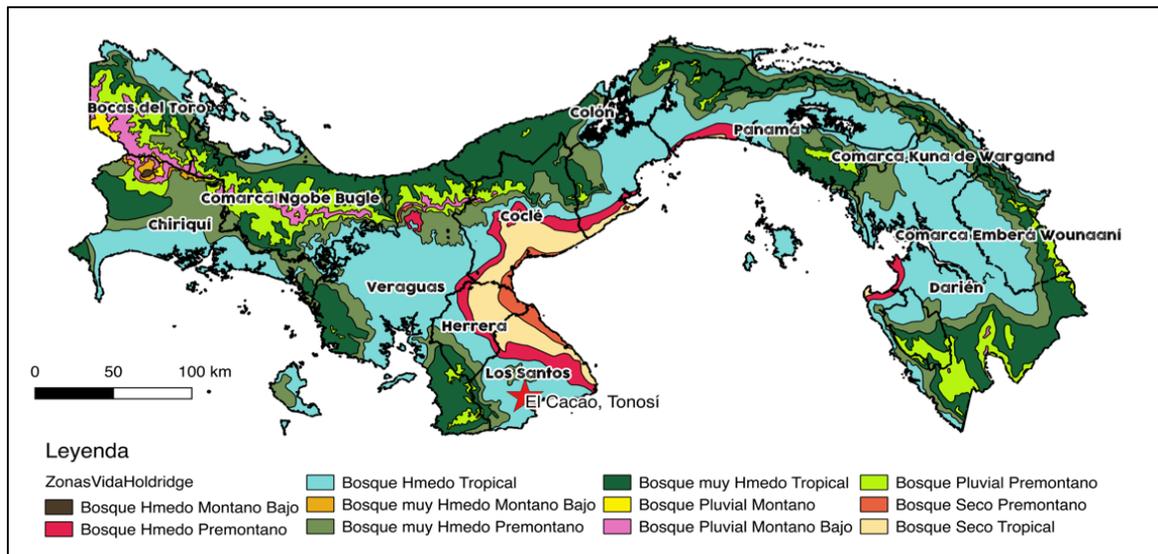


Figura 1. Localización geográfica del estudio de acuerdo con la clasificación de Zonas de Vida de Holdridge (1967).

Características edáficas

En cuanto a contenido de nutrientes y según los niveles críticos establecidos por Villarreal y Name (1996), presenta niveles altos de potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg) y de hierro (Fe); niveles medios de fósforo (P), manganeso (Mn) y de cobre (Cu); además unos niveles bajos de aluminio (Al) y zinc (Zn). En cuanto a sus características físico-químicas, presenta una textura Franca, con una coloración en seco pardo amarillo claro, pH poco ácido, una capacidad de intercambio catiónico efectiva (CICE) media, con una baja saturación de aluminio y una elevada saturación de bases, la cual está dominada por la saturación de calcio (70,8%) y un nivel medio de materia orgánica (Cuadro 1).

Arreglo en campo y manejo

El ensayo se realizó bajo el sistema de riego suplementario durante los ciclos agrícolas 2016 y 2017. Se establecieron parcelas de cada variedad

en dos fechas de siembra, la primera en agosto y la segunda en septiembre. Se utilizaron parcelas de 100 m² para cada variedad y cada fecha de siembra (10 m x 10 m). La siembra se realizó al voleo con una densidad de 130 kg semilla.ha⁻¹.

El manejo agronómico se realizó de acuerdo con las tecnologías generadas por el IDIAP (Camargo *et al.* 2014). La cosecha se realizó cuando ambas variedades alcanzaron la madurez fisiológica con una humedad de grano de 25%, se limpió y secó. Luego se calculó el rendimiento de grano limpio y seco (14% humedad).

Muestreo en campo

Se marcaron cuatro plantas al azar para cada variedad y fecha de siembra (Figura 2). A cada una se le determinó el desarrollo fenológico y el tiempo termal acumulado en cada etapa fenológica, según Counce *et al.* (2000).

CUADRO 1. CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DEL SUELO UTILIZADO EN EL ESTUDIO DE ABSORCIÓN DE NUTRIENTES, TONOSÍ 2017.

P	K	Ca	Mg	Al	Mn	Fe	Zn	Cu
Mg l ⁻¹		cmol ₍₊₎ kg ⁻¹			mg l ⁻¹			
35	224	25	9,5	0,2	35	80	2,9	5,5
Textura	color	CICE		pH	Al	bases	M.O.	
		cmol ₍₊₎ kg ⁻¹			% saturación		%	
Franco	Pardo A. C	35,8		6,2	0,56	99,44	4,4	

Fuente: Laboratorio de Suelos, IDIAP 2016.



Figura 2. Determinación de las etapas fenológicas de las variedades IDIAP 38 y la IDIAP 145-05, Tonosí 2017.

Análisis estadístico

Se realizó una prueba de t-Student (alfa: 0,05), para determinar diferencia en la duración del ciclo fenológico (días) y la acumulación de tiempo térmico ($^{\circ}\text{Cdía}$) entre las fechas de siembra para cada variedad. Se realizó un análisis de correlación de Pearson y una estadística descriptiva (promedio, intervalo de confianza al 99%) para determinar la duración y el tiempo térmico acumulado en cada etapa fenológica para cada variedad.

Variables de respuesta

- Desarrollo de la planta en días después de siembra (días): Se determinaron las etapas fenológicas según Counce *et al.* (2000), donde incluye el tiempo de emergencia (S_0 hasta S_3), estado de las hojas

completamente expandidas (V_1 hasta V_{13}) y etapas reproductivas (R_0 a R_9).

- Tiempo termal acumulado ($^{\circ}\text{Cdía}$): Se definió el tiempo termal exacto en que ocurre cada una de las etapas. El tiempo termal se determinó restando la temperatura base (10°C), de la temperatura media calculada con la temperatura máxima y mínima diaria, utilizando 30°C como temperatura óptima y restando el excedente (Vidal *et al.* 2008, Yzarra *et al.* 2009, Velázquez *et al.* 2015).

$$^{\circ}\text{Cdía} = \sum_{j=1}^n \left(\frac{T^{\circ}\text{max} + T^{\circ}\text{min}}{2} \right) - T^{\circ}\text{base}$$

Nota: Cuando $^{\circ}T_{media} > ^{\circ}T_{optima}$ se le restó el excedente

- Temperatura ambiente y radiación solar (Batista *et al.* 2017)

- Biomasa seca
- Índice de cosecha
- Rendimiento de grano en $t \cdot ha^{-1}$ al 14% humedad, según el sistema de evaluación estándar para arroz (CIAT 1983).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Rendimiento de grano

Existe una fuerte correlación positiva entre la duración del ciclo del cultivo y el rendimiento de grano con respecto a la acumulación del tiempo térmico (Cuadro 2). Se encontró que a

mayor $^{\circ}C \cdot día$ acumulados durante el ciclo fenológico, mayor es el rendimiento de grano (Figura 3). Resultados similares fueron reportados por Pinciroli *et al.* (2004), quienes encontraron una correlación positiva entre los grados días acumulados y el rendimiento en tres variedades de arroz. Mientras el ciclo de la variedad es más largo, acumula mayor tiempo térmico. Se encontró una correlación inversa entre la duración del ciclo y la radiación, en donde a mayor radiación solar el ciclo se acorta.

CUADRO 2. ANÁLISIS DE CORRELACIÓN DE PEARSON (ALFA: 0,05) COMBINADO ENTRE LAS VARIABLES ESTUDIADAS, TONOSÍ 2017.

Variable	$^{\circ}C \cdot día$	Radiación ($cal \cdot cm^{-2} \cdot día^{-1}$)
Duración del ciclo (días)	0,85**	-0,76**
Rendimiento de grano ($t \cdot ha^{-1}$)	0,79**	0,01 ^{ns}

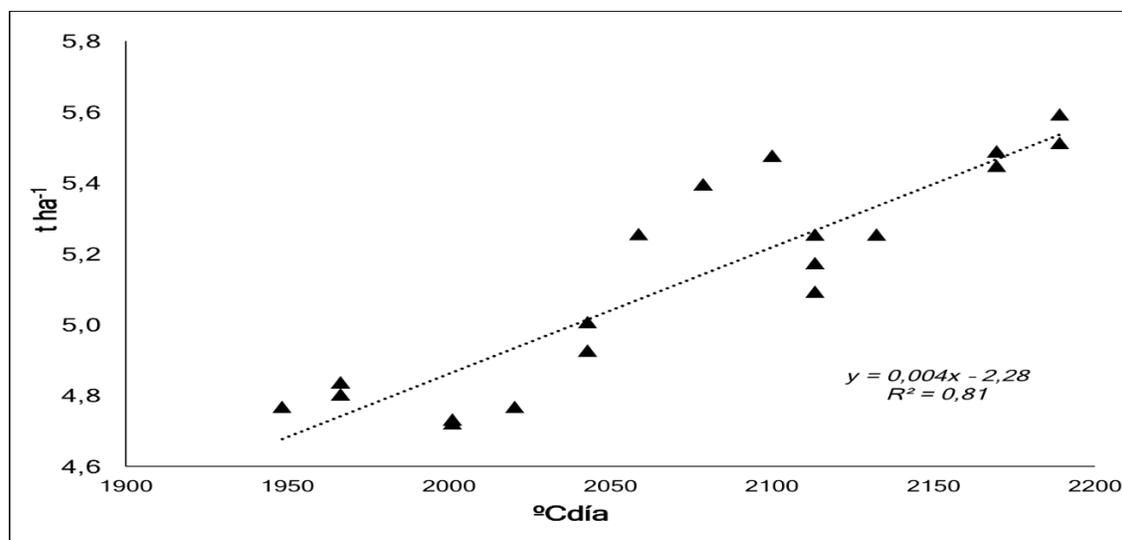


Figura 3. Rendimiento de grano con respecto al tiempo térmico acumulado por las variedades de arroz evaluadas, Tonosí - 2017.

La radiación solar fue similar durante el periodo del primordio floral al llenado de grano para ambas variedades en las dos fechas de siembra con $338 \text{ cal.cm}^{-2}.\text{día}^{-1}$ en agosto y $339 \text{ cal.cm}^{-2}.\text{día}^{-1}$ en septiembre (Figura 4). Esta fase es considerada el periodo crítico de alta luminosidad donde se necesitan alrededor de $500 \text{ cal.cm}^{-2}.\text{día}^{-1}$ para lograr un rendimiento superior a $8,0 \text{ t.ha}^{-1}$ (Yoshida 1981).

El rendimiento de grano de ambas variedades fue mayor en la siembra de agosto en comparación a la siembra de

septiembre. Esta misma relación se encontró en la producción de materia seca. La eficiencia se puede determinar con el índice de cosecha (IC), el cual es la relación entre la biomasa seca producida y el rendimiento de grano seco (0% humedad). Se observó que ambas variedades presentan un IC mayor en la siembra de agosto con respecto a la siembra de septiembre (Cuadro 3). Las variedades modernas tropicales de corta duración presentan un IC que va de 0,3 a 0,5 en la estación lluviosa con alta nubosidad (Bouman *et al.* 2014).

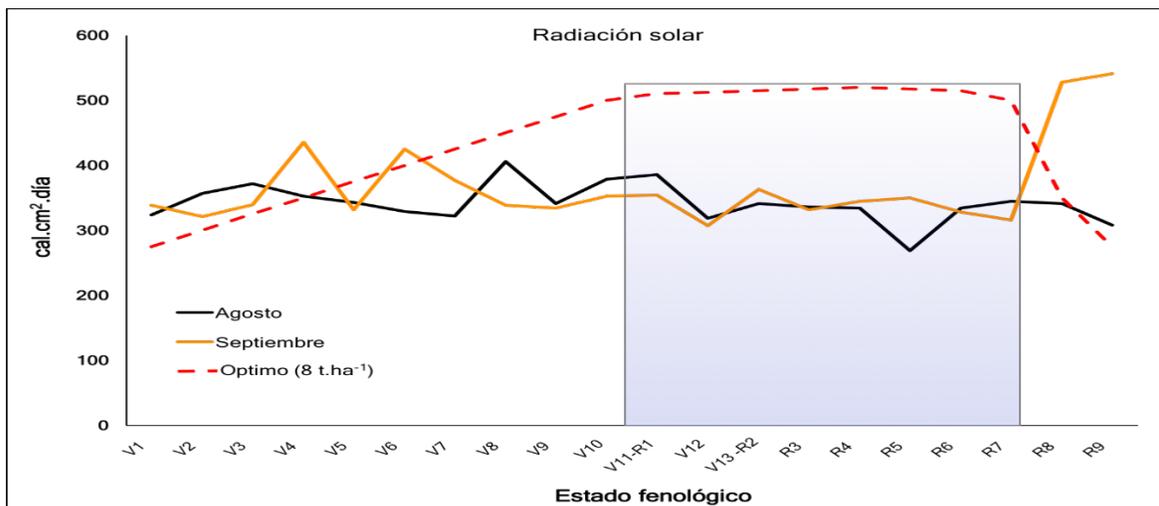


Figura 4. Incidencia de la radiación solar durante el desarrollo del cultivo en dos fechas de siembra, Tonosí - 2017.

CUADRO 3. VALORES MEDIOS DEL ÍNDICE DE COSECHA Y RENDIMIENTO DE GRANO SEGÚN VARIEDAD Y FECHA DE SIEMBRA, TONOSÍ 2017.

Variedad	Fecha de siembra	Rendimiento (t.ha ⁻¹)	Índice de cosecha
IDIAP 38	Agosto	5,38 a	0,37 a
	Septiembre	5,24 b	0,31 b
IDIAP 145-05	Agosto	5,03 a	0,34 a
	Septiembre	4,74 b	0,30 b

Medias con letras iguales en la misma columna, no son significativamente diferentes ($P < 0,001$).

Duración del ciclo fenológico

La duración del ciclo del cultivo está directamente relacionada con la temperatura, específicamente con la acumulación del tiempo termal. Existe una diferencia altamente significativa en la duración del ciclo fenológico de las variedades con respecto a las fechas de siembra, sin embargo, no existe diferencia en la acumulación de tiempo termal por parte de ninguna variedad con respecto a ambas fechas de siembra (Cuadro 4).

La variedad IDIAP 38 completó su ciclo fenológico en 118 días en la siembra de agosto, mientras que en la siembra de septiembre su ciclo se acortó a 112 días. El ciclo fenológico de la variedad IDIAP 145-05 en agosto fue de 114 días y en septiembre completó el ciclo en 108 días (Figura 5). En ambas variedades el ciclo fenológico se acortó en promedio seis días cuando la fecha de siembra se realizó en septiembre con respecto a la siembra de agosto.

Para cumplir su ciclo fenológico, la variedad IDIAP 38 requirió de 2114 °Cdía en la siembra de agosto y 2086 °Cdía en septiembre, mientras que la IDIAP 145-05 acumuló 2034 °Cdía en la siembra de agosto y 2014 °Cdía en septiembre. Los valores de grados días acumulados durante el ciclo de cultivo en las dos fechas de siembra fue similar para la misma variedad (Figura 6). Estos resultados coinciden con los de Maqueira *et al.* (2016), quienes, al estudiar el efecto de la temperatura y su influencia en la duración de las fases fenológicas en cuatro variedades de arroz sembradas en distintas épocas del año en Cuba, encontraron una amplia variación en la duración de las fases del cultivo del arroz en las fechas de siembras establecidas. Esto debido a la influencia de la temperatura, mientras que, al determinar la temperatura acumulada a partir de los °Cdía, no se encontraron diferencias marcadas entre las fechas de siembra, aspecto que ha sido destacado por otros autores (Hernández y Soto 2013).

La variedad tiene un requerimiento térmico determinado para cumplir su fenología y depende de la temperatura media que se registre durante su desarrollo. La temperatura durante el desarrollo del cultivo en la siembra de agosto fue menor a la registrada durante la siembra de septiembre y ambas

temperaturas estuvieron por debajo del óptimo (30° C). Esto sugiere que ambas variedades necesitaron menos tiempo para acumular el requerimiento térmico que demandan para culminar su ciclo fenológico en la siembra de septiembre, donde la temperatura fue mayor (Figura 7).

CUADRO 4. PRUEBA DE T-STUDENT PARA MUESTRAS INDEPENDIENTES (ALFA: 0,05) ENTRE LAS FECHAS DE SIEMBRA EVALUADAS, TONOSÍ - 2017.

Variedad	Prueba de Levene		prueba t para igualdad de medias		
	F	Sig.	t	gl	Sig. (bilateral)
<i>Duración del ciclo (días)</i>					
IDIAP-38	2,46	0,14	18,15	14	< 0,000
IDIAP145-05	4,42	0,12	10,26	14	< 0,000
<i>Tiempo termal acumulado (°C día)</i>					
IDIAP-38	235	0,12	1,58	14	0,137
IDIAP145-05	152	0,10	0,85	14	0,423

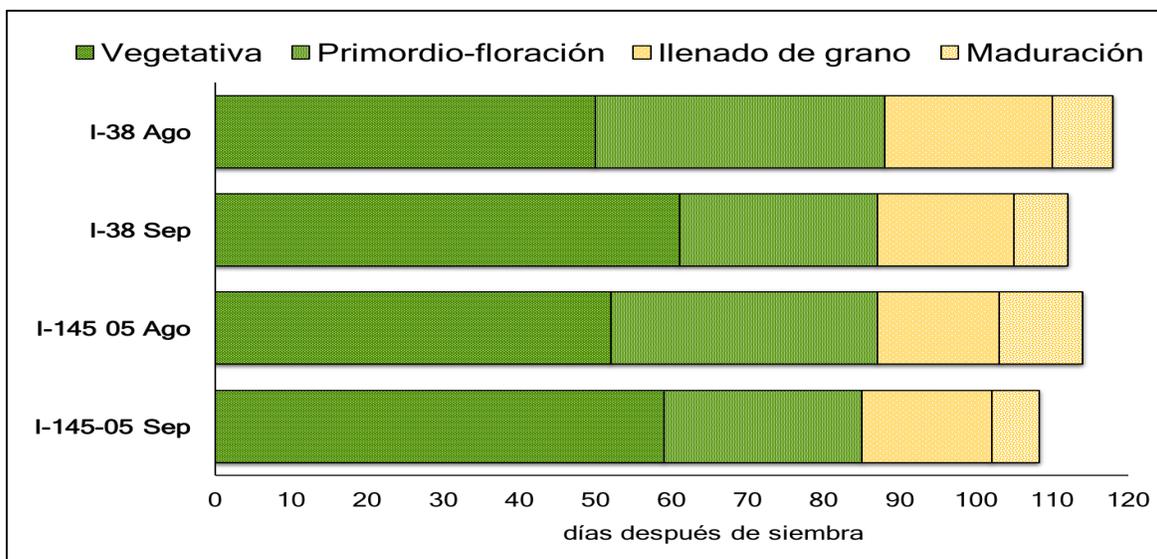


Figura 5. Duración del ciclo fenológico según variedad y fecha de siembra, Tonosí- 2017.

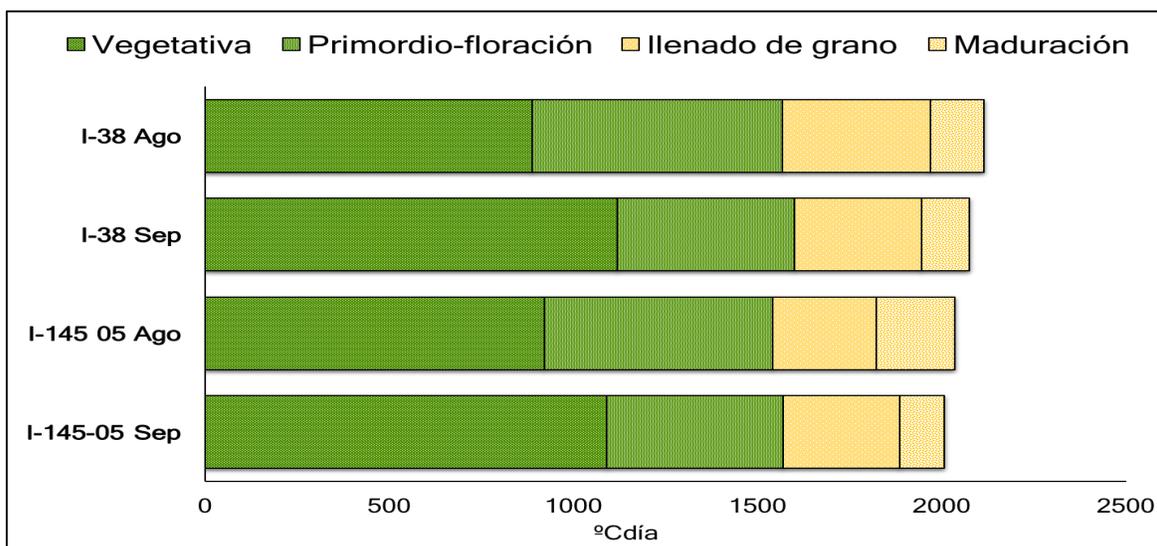


Figura 6. Tiempo termal acumulado según variedad y fecha de siembra, Tonosí - 2017.

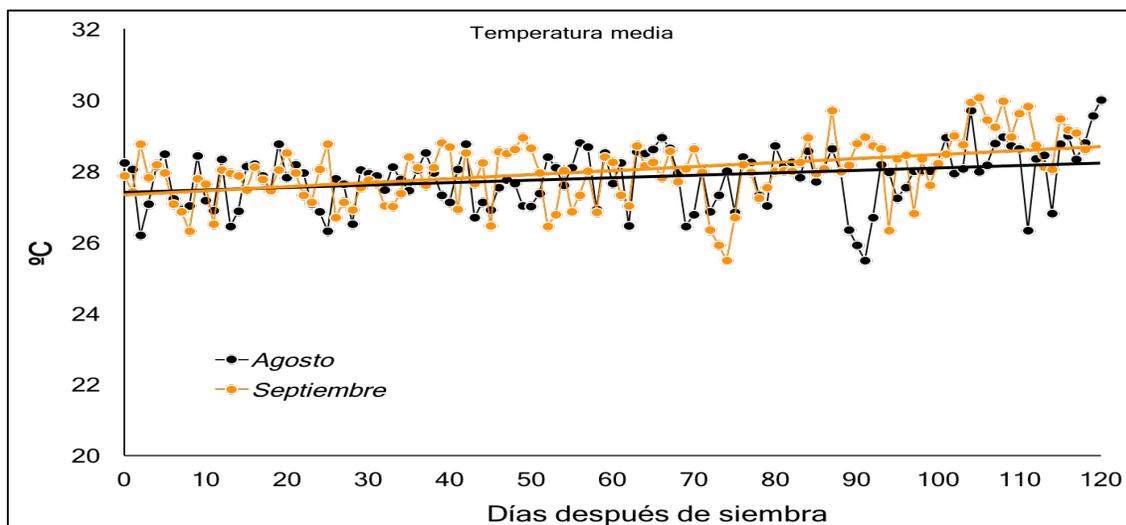


Figura 7. Registro de temperatura media diaria durante el desarrollo del cultivo según fecha de siembra, Tonosí - 2017.

La dependencia de la fenología sobre la temperatura indica que en los trópicos el rendimiento está limitado por el poco tiempo para interceptar radiación dictado por las temperaturas cálidas que aceleran la fenología del cultivo, donde hay poca unidad de luz por tiempo termal acumulado (Fischer y Palmer 1984). Por ejemplo, un cultivar de arroz que necesite 2000 °Cdía para la madurez, tomará 133 días a la cosecha en un ambiente de 25° C, en cambio se requieren 100 días en uno de 30° C. Esto significa que el cultivo en un ambiente cálido tendría disponible menor radiación debido a la mayor velocidad de su desarrollo fenológico. En algunas situaciones, la temperatura aumenta a fines del ciclo, acelerando la fase de llenado de grano y la senescencia de hojas, limitando severamente el

rendimiento, como lo ocurrido en ambas variedades en la fecha de siembra de septiembre. La alta productividad del cultivo en climas frescos se explica por el lento desarrollo fenológico y la capacidad de interceptar radiación por mayor tiempo principalmente en la etapa reproductiva (Bolaños y Edmeades 1992).

Desarrollo fenológico y requerimiento térmico.

Tomando en cuenta los dos ciclos de cultivo y las dos fechas de siembra utilizadas, se determinó el desarrollo fenológico y el requerimiento térmico que necesita cada variedad. El valor medio de la duración y el tiempo termal según el estado fenológico, presenta la variedad IDIAP 145-05 con un ciclo de 112 ± 2 días y requiere 2024 ± 53 °Cdía mientras que

IDIAP 38 presenta un ciclo de 118 ± 2 días y requiere acumular 2100 ± 53 °Cdía para culminar su desarrollo. El mayor efecto de la temperatura sobre el desarrollo fisiológico de ambas variedades en la duración y tiempo

termal, se encuentra durante el periodo comprendido entre el inicio del macollamiento (V_5) y la formación de la hoja bandera (V_{13} a R_2), donde se presenta la mayor variabilidad de acuerdo al intervalo de confianza (alfa: 0,01).

CUADRO 5. VALORES MEDIOS E INTERVALO DE CONFIANZA (ALFA: 0,01) PARA LA DURACIÓN Y TIEMPO TERMAL ACUMULADO DURANTE EL DESARROLLO FISIOLÓGICO SEGÚN LA VARIEDAD, TONOSÍ - 2017.

Etapa	n	IDIAP 145-05		IDIAP 38	
		dds	°Cdía	dds	°Cdía
S ₀	12	0	0	0	0
V ₁	12	6 ± 1	114 ± 11	6 ± 1	124 ± 14
V ₂	12	11 ± 2	200 ± 34	11 ± 1	208 ± 28
V ₃	12	14 ± 2	267 ± 34	15 ± 1	275 ± 30
V ₄	12	19 ± 3	340 ± 58	19 ± 1	344 ± 21
V ₅	12	25 ± 4	450 ± 68	24 ± 4	438 ± 70
V ₆	12	30 ± 3	551 ± 62	29 ± 3	534 ± 68
V ₇	12	36 ± 3	643 ± 69	36 ± 3	648 ± 63
V ₈	12	41 ± 3	737 ± 68	40 ± 3	729 ± 70
V ₉	12	47 ± 4	851 ± 88	47 ± 4	849 ± 90
V ₁₀	12	54 ± 4	976 ± 74	53 ± 4	964 ± 91
V ₁₁ -R ₁	12	61 ± 6	1094 ± 81	60 ± 6	1080 ± 116
V ₁₂	12	67 ± 5	1200 ± 89	68 ± 5	1227 ± 99
V ₁₃ -R ₂	12	75 ± 2	1355 ± 68	78 ± 3	1411 ± 80
R ₃	12	81 ± 1	1464 ± 55	85 ± 1	1528 ± 54
R ₄	12	86 ± 1	1551 ± 38	88 ± 2	1577 ± 62
R ₅	12	90 ± 1	1622 ± 37	92 ± 2	1656 ± 53
R ₆	12	95 ± 1	1704 ± 29	96 ± 1	1736 ± 49
R ₇	12	99 ± 1	1773 ± 40	101 ± 1	1823 ± 58
R ₈	12	102 ± 1	1843 ± 38	108 ± 3	1960 ± 9
R ₉	12	112 ± 2	2024 ± 53	118 ± 2	2100 ± 43

La variedad IDIAP 145-05 alcanza una producción de materia seca de 17,8 t.ha⁻¹ durante su ciclo de cultivo. Esta variedad requiere 976 °Cdía durante la fase vegetativa que va desde la germinación (S₀) hasta el inicio del primordio floral (V₁₀), en tanto la fase reproductiva comprendida entre el primordio floral (V₁₀) y la maduración (R₉) requiere de 1048 °Cdía; la fase de llenado de grano requiere 292 °Cdía y en la fase

de maduración necesita acumular 182 °Cdía (Figura 8).

La variedad IDIAP 38 logra una producción de materia seca de 18,3 t.ha⁻¹ al completar su ciclo de cultivo. Esta variedad requiere 964 °Cdía durante la fase vegetativa, mientras que en la fase reproductiva acumula 1137 °Cdía; la fase de llenado de grano requiere 383 °Cdía y en la fase de maduración necesita acumular 141 °Cdía (Figura 9).

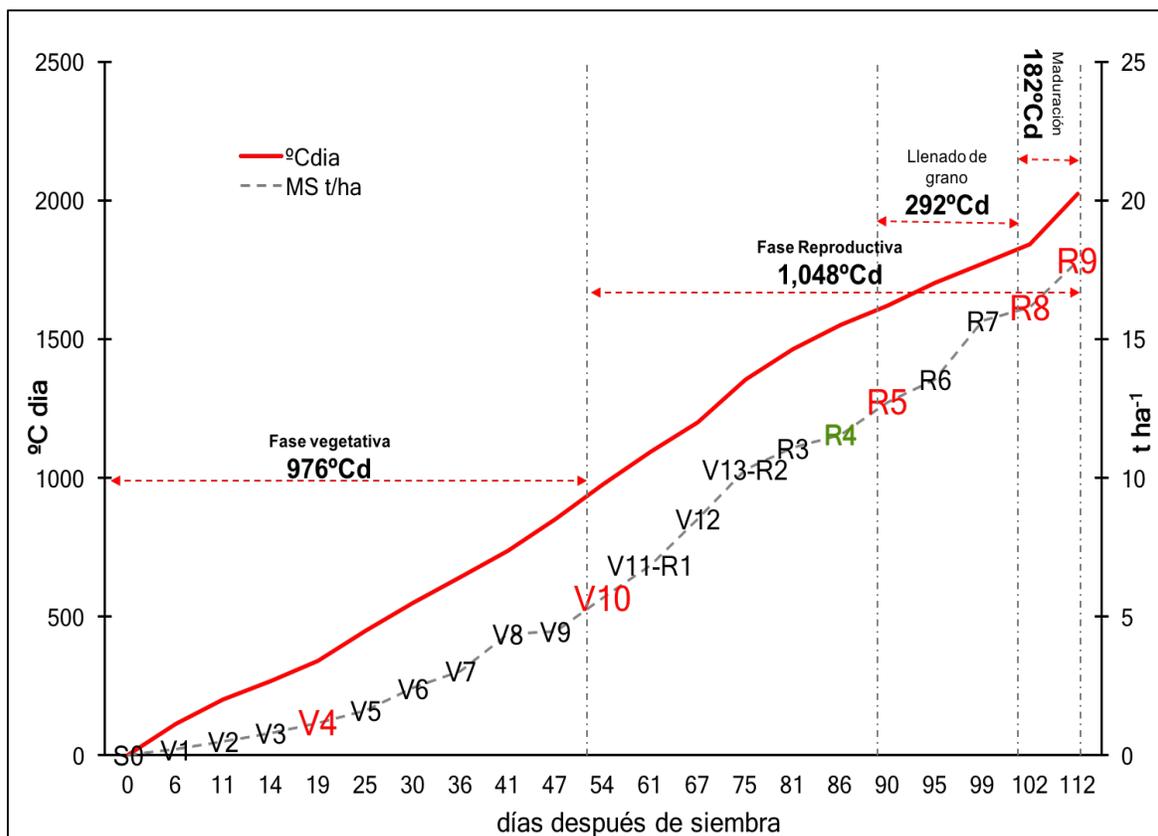


Figura 8. Producción de materia seca y acumulación de tiempo termal durante el desarrollo fisiológico de la variedad IDIAP 145-05, Tonosí - 2017.

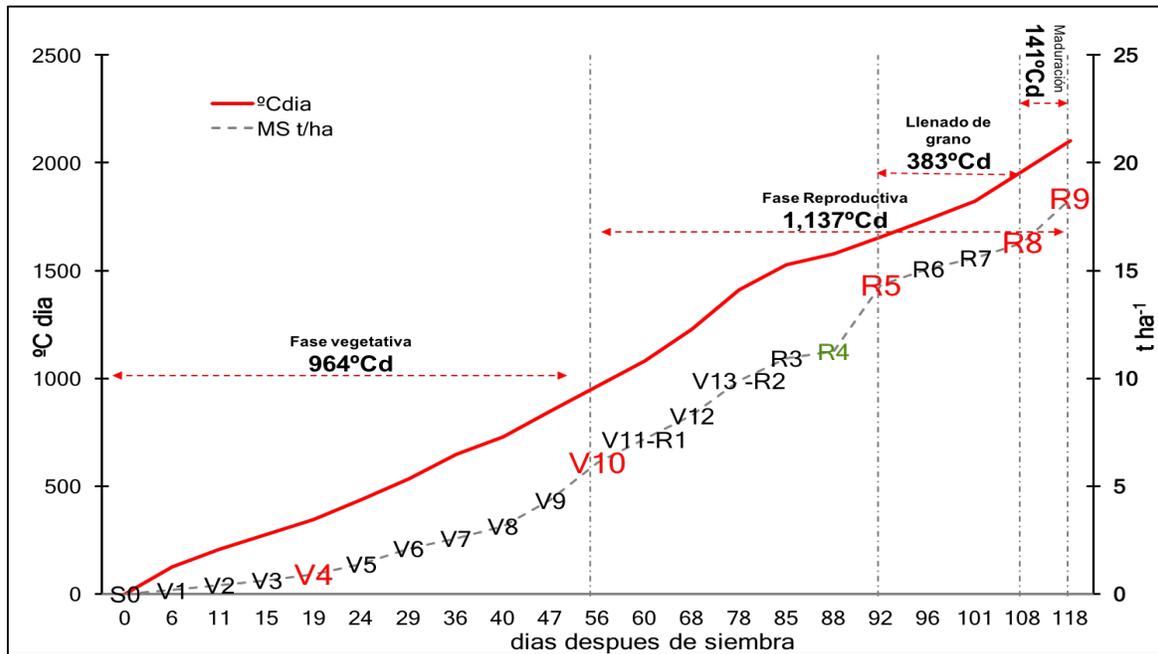


Figura 8. Producción de materia seca y acumulación de tiempo termal durante el desarrollo fisiológico de la variedad IDIAP 38, Tonosí - 2017.

CONCLUSIONES

- El tiempo termal afectó la duración del ciclo fenológico y el rendimiento de las variedades evaluadas.
- La mayor variabilidad en la duración de las etapas fenológicas se encuentra entre el máximo macollamiento hasta la formación de la hoja bandera.
- Se generaron los coeficientes genéticos de dos variedades de arroz que podrán ser utilizados en modelos de predicción ante la variabilidad climática.

BIBLIOGRAFÍA

- ANAM (Autoridad Nacional del Ambiente, PA). 2011. Segunda Comunicación Nacional sobre Cambio Climático: ante la convención marco de las Naciones Unidas sobre el cambio climático. 2ª ed. Panamá. 170 p.
- Batista, A; Urriola, D; Bustamante, S; Batista, E; Díaz, L. 2017. Boletín del clima en la región de Azuero, meses enero-diciembre 2017. Red Agroclimática y calidad de agua en dos sub-cuencas de Los Santos. Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá. 7 p.

- Bolaños, J; Edmeades, G. 1992. La fenología del maíz. Síntesis de resultados experimentales del PRM. 4:251-261.
- Bouman, B; Haefele, S; Izzi, G; Peng, S; Hsiao, T. 2014. Arroz: Respuesta del rendimiento de los cultivos al agua. Organización de Las Naciones Unidas Para la Alimentación y la Agricultura (FAO). Roma, IT. 109-118.
- Camargo, I; Quirós McIntire, E; Zachrisson, B. 2014. Innovación tecnológica para el manejo integrado del cultivo de arroz en Panamá. Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá. 140 p.
- CIAT (Centro Internacional de Agricultura Tropical, CO). 1983. Sistema de Evaluación Estándar para Arroz. Cooperación IRRI-CIAT. Segunda edición, CO. 61 p.
- Counce, P; Keisling, T; Mitchell A. 2000. A Uniform, Objective and Adaptive System for Expressing Rice Development. Crop Science 40:436-443.
- Datta, S. 1986. Crecimiento y desarrollo de la planta de arroz. Producción de arroz. Fundamentos y Prácticas. Primera Edición. Editorial Limusa. 685 p.
- De La Casa, A; Ovando, G. 2007. Integración del Índice de Vegetación de la Diferencia Normalizada (Ndvi) y del Ciclo Fenológico de Maíz para Estimar el Rendimiento a Escala Departamental en Córdoba, Argentina. Agricultura Técnica (Chile) 67(4):362-371.
- Durán-Puga, N; Ruíz-Corral, JA; González-Eguiarte, DR; Núñez-Hernández, G; Padilla Ramírez, FJ; Contreras-Rodríguez, SH. 2011. Temperaturas cardinales de desarrollo en la etapa siembra-emergencia de 11 pastos forrajeros. Rev. Mex. Cienc. Pecu. 2(3):347-357.
- Fisher, K; Palmer, A. 1984. Tropical maize. In: PR Goldsworthy and NM Fischer (Eds) The Physiology of Tropical Field Crops. John Wiley and Sons, New York. p. 213-248.
- Hernandez, C; Soto, C. 2013. Determinación de índices de eficiencia en los cultivos de maíz y sorgo establecidos en diferentes

- fechas de siembra y su influencia sobre el rendimiento. *Cultivos Tropicales* 34(2):24-29.
- Hernández, N; Soto, F; Caballero, A. 2009. Modelos de simulación de cultivos. Características y usos. Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas, Cuba. *Cultivos tropicales* 30(1):73-82.
- Holdridge, Lr. 1967. Sistema de clasificación de zonas de vida de Holdridge. *Ecología basada en zonas de vidas*. San José, CR. 206 p.
- Maqueira, L; Pérez, S; Torres, W; Díaz, D; Roján, O. 2016. Influencia de la temperatura ambiental y la fecha de siembra sobre la duración de las fases fenológicas en cuatro cultivares de arroz (*Oryza sativa* L.). Cuba. *Cultivos Tropicales* 37(1):65-70.
- Maqueira, L; Pérez, S; Torres, W. 2010. Crecimiento y productividad de variedades de arroz de diferentes ciclos en dos fechas de siembra en la época de frío en Los Palacios, Pinar del Río. Cuba. *Cultivos Tropicales* 30(3):28-31.
- Méndez, R. 2002. Eventos fenológicos. Previsión de ocurrencia en el cultivo de arroz a través del modelo de suma térmica. *Revista Arroz ACA* 3(33):22-25.
- MIDA (Ministerio de Desarrollo Agropecuario, PA). 2014. Estudio, diseño y construcción del proyecto integral y multipropósito para el desarrollo agropecuario del Valle de Tonosí, provincia de Los Santos. Hidalgo & Hidalgo constructores. 193 p.
- Pascale, A; Damario, E. 2004. Bioclimatología agrícola y Agroclimatología. Ed. Facultad de Agronomía. Universidad de Buenos Aires, Argentina. 550 p.
- Pincirolí, M; Martínez, S; Vidal, A; Bezus, R; Maiale, S. 2004. Aplicación de índices agroclimáticos sobre la productividad de arroz en una zona templada marginal. Universidad Nacional de Mar de Plata. Argentina. 2 p.
- Ruíz C, JA; Flores-López, HE; Ramírez-Díaz, JL; González-Eguiarte, DR. 2002. Temperaturas cardinales y duración del ciclo de madurez del híbrido de maíz H-311 en

- condiciones de temporal. *Agrociencia* 36:569-677.
- Streck, N; Weiss, A; Xue, Q; Baenziger, P. 2003. Improving predictions of developmental stages in winter wheat: A modified wang and Engel model. *Agricultural and Forest Meteorology, Amsterdam* 115(3-4):139-150.
- Velázquez, J; Rosales, A; Rodríguez, H; Salas, R. 2015. Determinación de las etapas de inicio de macollamiento, inicio de primordio, floración y madurez en la planta de arroz, con el sistema S, V y R correlacionado con la sumatoria térmica. *Agronomía Costarricense* 39(2):121-129.
- Vidal, A; Pincioli, M; Bezus, R. 2008. Unidades calóricas y ciclo a panojamiento de genotipos de arroz en una zona de cultivo subóptima. *In XII Reunión Argentina de Agrometeorología, 8 al 10 de octubre de 2008. San Salvador de Jujuy – Argentina.* p. 147-148.
- Villalba, J; Jarma, A; Combatt, E. 2017. Respuesta fisiológica de cultivares de arroz a diferentes épocas de siembra en en Córdoba, Colombia. *Temas agrarios* 22:(2). 9-19.
- Villarreal, J; Name, B. 1996. Técnicas analíticas del laboratorio de suelos. Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá. 110 p.
- Yoshida, S. 1981. Fundamentals of rice crop science. International Rice Research Institute, Los Baños, Philippines. 296 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.