

La variabilidad climática y su efecto en el cultivo del café (*Coffea arabica* L.)

Climate variability and its effect on the cultivation of coffee (*Coffea arabica* L.)

Rosabel Rodríguez Rojas¹, Ricardo Oses Rodríguez¹, José A. Lacerra Espinosa², Alfredo Pedraza Martínez¹.

1. Centro Meteorológico Provincial de Villa Clara. Cuba. Dirección: Martha Abreu 59 altos, esquina Juan Bruno Zayas, Santa Clara, Villa Clara, Cuba. 20 2444- 20 6768 ext 106

2. Estación Experimental de café. Jibacoa, Villa Clara, Cuba.

E-mail: rosabel.rodriguez@vcl.insmet.cu

RESUMEN. La agricultura participa en de forma activa en la búsqueda de soluciones al problema del cambio climático, por tal motivo se hace necesario contribuir a minimizar el impacto de la variabilidad climática en la producción cafetalera del Escambray Villaclareño. Mediante el estudio de las variables climáticas en el desarrollo del cultivo, genotipos resistentes a la época seca, rendimientos y sus componentes, se obtienen resultados que garantizan la continuidad en la producción cafetalera y minimizan los daños en la región tomando en cuenta la incidencia futura que tendrá el clima. El estudio preliminar comprende un total de 20 genotipos de café y abarca el periodo 2007-2009, en el mismo fue analizado variables climáticas, variables biológicas y de producción. Los resultados aportan que existe una correlación negativa del rendimiento industrial con la temperatura máxima, temperatura media, viento medio, humedad relativa máxima y presión a nivel de estación. Existe correlación positiva del rendimiento industrial con la temperatura mínima, lluvia, humedad relativa mínima y humedad relativa. No existe correlación entre las variables climáticas y las biológicas. Los mayores valores de rendimiento industrial se obtuvieron en los genotipos 7, 19, 9 y 10. Los genotipos 2 y 17 aportan mayor número de granos planos y la variable climática de mayor incidencia es la Temperatura media (Tm). La cantidad de cerezas por planta presenta un máximo para el genotipo 7, seguido del 9, 15, 19, 20 y 5, siendo la Humedad Relativa media (HRm) la variable climática de mayor incidencia.

Palabrac clave: Café, regresión, variabilidad climática.

ABSTRACT. Agriculture plays an active role in finding solutions to the problem of climate change, for this reason it is necessary to help minimize the impact of climate variability in coffee production in the Escambray in Villa Clara. Through the study of climatic variables on crop development, genotypes resistant to the dry season, yields and their components, we obtain results that guarantee continuity in coffee production and minimize damage in the region taking into account the impact that in the future have the climate. The preliminary study comprises a total of 20 coffee genotypes and covers the period 2007-2009, were analyzed in the same climatic, biological and production variables. The results show that there is a negative correlation of industrial performance with the maximum temperature, mean temperature, mean wind, relative humidity and pressure at station level. Positive correlation of the industrial performance with the minimum temperature, rainfall, relative humidity, minimum and average are obtained. No correlation between the behavior of the climatic and biological variables. The highest industrial yield in genotypes 7, 19, 9 and 10 were obtained. Genotypes 2 and 17 grains provide more flat and the climate variable of greatest impact is the average temperature (Tm). The amount of cherries per tree has a maximum for genotype 7, followed by 9, 15, 19, 20 and 5, the average relative humidity (HRm) was the climate variable of highest incidence.

Keywords: Coffee, regression, climate variability.

INTRODUCCIÓN

En Villa Clara, el café crece en las cuevas de las montañas del Escambray, un conjunto montañoso que se extiende desde la parte del sudeste de la provincia Cienfuegos hasta la vecina provincia Sancti

Spiritus. Esta región, a pesar de recibir el impacto del cambio climático en cuanto al aumento de las temperaturas y periodos con déficit hídrico, donde se han sucedido periodos lluviosos con

características atípicas muy secos, (Osés *et al.*, 2010) se muestran que los años determinados como extremos no se diferencian significativamente de los valores históricos, lo que indica que estos están dentro de la variabilidad histórica del área objeto de estudio.

No obstante es preciso continuar profundizando el estudio de los valores mensuales, debido a que pueden existir variaciones importantes dentro de un mes particular, que indiquen que los parámetros se alejen de los valores históricos. En resultados determinados para el evento ENOS 1997-1998, se observaron desviaciones estándares en determinados meses superiores 2 y 3 veces a los valores históricos, indicando un impacto importante. Osés *et al.*, 2003

MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo se desarrolló durante el periodo comprendido entre los años 2007 al 2009, en el área que ocupa la Estación Experimental del café y zonas aledañas, ubicada en el Escambray Villaclareño. En el mismo se analizó el comportamiento anual de las variables climáticas siguientes: Temperatura máxima (Tx), Temperatura mínima (Tn), Temperatura media (Tm), Precipitación (Lluv), Viento medio (Vto Med), Humedad Relativa Máxima (HRx),

El aumento de las temperaturas y del nivel del mar, el desequilibrio en los procesos de precipitaciones y acrecentados períodos de sequía, se convierten en las principales consecuencias que provocaría este fenómeno, el cual traería aparejado, además, una disminución de la disponibilidad de los recursos hídricos. También la agricultura, sufriría considerables pérdidas, pues muchos genotipos de cultivos tendrán que adaptarse a nuevas condiciones climáticas y no pocas especies de animales y plantas padecerán transformaciones en su ciclo de vida, e incluso podrían extinguirse.

Debido a esto, el objetivo de nuestro trabajo fue conocer la posible variabilidad climática en el desarrollo del cultivo del café en el Escambray Villaclareño mediante el empleo de herramientas estadísticas.

Humedad Relativa Mínima (HRn), Humedad Relativa Media (HRm), Presión a nivel de estación (Pne)

Para un total de veinte genotipos de café desarrollados en áreas experimentales del área objeto de estudio (Tabla 1), durante las campañas 2007- 2009, se analizó la correlación y análisis de variables biológicas y de producción siguientes:

Tabla 1. Relación de genotipos desarrollados en el área objeto de estudio

No	Genotipos	Origen genético
1	CUBCC 0520	19/1 Caturra rojo x CIFC 832/2(H de Timor)
2	CUBCC 0514	19/1 Caturra rojo x CIFC 832/2(H de Timor)
3	CUBCC 0215	19/1 Caturra rojo x CIFC 832/1(H de Timor)
4	CUBCC 0223	19/1 Caturra rojo x CIFC 832/1(H de Timor)
5	CUBCC 0522	19/1 Caturra rojo x CIFC 832/1(H de Timor)
6	CUBCC 0523	19/1 Caturra rojo x CIFC 832/1(H de Timor)
7	CUBCC 0510	19/1 Caturra rojo x CIFC 832/2(H de Timor)
8	CUBCC 0511	19/1 Caturra rojo x CIFC 832/1(H de Timor)
9	CUBCC 0515	19/1 Caturra rojo x CIFC 832/2(H de Timor)
10	CUBCC 0521	19/1 Caturra rojo x CIFC 832/1(H de Timor)
11	CUBCC 0512	19/1 Caturra rojo x CIFC 832/2(H de Timor)
12	CUBCC 0524	19/1 Caturra rojo x CIFC 832/1(H de Timor)
13	CUBCC 0526	19/1 Caturra rojo x CIFC 832/1(H de Timor)
14	CUBCC 0527	19/1 Caturra rojo x CIFC 832/1(H de Timor)
15	CUBCC 0525	19/1 Caturra rojo x CIFC 832/1(H de Timor)
16	CUBCC 0528	19/1 Caturra rojo x CIFC 832/1(H de Timor)
17	CUBCC 0529	19/1 Caturra rojo x CIFC 832/1(H de Timor)
18	CUBCC0 491(Test.)	Mutación del Cultivar Bourbon
19	CUBCC 0545*	Mutación del Cultivar Típica Cramer
20	CUBCC 0513*	Cafetos silvestre de Etiopia(Cultivar F5)

· Variables biológicas:

Afectación por plagas y enfermedades: Índice de infección por Cercospora (*Cercospora coffeicola*) y Roya (*Hemileia vastatrix* Berk & Br.), Índice de Infestación del Minador (*Perileucoptera coffeella* Green)

· Variables de producción:

Componentes de rendimiento (Rendimiento industrial (%), granos planos (%) y cerezas por plantas (kg).

Todos los resultados obtenidos fueron analizados y procesados por programas y software soportados sobre Microsoft Windows XP Profesional ver. 2002 Service Pack3. Para el análisis de la información y confección de las bases de datos se utilizó el programa EXCEL. En el procesamiento estadístico y análisis de la correlación y regresión entre las variables se utilizó el programa SPSS versión 13.0.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La temperatura media anual en el municipio de Manicaragua (la zona objeto de estudio se encuentra sobre los 900 m de altitud), es inferior a 19 °C y en la franja inferior de las macropendiente meridional supera los 25°C, mientras que en la parte baja de la septentrional oscila entre 23 y 25°C.

Las precipitaciones se encuentran entre los elementos climáticos de mayor variabilidad temporal y espacial. En su carácter temporal se distingue su estacionalidad en dos períodos bien definidos en todo su espectro altitudinal (lluvioso y poco húmedo), destacándose el mes de junio (25% de la norma anual) como el más lluvioso, mientras que diciembre y enero son los de menor lámina con 1,5 y 3 %, respectivamente. (Vidallet, 1989)

· Variables biológicas y climáticas

La correlación para cada variable analizada (biológica y climática) aportó como resultado que

no existe correlación significativa entre el comportamiento de las variables climáticas y las biológicas, ósea que en el periodo analizado el comportamiento de las variables climáticas no fueron significativas para la aparición y desarrollo de las variables biológicas evaluadas.

· Variables de Producción:

Las correlaciones del rendimiento industrial de café con las variables climáticas (Tabla 2) perteneciente a la estación meteorológica La Piedra, ubicada en el municipio Manicaragua, arroja que existe una correlación negativa significativa al 99 % con Tx, Tm, Vto Med, HRx y Pne; lo que indica que a medida que aumentan estos valores el rendimiento industrial disminuye. No obstante, existe una correlación positiva significativa al 99 % con Tn, Lluv, Hrn y Hrm por lo que a medida que estos valores aumentan entonces aumenta el rendimiento industrial.

Tabla 2. Correlaciones del rendimiento industrial de café con las variables climáticas de la estación de la Piedra

Rend. Ind	Tx	Tn	Tm	Lluv	Vto med	HRx	HRn	HRm	Pne
Pearson N= 60	-0.78**	0.75**	-0.39**	0.70**	-0.73**	-0.39**	0.67**	0.59**	-0.39**

** Significación al 99 % del T de Student

La estadística descriptiva del rendimiento industrial con respecto al comportamiento de las variables climáticas (Tabla 3) nos muestra que el valor

máximo es de 20.59 % y el menor es de 14.16 %, la desviación estándar es de 1.63.

Tabla 3. Estadística descriptiva. Rendimiento industrial - variables climáticas

	N	Mínimo	Máximo	Media	Desv. estándar
Rend. industrial	46	14.16	20.59	17.04	1.63

Algunos parámetros del análisis de regresión para esta variable de rendimiento (Tabla 4), aportan como resultados que las variables temperatura máxima, humedad relativa media y precipitaciones

inciden en el rendimiento industrial del café, el R ajustado es de 99.4 % y el error estándar es pequeño indicando una buena ecuación de regresión.

Tabla 4. Resultados de la Regresión del rendimiento Industrial de Café

Modelo	R	R cuadrado ^a	Ajuste R cuad	Error estándar	Durbin-Watson
3	0.997 ^d	0.994	0.994	1.321	1.390

d Predictor: Tx, HRm, Lluv

El análisis de varianza de la regresión fue significativo y permitió una adecuada ecuación de regresión. (tabla 5)

El modelo es significativo, posee una F de Fisher de 2560.96 y es significativa al 100%.

Tabla 5. Análisis de Varianza de la Regresión

Modelo	Suma de cuadrados	Media	F	Sig
3	13482.16	4469.04	2560.96	0.000 ^d

d Predictor: Tx, HRm, Lluv

e Variable dependiente: Rend industrial

Al establecer un modelo que permite determinar mediante el empleo de constantes y de valores promedios de variables climáticas, el posible comportamiento del rendimiento industrial del cultivo del café (Tabla 6), podemos apreciar que el diseño es ajustable a otras zonas de

desarrollo del cultivo, siempre que se utilicen los valores de las variables propias de cada lugar.

$$\text{Rendimiento industrial} = 2.07 * \text{TxPiedra} - 0.64 * \text{HRm Piedra} + 0.002 * \text{LluvPiedra}$$

Tabla 6. Modelo obtenido para el rendimiento industrial de café en función de las variables climáticas de la estación la Piedra

Modelo	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados	t	Sig.
	B	Error estándar	Beta		
3 Tx,	2.073	±0.342	3.652	6.05	0.00
HRm	-0.637	±0.139	-2.819	-4.59	0.00
Lluvia	0.002	±0.001	0.165	2.67	0.01

a. Variable dependiente: Rend Industrial del T de Student

En el modelo se seleccionaron las variables climáticas temperatura máxima, lluvia y humedad relativa media, teniendo en cuenta la correlación mostrada, el resto de las variables fueron excluidas. De estas variables climáticas se puede apreciar que a medida que aumenta la temperatura máxima y la lluvia aumenta el rendimiento industrial en la zona de estudio, mientras que al aumentar la humedad relativa media disminuye el rendimiento industrial en la zona de estudio.

Al observar el rendimiento industrial promedio de todos los genotipos para los tres años de estudio para el café en la zona de estudio (Figura 1), se apreció como esta variable ha sido inestable para el periodo analizado, con tendencia al aumento para el año 2009, ello puede estar influenciado por la mezcla varietal en la obtención de producciones de estas campañas. Además pudo haber estado influenciado por los eventos meteorológicos diferentes ocurridos en el 2009 a los del 2007.

Cuando se realizó el análisis detallado por genotipos y años, esta variación se hizo más notable para un grupo de genotipos tanto en

aumento como en disminución, acomodado a las influencias climatológicas. (figura 2)

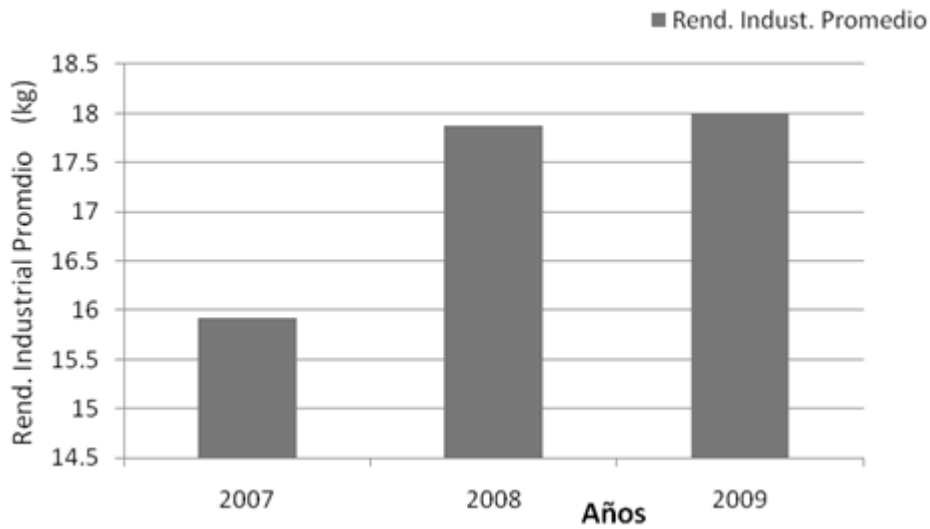


Figura 1. Rendimiento Industrial promedio de los genotipos de café para los tres años de estudio

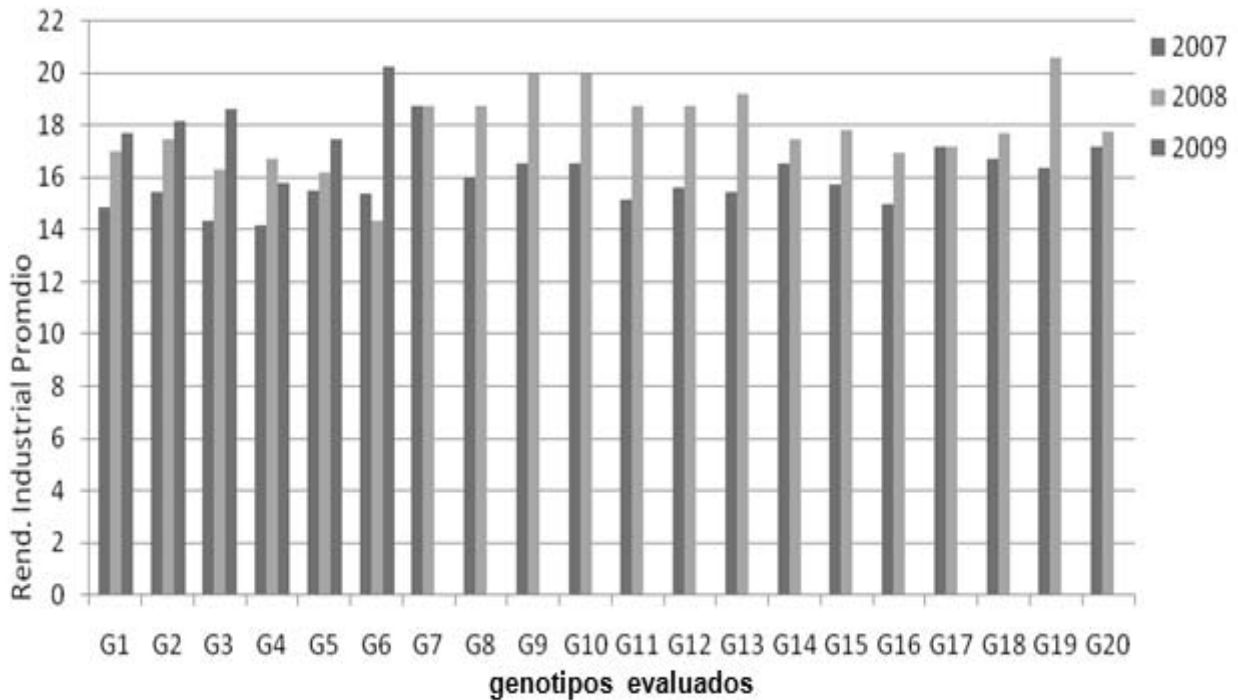


Figura 2. Rendimiento Industrial de los genotipos de café evaluados en la zona de estudio

El rendimiento industrial para el cultivo por genotipos mostró que existen diferencias en entre los genotipos evaluados (figura 2). Los picos de rendimientos para los genotipos 7, 19, 9 y 10 se encuentran muy por encima de los valores medios, mientras que los genotipos 8,13, 17, 18 y 20 mostraron rendimientos cercanos a la media del rendimiento.

Los genotipos 1, 4, 5, 6, 7,11, 15 y 16 mostraron valores de rendimiento por debajo de la media, aunque los de menor potencial de rendimiento, para el periodo evaluado en el área, fueron el genotipo 4 y 16.

· Granos Planos

El componente de rendimiento granos planos por genotipos, se aprecia que varios genotipos como el 2, 4, 7, 17 y 18 mostraron los mayores

valores con porcentajes por encima del 89 %, siendo los mejores para este aspecto del rendimiento; todo lo contrario a genotipos 5, 6 y 13, como los de menor porcentaje de granos planos (menor de 85 %). (figura 3)

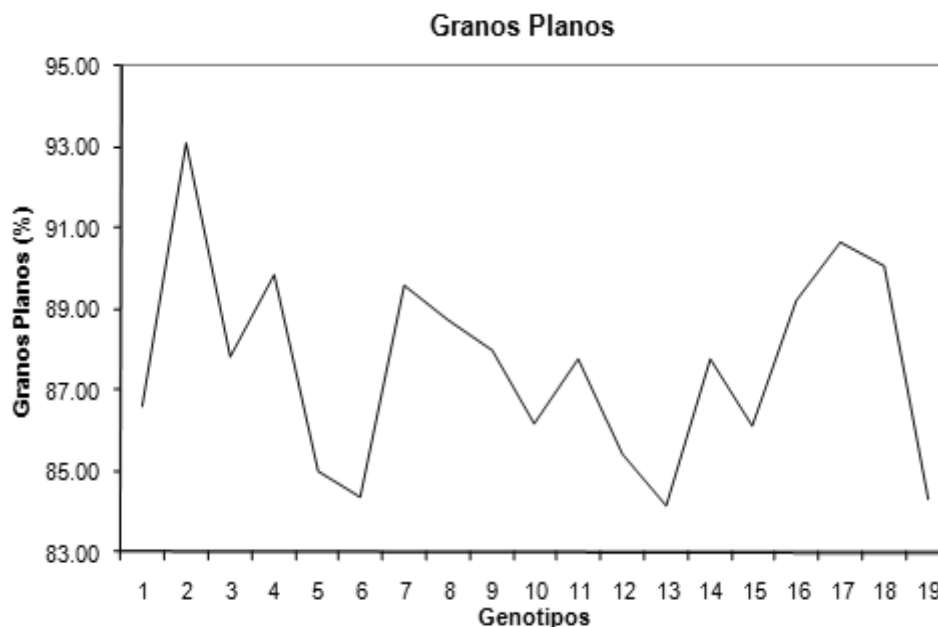


Figura 3. Porcentaje de granos planos por genotipo

El componente de rendimiento granos planos es considerado como favorable para el industrial, aspecto positivo para la calidad del producto final. Los genotipos 2 y 17 aportaron mayor número de granos planos y los genotipos 6, 13 y 19 presentaron los menores.

La Tabla 7 expone las estadísticas descriptivas para este componente de rendimiento y genotipos analizados, aportando un valor máximo de 93.08, mínimos de 84.17 y valores medios de 87.61, la desviación estándar de 2.45.

Tabla 7. Estadística descriptiva componente de rendimiento Granos planos-genotipo

Granos planos	N	Mínimo	Máximo	Media	Desv. Estándar
	19	84.17	93.08	87.61	± 2.45

Los resultados de los modelos estadísticos de regresión para un mejor análisis de las variables de componentes de rendimientos, según los modelos utilizados fueron de la manera siguiente:

de rendimiento la variable climática temperatura media (Tm) incide de manera significativa sobre la presencia y número de granos planos, a medida que aumenta la temperatura media aumenta el número de granos planos.

Modelos granos planos

Teniendo en cuenta los resultados de los estadígrafos (Tablas 8, 9 y 10) el modelo de granos planos es ajustable. Las variables guardan relación entre sí, para este componente

Tabla 8. Resultados de la Regresión de componente de rendimiento granos planos

Modelo	R	R cuadrado	Ajuste R cuadrado	Error estimado	Durbin - Watson
1	0.99 ^b	0.99	0.99	3.30	1.76

b. Predictor: Tm. del T de Student

Tabla 9. Análisis de Varianza de la Regresión

Modelo	Suma de cuadrado	Media	F	Sig.
1 Tm	423028.5 ^b	422440.1	88770.42	0.00 ^a

a Predictor: Tm. del T de Student

Tabla 10. Modelo para el componente de rendimiento granos planos

Modelo	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados	t	Sig.
	B	Error estándar	Beta		
1 Tm	3.61	±0.018	0.999	196.9	0.00

a.variable dependiente: Granos planos. del T de Student

Rendimiento de cerezas por planta (kg)

Los kilogramos de cereza por planta es otro de los

componentes decisivos e importantes en la obtención de

óptimos resultados en la industria cafetalera. (Figura 4)

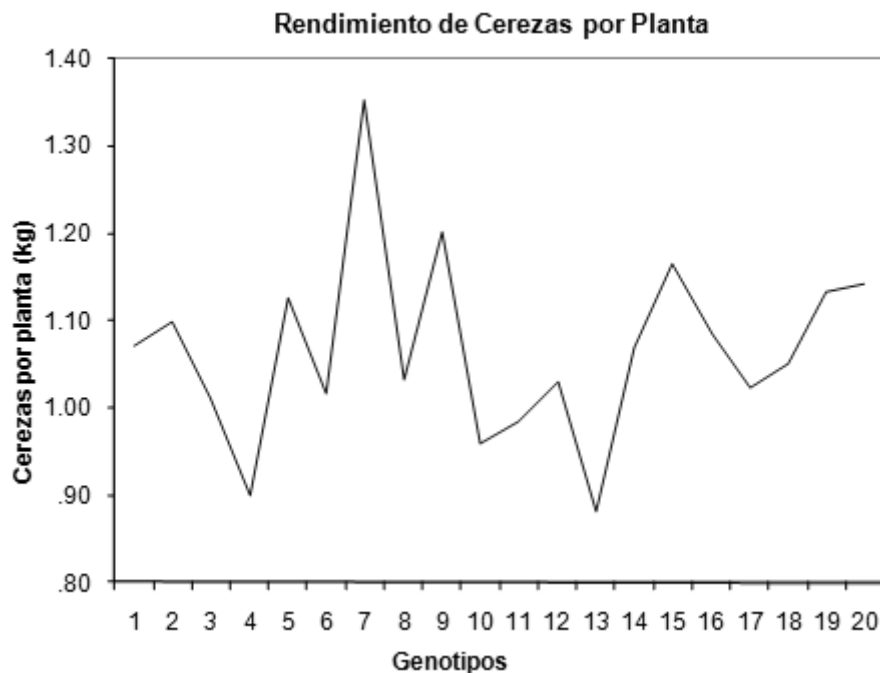


Figura 4. Cerezas por planta en los diferentes genotipos

Para los genotipos estudiados, aporta como resultado que para el genotipo 7, se presenta un valor máximo de rendimiento por planta, seguido del 9, 15, 19, 20 y 5, en ese orden.

Los menores aportes de esta variable lo brindan los genotipos 13 y 4. Los resultados de las estadísticas descriptivas en cuanto a la cantidad (kg) de cereza por planta (Tabla 11), muestra valores máximos, mínimos y medios (kg).

Tabla 11. Estadística descriptiva componente de rendimiento (kg/cer/planta)-genotipo

	N	Mínimo	Máximo	Media	Desv. Estándar
kg cereza/planta	20	0.88	1.35	1.06	±0.10

· Modelos Cerezas / planta
 Para este caso los modelos aportan que la variable climática humedad relativa media (HRm), incide de manera significativa en el número de cerezas por

planta presentando también un buen ajuste este modelo (Tablas 12, 13 y 14). A medida que aumenta la humedad relativa media aumenta el número de cerezas por planta.

Tabla 12. Resultados de la Regresión de componente de rendimiento cerezas/planta

Modelo	R	R cuadrado	Ajuste R cuadrado	Error estimado	Durbin - Watson
1	0.98 ^b	0.97	0.97	0.16	2.07

b. Predictor: HRm. del T de Student

Tabla 13. Análisis de Varianza de la Regresión

Modelo	Suma de cuadrado	Media	F	Sig.
1 HRm	69.86 ^b	68.3	2590.82	0.00 ^a

a Predictor: HRm. del T de Student

Tabla 14. Modelo para el componente de rendimiento kg cereza/planta

Modelo	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados	t	Sig.
	B	Error estándar	Beta		
1 HRm	0.014	0.000	0.989	50.9	0.00

a. variable dependiente: kg cereza/planta. del T de Student

CONCLUSIONES

1. No existió una marcada incidencia de la variabilidad climática sobre el desarrollo del cultivo del café en el Escambray Villaclareño, con la información climática disponible se obtuvo que la Temperatura máxima, la Humedad Relativa media y las Precipitaciones aportan tendencias negativas no significativas.

2. No se presenta correlación significativa entre las variables climáticas y las biológicas.

3. Los genotipos CUBCC 0510, CUBCC 0545, CUBCC 0515 y CUBCC 0521, muestran los mejores resultados para la obtención de mayores valores de rendimiento industrial.

4. Para un mayor número de granos planos, lo cual se traduce en mayor calidad del grano los genotipos CUBCC 0514 y CUBCC 0529

5. Se presenta un máximo de cerezas por planta en CUBCC 0510, CUBCC 0515, CUBCC 0525, CUBCC 0545 CUBCC 0513 y CUBCC 0522, en ese orden.

BIBLIOGRAFÍA

1. Lapinel, B. La circulación atmosférica y las características espacio-temporales de las lluvias en Cuba”. Tesis de Doctor en Ciencias Geográficas, Camagüey, 1988,173 p.

2. Lapinel, B., R. Rivero, R. Rivero, R. Aroche, D. Pérez, C. Fonseca, V. Cutié, A. Roque, et al. Causas de la sequía en Cuba y su pronóstico. Informe de Resultado Científico Técnico. INSMET. 2000

3. Lapinel, B., R. Rivero, y R. Aroche. Caracterización de los factores circulatorios, hídricos y energéticos asociados al comportamiento anómalo del régimen de las lluvias en Cuba. Informe Científico – Técnico, Instituto de Meteorología. 1999.120 p.

4. Lapinel, B., V. Cutié, M. Seguí, y R. Rivero. Períodos óptimos para investigar procesos causales de las sequías en Cuba, Informe Científico Técnico Oficina Territorial de Camagüey. 1997.

5. López, P.: El café. Monografías. (consultado, enero, 2009)

6. Martín, E., R Rodríguez, I Marrero. Estudio mapificado sobre un Sistema de Información Geográfico del Comportamiento Histórico de las Precipitaciones en la Provincia de Villa Clara. Informe Final Proyecto Territorial Centro Meteorológico Provincial Villa Clara. 2004.55 p.

7. Osés, R.; G. Saura y A. Pedraza. Impacto Climático hasta el 2020 en la temperatura de la Provincia de Villa Clara. Cuba. Publicado en la VI Conferencia Científica Internacional de Ingeniería Mecánica. Memorias del evento. 2010.

8. Osés, R.; G. Saura; A. Pedraza, et al. Algunas Consideraciones sobre el impacto del evento ENOS 97-98 en Villa Clara. Simposio de Cambio Global: Hacia una visión sistémica Punta Arenas. 2003.

9. Vidallet, J. D .Ritmo anual de las precipitaciones. Nuevo Atlas Nacional de Cuba. Instituto de Geografía de la Academia de Ciencias de Cuba, Instituto Cubano de Geodesia y Cartografía e Instituto Geográfico Nacional España. 1989. VI.3.p. 4 - 35.

Recibido: 17/10/2011

Aceptado: 09/02/2012