

# EFFECTO DE LA TEMPERATURA EN LA PRODUCCIÓN DE CAFÉ

Esther Cecilia Montoya Restrepo\*; Álvaro Jaramillo Robledo\*\*

---

**MONTOYA R., E.C.; JARAMILLO R., A. Efecto de la temperatura en la producción de café. Revista Cenicafé 67(2): 58-65. 2016**

Para entender la complejidad de las relaciones suelo, agua, planta y atmósfera, en cultivos perennes como el café se recurre a modelos mecanísticos, con los cuales se identifica el efecto de variables exógenas como la temperatura, en la producción. Es por ello que, con el propósito de determinar el porcentaje de disminución de la producción de café cereza por efecto de la temperatura, se obtuvo la producción de café en diferentes escenarios de condición de El Niño, La Niña y periodos normales, para diferentes localidades. La variable para identificar el efecto de la temperatura fueron las unidades térmicas acumuladas, llegando a establecer a través de una regresión lineal simple, que por cada 100 unidades térmicas que se tengan por defecto o exceso de las requeridas, la producción se disminuye en un 2,6%.

**Palabras clave:** Unidades térmicas acumuladas, ENOS, modelación.

---

## TEMPERATURE EFFECT ON COFFEE YIELD

In order to understand the complexity of relations among soil, water, plant and atmosphere in perennial crops such as coffee, mechanistic models that identify the effect of exogenous variables such as temperature in production are used. Therefore, with the aim of determining the decrease percentage of cherry coffee production due to the effect of temperature, coffee production in different scenarios affected by El Niño, La Niña and normal periods for different localities was obtained. The variable to identify the effect of temperature was the accumulated thermal units, which allowed identifying, through a simple linear regression, that for every 100 thermal deficit or excess units required, production decreased by 2.6%.

**Keywords:** Accumulated thermal units, ENOS, modeling.

---

\* Investigador Científico III. Disciplina de Biometría, Centro Nacional de Investigaciones de Café, Cenicafé.

\*\* Investigador Asociado. Disciplina de Agroclimatología, Centro Nacional de Investigaciones de Café, Cenicafé. Manizales, Caldas, Colombia.

Los organismos para su crecimiento y desarrollo requieren una cantidad constante de energía, que puede expresarse como la temperatura acumulada necesaria para completar una determinada fase de su desarrollo fenológico, denominada **tiempo fisiológico** (6).

La acumulación de calor también se conoce como **unidades de calor** o **tiempo térmico**, en la cual se introduce una relación cuantificable entre la tasa de desarrollo de los cultivos y la temperatura (1, 8), la que ha sido de amplio uso en la planificación agrícola (2). La unidad térmica corresponde a la diferencia entre la temperatura del día y la temperatura base del cultivo, en el caso del café ésta es de 10°C, por lo tanto, el acumulado de ellas en un período dado, son las unidades térmicas acumuladas.

Entre las aplicaciones agronómicas del tiempo térmico pueden citarse, la programación de las fechas de siembra o ciclos de cultivo, la estimación de las fechas de cosecha, la determinación del desarrollo vegetal esperado en diferentes localidades, la estimación de los coeficientes de consumo de agua y los pronósticos de aparición de plagas y enfermedades. Si se tienen los registros y las tablas de fenología es posible estimar los rendimientos.

Para la mayoría de las plantas tropicales el límite inferior de crecimiento fisiológico se ha definido en 10,0°C y el límite superior en 35,0°C, extremos en los cuales sería nulo el desarrollo y crecimiento. Para el cultivo del café, con un rango térmico de adaptación entre 10,0 y 32,0°C, se requieren alrededor de 3.250°C acumulados para que se complete su desarrollo entre la siembra y la primera floración, y se necesitan aproximadamente 2.500°C

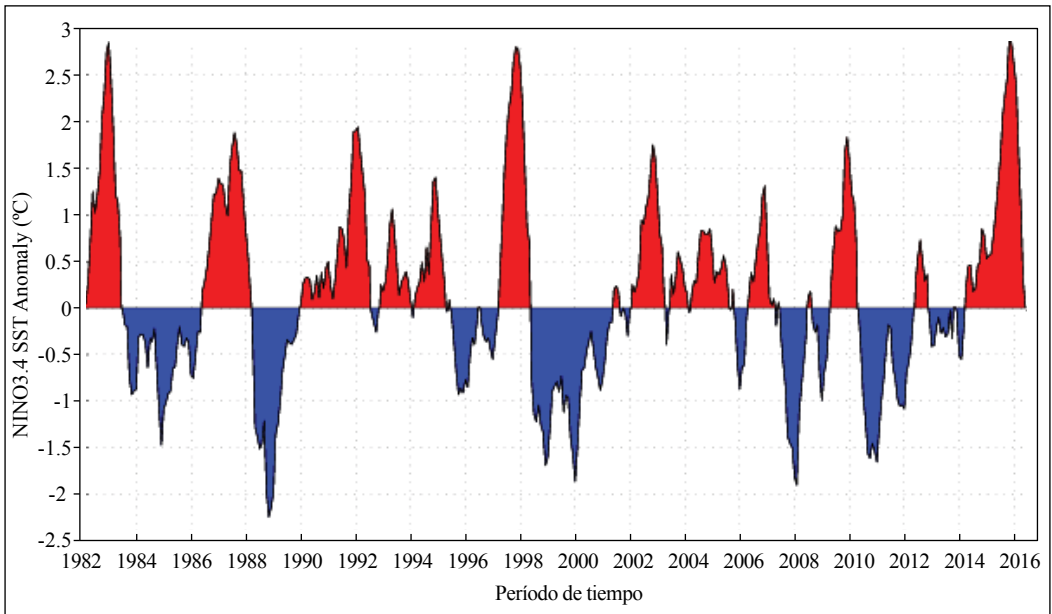
acumulados entre la primera floración y la cosecha, para un total de unos 5.750°C para el ciclo completo entre la siembra y la cosecha (4).

Lima y Silva (5), en Brasil, estimaron para *Coffea arabica* L. valores extremos entre 12,9 y 32,4°C desde el trasplante hasta la primera floración, mientras que Pezzopane *et al.* (7), encontraron un valor de 10,2°C desde la floración hasta la cosecha, basados en varios ciclos de cosecha para la variedad Mundo Novo.

Uno de los componentes que contribuye a la variabilidad climática en la región Tropical y en el mundo son los eventos de El Niño-La Niña-Oscilación del Sur-ENOS. Al revisar el comportamiento histórico de El Niño (3) se han presentado eventos de alta intensidad en los años 1982/1983, 1997/1998 y 2015/2016 (Figura 1), este último muy fuerte y de incidencia en la producción de café, en muchas áreas de la zona cafetera de Colombia, por haber sido precedido de condiciones de baja precipitación en el 2014.

Tanto los eventos de La Niña como de El Niño han incidido en la disminución de la producción de café, bien sea por falta de energía acumulada, expresada como unidades térmicas que inciden en la disminución del crecimiento y en la diferenciación floral del café, o por el exceso de ellas, que estarían reflejando una mayor temperatura o indirectamente unas condiciones más secas, las cuales inciden en el llenado del fruto, que en ambos casos se traduce en disminución de la producción.

La siguiente investigación se hizo con el propósito de determinar el porcentaje de reducción de la producción debida a la disminución o aumento de la temperatura por efecto del ENOS.



**Figura 1.** Índice Oceánico de El Niño (ONI).1982 al 2016 (<http://iri.columbia.edu/our-expertise/climate/forecasts/enso/current/>)(3).

### METODOLOGÍA

Para alcanzar el objetivo se generaron ocho escenarios de temperatura: 1. El Niño moderado; 2. El Niño débil; 3. El Niño fuerte; 4. La Niña fuerte; 5. La Niña moderada; 6. El Niño moderado y La Niña fuerte; 7. La Niña y Normal; 8. Normal. Con cada escenario se construyeron períodos de cinco ciclos y cada ciclo correspondió a cinco años calendario.

Por ejemplo, para el caso de El Niño débil: el primer ciclo, el primer año del escenario es El Niño débil y cada uno de los otros cuatro años es el normal; para el segundo ciclo, el primer año es normal, el segundo año es El Niño débil, y cada uno de los otros tres años restantes es normal; en -el tercer ciclo, el primer y el segundo año son normales, el tercero es El Niño

débil y los años restantes son normales, y así sucesivamente. Mientras que en el último ciclo los cuatro primeros años son normales y el quinto año es El Niño débil. Uno de los ciclos, tuvo los cinco años con el escenario normal; es decir, en total se generaron 40 períodos, los cuales se conformaron con la información de temperatura y número de horas de brillo solar de 14 Estaciones Climáticas de Cenicafé, descritas en la Tabla 1.

Para cada Estación y período se simuló la producción potencial para café Variedad Castillo® (6), con una densidad de 5.000 plantas por hectárea, teniendo en cuenta la latitud, la temperatura media diaria y el número de horas de brillo solar diario, generando 2.485 registros de producción, en kilogramos de café cereza por hectárea al año.

**Tabla 1.** Promedios y error estándar para temperatura diaria y número de horas de brillo solar acumulado por mes, en cada localidad y escenario ENSO.

| Estación climática                  | La Niña fuerte   |                  |       | La Niña moderada |                  |       | La Niña normal   |                  |       | Normal           |                  |       |      |     |       |      |
|-------------------------------------|------------------|------------------|-------|------------------|------------------|-------|------------------|------------------|-------|------------------|------------------|-------|------|-----|-------|------|
|                                     | Temperatura (°C) | Brillo solar (h) | Error | Temperatura (°C) | Brillo solar (h) | Error | Temperatura (°C) | Brillo solar (h) | Error | Temperatura (°C) | Brillo solar (h) | Error |      |     |       |      |
|                                     | Promedio         | Promedio         | Error | Promedio         | Promedio         | Error | Promedio         | Promedio         | Error | Promedio         | Promedio         | Error |      |     |       |      |
| Blonay (Nte de Santander)           | 20,0             | 0,1              | 103,9 | 10,1             | 20,0             | 0,1   | 119,2            | 8,3              | 20,0  | 0,1              | 110,9            | 6,9   | 20,1 | 0,1 | 100,0 | 8,9  |
| Cenicafé (Caldas)                   | 21,0             | 0,1              | 123,3 | 6,4              | 20,7             | 0,1   | 127,2            | 6,4              | 20,7  | 0,1              | 126,5            | 5,4   | 21,6 | 0,1 | 127,7 | 5,8  |
| El Cedral (Risaralda)               | 15,1             | 0,0              | 62,8  | 5,8              | 14,8             | 0,0   | 64,0             | 5,0              | 14,9  | 0,1              | 66,7             | 5,6   | 15,4 | 0,0 | 70,1  | 6,7  |
| El Rosario (Antioquia)              | 19,8             | 0,1              | 149,5 | 11,6             | 19,7             | 0,1   | 148,7            | 8,6              | 19,8  | 0,1              | 148,4            | 7,6   | 20,6 | 0,1 | 158,4 | 10,8 |
| Francisco Romero (Nte de Santander) | 21,8             | 0,1              | 111,1 | 13,1             | 21,8             | 0,1   | 128,2            | 9,7              | 21,9  | 0,1              | 120,3            | 8,2   | 21,7 | 0,1 | 108,9 | 13,0 |
| Granja Luker (Caldas)               | 22,8             | 0,1              | 150,0 | 5,8              | 22,6             | 0,0   | 152,0            | 6,9              | 22,7  | 0,1              | 152,0            | 5,1   | 22,9 | 0,1 | 160,6 | 5,7  |
| Jorge Villamil (Huila)              | 19,9             | 0,1              | 99,2  | 9,2              | 19,6             | 0,1   | 87,8             | 4,2              | 19,6  | 0,1              | 87,8             | 4,7   | 20,1 | 0,1 | 86,3  | 5,0  |
| La Bella (Quindío)                  | 20,5             | 0,1              | 102,1 | 7,1              | 20,0             | 0,1   | 101,8            | 6,7              | 19,9  | 0,1              | 99,8             | 6,1   | 20,4 | 0,1 | 108,3 | 7,7  |
| La Catalina (Risaralda)             | 21,4             | 0,1              | 126,0 | 7,3              | 21,0             | 0,1   | 121,0            | 6,0              | 21,1  | 0,1              | 122,4            | 6,5   | 21,8 | 0,1 | 127,8 | 7,9  |
| Manuel Mejía (Cauca)                | 18,7             | 0,1              | 131,6 | 8,6              | 18,3             | 0,1   | 119,5            | 8,6              | 18,4  | 0,1              | 124,0            | 9,1   | 18,6 | 0,1 | 134,3 | 8,1  |
| Naranjal (Caldas)                   | 20,6             | 0,1              | 128,9 | 6,9              | 20,7             | 0,1   | 128,4            | 5,9              | 20,8  | 0,1              | 126,9            | 5,8   | 21,6 | 0,1 | 127,4 | 6,5  |
| Ospina Pérez (Nariño)               | 19,2             | 0,1              | 131,1 | 7,5              | 19,2             | 0,1   | 119,0            | 8,4              | 19,3  | 0,1              | 126,5            | 9,3   | 19,8 | 0,1 | 119,0 | 8,3  |
| Paraguaito (Quindío)                | 21,8             | 0,1              | 128,0 | 6,7              | 21,2             | 0,1   | 119,0            | 6,7              | 21,2  | 0,1              | 116,8            | 6,1   | 22,3 | 0,1 | 130,3 | 6,9  |
| Pueblo Bello (Cesar)                | 20,6             | 0,1              | 177,0 | 11,4             | 20,7             | 0,1   | 187,2            | 8,8              | 20,6  | 0,1              | 181,7            | 9,1   | 21,1 | 0,1 | 188,4 | 9,4  |

Continúa...

...continuación.

| Estación climática                  | El Niño débil    |                  | El Niño fuerte   |                  | El Niño moderado |                  | El Niño moderado y La Niña fuerte |                  |      |     |       |      |      |     |       |      |
|-------------------------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|-----------------------------------|------------------|------|-----|-------|------|------|-----|-------|------|
|                                     | Temperatura (°C) | Brillo solar (h) | Temperatura (°C) | Brillo solar (h) | Temperatura (°C) | Brillo solar (h) | Temperatura (°C)                  | Brillo solar (h) |      |     |       |      |      |     |       |      |
|                                     | Promedio         | Error            | Promedio         | Error            | Promedio         | Error            | Promedio                          | Error            |      |     |       |      |      |     |       |      |
| Blonay (Nte de Santander)           | 20,2             | 0,1              | 121,2            | 8,7              | 21,3             | 0,1              | 129,7                             | 10,4             | 20,8 | 0,1 | 124,3 | 6,9  | 20,9 | 0,1 | 116,1 | 10,0 |
| Cenicafé (Caldas)                   | 21,8             | 0,1              | 146,9            | 10,7             | 22,3             | 0,1              | 139,8                             | 12,8             | 21,6 | 0,1 | 150,1 | 7,7  | 21,5 | 0,1 | 119,6 | 11,6 |
| El Central (Risaralda)              | 15,4             | 0,1              | 84,2             | 7,7              | 16,1             | 0,1              | 87,6                              | 11,9             | 15,3 | 0,1 | 89,7  | 6,4  | 15,5 | 0,1 | 60,0  | 7,5  |
| El Rosario (Antioquia)              | 20,9             | 0,1              | 177,5            | 12,6             | 21,6             | 0,1              | 172,6                             | 15,2             | 21,0 | 0,1 | 175,2 | 11,7 | 20,3 | 0,1 | 144,3 | 13,8 |
| Francisco Romero (Nte de Santander) | 22,4             | 0,1              | 130,0            | 8,2              | 23,0             | 0,1              | 138,6                             | 8,9              | 22,3 | 0,1 | 129,5 | 9,5  | 22,9 | 0,1 | 132,3 | 7,4  |
| Granja Luker (Caldas)               | 23,2             | 0,1              | 169,1            | 9,0              | 23,8             | 0,1              | 161,1                             | 11,6             | 23,5 | 0,1 | 178,7 | 7,4  | 23,2 | 0,1 | 146,7 | 10,5 |
| Jorge Villamil (Huila)              | 20,2             | 0,1              | 99,8             |                  | 20,8             | 0,1              | 97,6                              | 6,2              | 20,2 | 0,1 | 104,2 | 6,9  | 20,6 | 0,1 | 93,3  | 9,4  |
| La Bella (Quindío)                  | 20,6             | 0,1              | 123,0            | 7,2              | 21,5             | 0,1              | 130,9                             | 13,2             | 20,6 | 0,1 | 129,0 | 7,7  | 20,8 | 0,1 | 100,8 | 10,0 |
| La Catalina (Risaralda)             | 21,8             | 0,1              | 97,2             | 17,8             | 22,2             | 0,1              | 149,6                             | 13,8             | 22,0 | 0,1 | 141,6 | 7,8  | 21,7 | 0,1 | 121,9 | 11,9 |
| Manuel Mejía (Cauca)                | 18,9             | 0,1              | 150,3            | 6,6              | 20,1             | 0,1              | 155,1                             | 12,7             | 18,9 | 0,1 | 154,4 | 5,9  | 18,7 | 0,1 | 121,6 | 10,9 |
| Naranjal (Caldas)                   | 21,6             | 0,1              | 146,9            | 9,9              | 22,2             | 0,1              | 151,5                             | 13,2             | 21,6 | 0,1 | 144,6 | 7,6  | 21,2 | 0,1 | 126,9 | 12,2 |
| Ospina Pérez (Nariño)               | 19,6             | 0,1              | 137,1            | 6,6              | 21,0             | 0,1              | 146,2                             | 10,8             | 19,8 | 0,1 | 149,0 | 7,6  | 19,6 | 0,1 | 121,4 | 9,2  |
| Paraguacito (Quindío)               | 22,2             | 0,1              | 140,9            | 7,1              | 22,9             | 0,1              | 149,2                             | 13,5             | 22,0 | 0,1 | 142,4 | 8,3  | 22,1 | 0,1 | 122,7 | 10,2 |
| Pueblo Bello (Cesar)                | 21,1             | 0,1              | 187,1            | 10,4             | 21,8             | 0,1              | 198,3                             | 13,0             | 21,4 | 0,1 | 190,0 | 10,3 | 21,2 | 0,1 | 168,9 | 14,5 |

Se tuvo como referencia el escenario normal y se determinó la diferencia relativa de la disminución de la producción de los demás escenarios ( $\Delta P$ ), con su respectiva diferencia en unidades térmicas ( $\Delta UT$ ), y con esta información se estableció la relación estadística entre  $\Delta P$  y  $\Delta UT$ , a través de un modelo de regresión lineal simple.

Teniendo en cuenta que la unidad térmica se define como la diferencia entre la temperatura media del día y la temperatura base para el cultivo ( $10^{\circ}\text{C}$ ), en seis Estaciones identificadas por latitud y altitud, se determinó la distribución estadística para la variable unidades térmicas acumuladas por año, desde enero a diciembre.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Tabla 1, en cada una de las Estaciones climáticas y para cada escenario ENOS, se presenta el promedio diario de temperatura y número de horas de brillo solar, con su respectivo error estándar. Se observa que, para una misma Estación climática, hay cambio en la temperatura media diaria y en el acumulado mensual de horas de brillo solar, de acuerdo con el escenario ENOS. La temperatura óptima para el cultivo del café está entre  $18$  y  $21^{\circ}\text{C}$ , por lo tanto, los cultivos de café en zonas que estén por debajo de esta temperatura requieren de mayor tiempo cronológico para alcanzar la producción potencial, mientras que en cultivos en zonas por encima de esta temperatura puede verse afectado el llenado de frutos.

La relación entre la disminución de la producción y la diferencia de unidades térmicas acumuladas, se describe en la Ecuación <1>, con un coeficiente de

regresión estimado en  $0,02645$ , diferente de cero estadísticamente, según prueba de  $t$  al  $5\%$  y un coeficiente de determinación del  $98\%$ .

$$\Delta P = 0,02645 \times \Delta UT \quad <1>$$

Este resultado significa que por cada diferencia de  $100$  unidades térmicas (por exceso o por defecto), la producción se disminuye en un  $2,6\%$ , con una explicación de la diferencia de las unidades térmicas acumuladas del  $98\%$ , sobre el porcentaje de disminución de la producción en café cereza, por efecto del clima.

La variable unidades térmicas acumuladas por año cronológico tiene una distribución normal, según la prueba de Shapiro Wilk al  $5\%$ , por lo tanto, puede determinarse la probabilidad de ocurrencia de ella, con la estimación del promedio y la desviación estándar (Tabla 2).

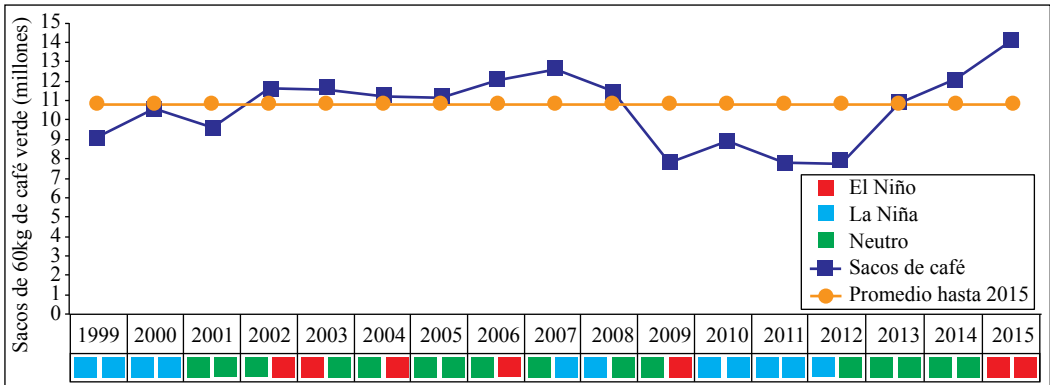
En la Figura 2, se ilustra la producción histórica de café verde y el promedio, a partir del año  $1999$  hasta el  $2015$ , con la correspondiente identificación semestral de condiciones ENOS. Las mayores reducciones con respecto al promedio de producción se presentaron en los años  $1999$  al  $2001$  y del  $2009$  al  $2012$ , las cuales pueden explicarse por las menores unidades térmicas anuales debidas al evento La Niña, presentado en los años  $2010$ ,  $2011$  y primer semestre de  $2012$ .

## AGRADECIMIENTOS

A Rubén Darío Medina por la revisión y contribución en la elaboración del artículo; a los doctores Álvaro Gaitán, Carlos Oliveros y Pablo Benavides por los aportes al documento.

**Tabla 2.** Promedio y desviación estándar para la variable unidades térmicas acumuladas por año (enero a diciembre), en seis estaciones climáticas de Cenicafé.

| Estación     | Departamento | Municipio           | Altitud (m) | Latitud (N) |     |     | Latitud (W) |     |     | Unidades térmicas acumuladas año |                     |                                |
|--------------|--------------|---------------------|-------------|-------------|-----|-----|-------------|-----|-----|----------------------------------|---------------------|--------------------------------|
|              |              |                     |             | Grad        | Min | Seg | Grad        | Min | Seg | Promedio                         | Desviación estándar | Prueba de normalidad (p-value) |
|              |              |                     |             |             |     |     |             |     |     |                                  |                     |                                |
| Cenicafé     | Caldas       | Chinchiná           | 1.310       | 4           | 59  | 28  | 75          | 35  | 51  | 4.043,90                         | 182,89              | 0,52                           |
| El Jazmín    | Risaralda    | Sta. Rosa de Cabal. | 1.635       | 4           | 54  | 43  | 75          | 37  | 27  | 3.460,20                         | 176,33              | 0,64                           |
| Naranjal     | Caldas       | Chinchiná           | 1.381       | 4           | 58  | 19  | 75          | 39  | 8   | 3.991,50                         | 161,23              | 0,20                           |
| Ospina Pérez | Nariño       | Consacá             | 1.603       | 1           | 15  | 17  | 77          | 29  | 16  | 3.392,40                         | 183,50              | 0,99                           |
| Pueblo Bello | Cesar        | Pueblo Bello        | 1.134       | 10          | 25  | 18  | 73          | 34  | 29  | 4.020,20                         | 133,70              | 0,20                           |
| Santágueda   | Caldas       | Palestina           | 1.026       | 5           | 4   | 24  | 75          | 40  | 23  | 4.747,40                         | 184,95              | 0,33                           |



**Figura 2.** Producción y promedio de sacos de café verde de 60 kg en Colombia, 1999–2015.

## LITERATURA CITADA

1. BONHOMME, R. Bases and limits to using “degree. day” units. *European Journal of Agronomy* 13: 1- 10. 2000.
2. CARDINAJ.; HERMSC.P.; HERMSD.A.; FORCELLA F. 2007. Evaluating phenological indicators for predicting giant foxtail (*Setaria faberi*) emergence. *Weed Science*. 55: 455-464. 2007.
3. IRI, International Research Institute for Climate and Society (<http://iri.columbia.edu/our-expertise/climate/forecasts/enso/current/>).
4. JARAMILLO R.A.; GUZMÁN M.O. Relación entre la temperatura y el crecimiento en *Coffea arabica* L., variedad caturra. *Cenicafé* 35 (3):57-65. 1984.
5. LIMA E.P.; DA SILVA E.L. Temperatura base, coeficientes de cultura e graus-dia para cafeeiro arábica em fase de implantação. *R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental* 12(3): 266-273. 2008.
6. MONTOYA R., E.C.; ARCILA P., J.; JARAMILLO R. A.; RIAÑO N.; QUIROGA Z. F. Modelo para simular la producción potencial del cultivo del café en Colombia. *Boletín Técnico* No.33. 52 p Cenicafé, 2009.
7. PEZZOPANE, J.R.M., PEDRO, M.J., PAES M.B., FAZUOLI, L.C. Exigência térmica do Café arábica cv. Mundo Novo no subperíodo florescimento-colheita. *Ciênc. agrotec.* 32 (6): 1781-1786. 2008.
8. SNYDER R.L., SPANO D.; DUCE P. 2013. Weather Station Siting: Effects on Phenological Models in: Mark D. Shwartz (ED): *Phenology: An Integrative Environmental Science* 345 - 361 SPRINGER Verlag GmbH.