

# Análisis histórico de la variabilidad de la precipitación en Anolaima, como herramienta para la adaptación local en cultivos de café (*Coffea arabica* L.)

*Historical Analysis of the Variability of Precipitation in Anolaima, as a Tool for Local Adaptation in Coffee Crops (Coffea arabica L.)*

Cindy Alexandra Córdoba-Vargas<sup>a, c</sup>, Edwin Oswaldo Rojas-Barbosa<sup>b</sup>, Miguel Alejandro Díaz-Manrique<sup>a</sup>

## RESUMEN

Se estudiaron las series históricas mensuales de precipitación de dos estaciones ubicadas en Anolaima (Cundinamarca-Colombia), con el fin de identificar asociaciones entre eventos macro-climáticos como El fenómeno El Niño, Oscilación del Sur (ENSO, por sus siglas en inglés), la variabilidad local de las lluvias y sus implicaciones en el desarrollo del cultivo de café. Los patrones de comportamiento, las lluvias atípicas y extremas se analizaron mediante el cálculo de estadísticos de variabilidad y diagramas de caja anuales y mensuales, mientras la asociación entre las lluvias y fenómenos macro-climáticos se estudió mediante correlaciones entre las series de lluvias y 11 indicadores climáticos del Pacífico y La Amazonia como el índice Oceánico El Niño (ONI) y el dipolo del Amazonas. Los promedios históricos reflejaron el comportamiento bimodal de las lluvias y las correlaciones confirmaron que el ONI es el mejor índice para relacionar la variabilidad interanual de las lluvias en la región con el ENOS, por lo que se resalta su potencialidad para utilizarlo como predictor de las lluvias en la región y planificación de medidas preventivas y de adaptación frente a la ocurrencia de periodos de excesos o deficiencias de lluvias.

**PALABRAS CLAVE:** clima; meteorología; precipitación atmosférica; caficultura.

## ABSTRACT

Monthly rainfall historical series from two stations located in Anolaima (Cundinamarca Colombia) were studied in order to identify associations between macroclimatic events such as El Niño-Southern Oscillation (ENSO) and the Local variability rainfall and their implications on coffee cultivation development. Behavior patterns, atypical and extreme rainfall were analyzed by statistics measures of variability and by annual and monthly box-plots, whereas the association between rainfall and macroclimatic phenomena were studied through correlations between series of rainfall and 11 Pacific and Amazonian climate indicators such as the Oceanic Niño Index (ONI) and the Amazon dipole patterns. Historical averages reflected the bimodal rainfall patterns and the correlations confirmed that the ONI is the best index to relate the interannual variability of rainfall in the region to the ENSO, so emphasis is given to its potential use as a rainfall predictor and a preventive and adaptation measures planner against the occurrence of excess or deficient rainfall periods.

**KEY WORDS:** weather; meteorology; rainfall; coffee growing.

a Universidad Nacional de Colombia, Instituto de Estudios Ambientales (IDEA). Bogotá, Colombia. ORCID Córdoba-Vargas, C.A.: 0000-0002-3066-5842; ORCID Díaz-Manrique M.A. 0000-0001-5469-638X

b Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Agrosavia), Centro de Investigación Tibaitatá. Mosquera, Colombia. ORCID Rojas-Barbosa, E.O.: 0000-0002-9129-6366

c Autor de correspondencia: cacordobav@unal.edu.co

Recepción: 06 de marzo de 2019. Aceptación: 22 de abril de 2020

## Introducción

El ciclo anual de la precipitación en la región Andina se caracteriza por dos periodos secos y dos lluviosos (Guarín y Poveda, 2013), determinados por los pasos hacia el sur y norte de la Zona de Convergencia Intertropical ZCIT (Guzmán et al., 2014). La ZCIT se define como un sistema atmosférico en forma de banda o cinturón localizado entre los 20° N y los 25° S (Correa et al., 2016) y se origina principalmente por la convergencia entre los vientos Alisios del noreste con los vientos Alisios del suroeste (Peña-Quñones y Paternina-Quijano, 2010). Las interacciones de la ZCIT con otros fenómenos como la corriente en chorro del Choco, las ondas del Este, los coletazos de huracanes del océano Atlántico y circulaciones locales debidas a la orografía determinan la variabilidad de las lluvias en la región Andina de Colombia (IDEAM, 2011).

Respecto a la variabilidad interanual de las lluvias en los Andes Colombianos, diferentes estudios han mostrado la clara relación entre los fenómenos El Niño y La Niña, y la ocurrencia de periodos secos y lluviosos en diferentes zonas de Colombia (Montealegre, 2009; IDEAM, 2011; Aranco et al., 2013; Gutiérrez et al., 2013; Guzmán et al., 2014). Esta variabilidad de las lluvias en diferentes escalas temporales determina la disponibilidad de agua para los agroecosistemas cafeteros, con diversos efectos como los periodos críticos por exceso o deficiencia de agua en el suelo durante eventos La Niña o El Niño (Jaramillo et al., 2011).

La cantidad y distribución de las lluvias durante el año son aspectos muy importantes, para el buen desarrollo del café. ICAFE (2011) señala que lluvias entre 1,000 y 3,000 mm son las más apropiadas para el desarrollo del cultivo, dado que lluvias por debajo de este rango limitan el crecimiento y la cosecha, mientras lluvias por encima de los 3000 mm afectan la calidad del café, aumentan problemas sanitarios, lavado de los suelos y arrastre de nutrientes, deteriorando su calidad (Fischerworrying y Robkamp, 2001; Guharay et al., 2000).

Sin embargo, no solo los volúmenes anuales deben ser analizados, ya que cambios en la distribución e intensidad de las lluvias afectan el crecimiento de las plantas y el proceso de floración (Donga y

Jährmann, 2008) generando daños mecánicos en los cafetos. Por otro lado, ausencia de periodos secos durante la floración puede generar desarrollo anormal de las flores y la deficiencia de lluvias en otros periodos afecta el llenado de frutos, disminuyendo la producción (Arcila, 2007).

Anolaima es un pequeño municipio cafetero localizado en la región Andina, sobre la vertiente occidental de la cordillera oriental colombiana. Se ubica a una altura de 1650 msnm y la temperatura media del municipio es de 20°C (Alcaldía de Anolaima, 2012). Dada la topografía quebrada del municipio alberga diversos microclimas, con gradientes espaciales y temporales de los elementos climáticos, principalmente las lluvias, que determinan la productividad agrícola y características de los agroecosistemas.

A nivel demográfico el municipio es principalmente rural. Según datos del DANE (2018) el 30% de la población se ubica en la zona urbana y el 70% en la parte rural. El renglón más importante de la economía del municipio lo representa el sector agropecuario, el cual genera un valor agregado municipal del 29,94%, por encima de sectores como los servicios sociales y personales, el comercio, y el transporte (ORARBO, 2015).

Los productores de café en Anolaima son en su mayoría pequeños agricultores, quienes además del cafetal poseen otros cultivos comerciales como hortalizas y frutales (Alcaldía de Anolaima, 2012). La variedad de café más usada en la zona es la variedad Castillo, aunque pueden encontrarse algunos lotes envejecidos de variedad Caturra. En la región se presentan dos cosechas anuales: cosecha principal (marzo-junio) y cosecha traviesa o “mitaca” (octubre-noviembre) (Fedecafé, 2008). Dado el reducido tamaño de las fincas y los cultivos, la inversión en adecuación tecnológica también es limitada. Usualmente los caficultores venden el grano en la categoría de café pergamino seco, y la venta se realiza a intermediarios o al comité de cafeteros del municipio.

Es importante considerar que a pesar de la afectación del clima en los ciclos de cultivo y de la variación constante del precio internacional del café, en Anolaima la caficultura aún se mantiene como

una fuente importante de ingresos para el campesinado. Por ello se hace necesario estudiar las relaciones entre las variaciones del clima y el desarrollo del cultivo, con el fin de utilizar estos conocimientos en la toma de decisiones de los productores y aumentar su resiliencia frente a fenómenos como el cambio y la variabilidad climática (Córdoba y León, 2013).

Se han realizado diversos estudios sobre la variabilidad de la precipitación en Colombia y su relación con fenómenos como el ENOS. Sin embargo, la mayoría de ellos han sido realizados a escalas nacional o mayores (Guarín y Poveda, 2013; Guzmán et al., 2014; IDEAM, 2011; Montealegre, 2009; Poveda et al., 2002, 2007), y describen de manera general la influencia del ENOS sobre las condiciones climáticas, mediante el análisis de series históricas de estaciones distribuidas en el territorio nacional.

Otros estudios analizaron las principales señales de la variabilidad climática en la región Andina (Narváz y León, 2001; Ramírez-Builes y Jaramillo-Robledo, 2009), e identificaron la influencia de fenómenos macro-climáticos como ENOS y ZCIT sobre las lluvias, así como particularidades regionales de su distribución a lo largo del año. Sin embargo, dada la complejidad de las condiciones geográficas que generan alta variabilidad de los patrones espaciales y temporales de las lluvias en la región andina, son escasos los esfuerzos por estudiar la distribución de estos patrones de lluvias a escalas espaciales más refinadas, de forma que permitan entender esta variabilidad a escala municipal o veredal y utilizar esa información para analizar su relación con el desarrollo de un cultivo en particular.

Dada la inexistencia de este tipo de estudios para el municipio, este trabajo analizó la variabilidad de la precipitación registrada en dos estaciones climáticas ubicadas en el municipio de Anolaima. Esta variabilidad se analizó en relación con los fenómenos macro-climáticos, principalmente del océano Pacífico, que en diferentes escalas temporales alteran las lluvias. Todo esto con el fin de adoptar estrategias de prevención y adaptación para incrementar la resiliencia de los caficultores, las cuales necesariamente deben ir acompañadas de formulaciones políticas en ese mismo sentido.

## **Materiales y métodos**

No se realizaron controles de calidad adicionales de los datos diarios, ya que estos son sometidos operativamente a procesos de calidad básicos por parte del IDEAM. Se analizaron las series históricas mensuales de precipitación de dos estaciones de la red climatológica del Instituto de Estudios Ambientales, Meteorología e Hidrología (IDEAM) ubicadas en municipio de Anolaima (Tabla 1). Se calcularon promedios anuales y mensuales de las lluvias para el periodo de referencia de 1981-2010. Posteriormente se calculó la desviación estándar y el coeficiente de variación con el propósito de analizar la variabilidad de los datos. Los análisis de las series de tiempo se realizaron a toda la extensión de las series disponibles (1980-2012), con el fin de aprovechar esta mayor cantidad de información para analizar las anomalías en las precipitaciones frente al periodo climatológico de referencia 1981-2010.

Se construyeron diagramas de caja de las series mensuales para describir el patrón anual de las lluvias e identificar meses con lluvias atípicas y valores extremos mediante círculos y asteriscos. Estos atípicos se analizaron en relación con la ocurrencia de los fenómenos El Niño y La Niña, que como ha sido ampliamente reportado están relacionados con deficiencias y excesos de lluvias en diferentes regiones del país (Ramírez-Builes y Jaramillo-Robledo, 2009; IDEAM, 2011; Rojas, 2011; Guzmán et al., 2014; Montealegre, 2014). Se utilizó la prueba estadística *t* de diferencias de medias para determinar si los volúmenes de los dos periodos de lluvias de primer y segundo semestre han sido estadísticamente diferentes.

Se calcularon y graficaron las series del índice de precipitación anual acumulada, equivalente a la diferencia porcentual entre el acumulado anual y el promedio histórico, para periodos de 2 y 5 años. Se construyó la matriz de correlación entre las series de precipitación y 11 indicadores de fenómenos macroclimáticos para cuantificar las asociaciones estadísticas entre estos índices (Montealegre, 2014 y 2009). Los indicadores utilizados fueron los Índices de temperatura superficial del mar TSM en las diferentes regiones El Niño, el Índice Oceánico El Niño (ONI), el Índice Multivariado El Niño (MEI)

y el Índice del dipolo del Amazonas (ARH). Estos índices son los indicadores internacionalmente aceptados y utilizados para categorizar la intensidad de estos fenómenos, monitorear y tratar de predecir su evolución y desarrollo. Las series de los índices fueron descargadas de la web de la agencia de administración de la atmósfera y el océano de los Estados Unidos (NOAA)<sup>1</sup>.

Para identificar los meses del año en que existe mayor asociación entre las lluvias y la variabilidad climática del océano Pacífico se hicieron correlaciones para cada mes entre las 12 series de mensuales de lluvia y el índice ONI. Se aplicó la técnica de correlación cruzada, que consistió en establecer una relación lineal entre las series de la TSM región 3.4 y la precipitación de Anolaima. Se calcularon correlaciones de Pearson entre las series de manera sincrónica y con rezagos de hasta siete meses. Este método permitió identificar el intervalo mensual en que se presenta la mayor asociación entre las anomalías de TSM en la región 3.4 y las lluvias en las estaciones La Florida y Primavera. Estos análisis se realizaron con el ONI y la TSM región 3.4 debido a que mostraron las mayores correlaciones con las lluvias analizadas.

Dada la complejidad de la climatología tropical y de las interacciones que determinan la ocurrencia de fenómenos climáticos en las condiciones de Colombia, en diferentes estudios se consideran significantes correlaciones entre 0,2 y 0,4 (IDEAM, 2011). Sin embargo, para determinar si los coeficientes de correlación obtenidos son estadísticamente significativos se realizaron pruebas de significancia con un nivel alfa de 0.05. Se construyeron y compararon los periodogramas de las series de lluvias y del ONI, índice que mostró las mayores correlaciones, con el fin de identificar semejanzas en los ciclos de

variabilidad de las series de lluvias de Anolaima y las series del ONI.

La información obtenida de los análisis climáticos se contrastó con la información reportada por caficultores de las veredas Chiniata, Santo Domingo y El Descanso, en Anolaima. Se realizaron recorridos guiados en seis fincas cafeteras de la zona con el propósito de permitir al caficultor explicar factores como el ciclo de producción del cultivo, las relaciones entre variables climáticas y fisiología de la planta y la afectación del clima en las labores técnicas del cafetal.

La observación en campo se complementó con participación en espacios comunales como reuniones del acueducto veredal o las sesiones de extensión rural del comité de cafeteros regional. Esos espacios se aprovecharon para aplicar entrevistas semiestructuradas (N=66) a los caficultores, conversaciones en las cuales se procuraba explorar la memoria climática del productor e indagar por aspectos como el clima histórico de la región, la estacionalidad de las lluvias, afectaciones por fenómenos como el El Niño o La Niña y percepciones de variabilidad climática. Finalmente, la contrastación entre los análisis climáticos y la información cualitativa se realizó mediante la identificación de los puntos más comunes o repetitivos en los relatos de los productores y su comparación respecto a los hallazgos del análisis de datos.

## Resultados y discusión

Se observó una diferencia cercana a los 300 mm entre los promedios anuales de lluvias de las dos estaciones, pese a estar distanciadas solo 4 km, bajo condiciones similares de altitud, topografía y paisaje. Esta diferencia de lluvias determina características climáticas y de los agroecosistemas de las dos

**Tabla 1.** Estaciones climáticas utilizadas en el área de estudio.

Código	Estación	Latitud (N)	Longitud (S)	Altitud (msnm)	Tipo	Serie	Faltantes de lluvia (%)
2120567	La Florida	04,77	74,43	1915	Climatológica ordinaria	1980-2012	1
2120618	Primavera	04,80	74,44	1850	Climatológica ordinaria	1988-2012	5 (2007)

Fuente: elaboración propia.

<sup>1</sup> <http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/climateindices/>

**Tabla 2.** Promedios multianuales y estadísticos de variabilidad para los acumulados anuales de lluvias entre 1981-2010 (mm).

Código	Estación	Altitud	Promedio	DE	CV
2120567	La Florida	1915	1212	195,6	0,16
2120618	Primavera	1850	914	186,4	0,20

DE, desviación estándar; CV, coeficiente de variación.

Fuente: elaboración propia.

áreas donde se ubican las estaciones. En el área de la estación La Florida se cuenta con mayor disponibilidad de lluvias para actividades agropecuarias (aproximadamente del 30% más que en Primavera). El coeficiente de variación de los promedios anuales de lluvias es mayor en la estación Primavera, que mostró menor promedio de precipitación (Tabla 2). Esto indica mayor variabilidad interanual de las lluvias, que puede significar mayor amenaza agroclimática, principalmente en años en que se presenten deficiencias de lluvias. Esta diferencia en la variabilidad no se observó en los valores de la desviación estándar, que fueron más cercanos y proporcionales a la magnitud de las lluvias

### Variación intra-anual de las lluvias

Los campesinos relatan que la deficiencia de lluvias ocasiona problemas en la producción del grano, en la región se encontraron promedios anuales de lluvias cercanos a 1000 mm, lo cual según ICAFE (2011), podría relacionarse con estrés hídrico, afectando la fisiología de las plantas y el desarrollo del cultivo.

Se observó un patrón bimodal de las lluvias a lo largo del año en ambas estaciones. El periodo más seco del año corresponde al trimestre de junio a agosto. Esto concuerda con lo reportado por (Jaramillo et al., 2011) para algunas estaciones de la región Andina central de Colombia, pero difiere con otras zonas de la región Andina y de la mayor parte del territorio nacional, donde el periodo más seco es el trimestre diciembre a febrero (IDEAM, 2011).

Pues ya, ya nos damos cuenta, las sequías las épocas marcadas de sol, los rayos ultravioleta, cada vez más fuertes, eso hace escasas de comida, enfermedades de la piel y pues obviamente eso es impredecible, antes por ejemplo esto eran ciclos marcados de lluvia, entonces había, febrero, marzo, abril por ahí hasta mayo y a veces principio de junio, era invierno, pues digamos, no que lloviera todos los días, todas las noches, pero si

eran épocas de tardes de lluvia, ahorita por lo menos, ahorita si más o menos para esta época, lo que queda de junio hasta agosto por ahí sí entra el verano, entonces difícil. Luis Adriano, campesino de Anolaima, entrevista junio de 2013.

Durante este periodo junio-agosto, también se presentaron mayor cantidad de meses con lluvias atípicas, principalmente en el mes de agosto (Figura 1). Los promedios de lluvias fueron menores en julio que en agosto, sin embargo, en agosto se han presentado los menores valores mensuales, incluso con meses sin lluvias como en 2001 en La Florida, o con apenas 1,2 mm en Primavera durante 1997. Esta característica de mayor variabilidad se corrobora con los altos valores del coeficiente de variación de este mes (Tablas 3 y 4).

Julio y agosto resultaron ser los meses más secos en la zona, principalmente en la estación Primavera, donde el promedio de septiembre (77,1 mm), considerablemente menor que en La Florida (103,2 mm), sugiere que el periodo seco de mitad de año en esta área se extiende hasta este mes. Esto coincide con lo reportado por Jaramillo et al. (2011), quienes categorizaron el periodo seco de mitad de año más largo e intenso que el de inicio de año mediante el análisis de series climáticas de los municipios vecinos La Mesa y Cachipay. En estos meses al final de la temporada seca, posiblemente se manifiesten deficiencias de agua en el suelo que generen riesgo para los sistemas productivos de secano, con mayor intensidad en aquellos años en que la primera temporada presente lluvias deficitarias, o se retrase la entrada de las lluvias de segundo semestre.

Los agricultores consultados ratifican la bimodalidad de las lluvias de Anolaima. De acuerdo con ellos los periodos secos se presentan entre diciembre y febrero, y a mitad de año entre junio a agosto, tal como se verifica en los climogramas (Anexo 1). Debe considerarse que los periodos secos son fases

importantes para el cultivo de café, dado que los déficits hídricos del suelo favorecen la floración de los cafetos y concentran la época de cosecha (Arcila y Jaramillo, 2003).

No es buena tanta lluvia, el café necesita calentura. El invierno viene en el día, llueve de día y por la noche el frío de la noche, luego amanece y vuelve y llueve y anochece y otra vez frío. Entonces la planta está entumida de frío, se pone amarilla y se le cae la hoja.” Don José Vagas, campesino de Anolaima, entrevista, 26 de marzo de 2014

Reportan también los problemas de las temperaturas elevadas:

También por causa del contratiempo (la sequía) que dio duro en diciembre y enero se pierde la calidad. Don José Bautista, campesino de Anolaima, entrevista febrero 4 de 2013

Las lluvias de primer semestre se presentan en promedio entre marzo y mayo, mientras las de segundo semestre entre septiembre y noviembre; el trimestre diciembre a febrero es un periodo de transición entre los periodos de lluvias (Figura 1). El promedio mensual más alto se encontró en octubre

(Tablas 3 y 4) en ambas estaciones, aunque los mayores valores mensuales se presentaron en abril y noviembre.

Los caficultores explican la relación entre periodos de precipitación y el cultivo de café, con el contexto económico en que se desenvuelven:

Las lluvias de comienzo y final de año las aprovechamos para abonar los cafetos. Esa agua es bendita porque diluye el abono en la tierra y además le da fuerza al cafeto para llenar el fruto y aguantar el manejo de la recolección. Yaqueline Pulido campesina de Anolaima, entrevista, julio de 2015.

La lluvia pues lo afecta a uno en el momento de la recolección, porque pues obviamente, si no se recolecta se caen, entonces la mano de obra ha sido más escasa, más costosa, y pues obviamente las cosechas son buenas, pero entonces, como el café se viene todo al tiempo por todos lados, pues digamos si yo tengo acá, el vecino tiene, todos tienen, todos tenemos, si, por la misma época, imagínese usted una sobre producción con poca mano de obra y lloviendo pues se pone costosa la mano de obra. Alfonso Murcia, campesino de Anolaima, entrevista 13 de abril de 2014.

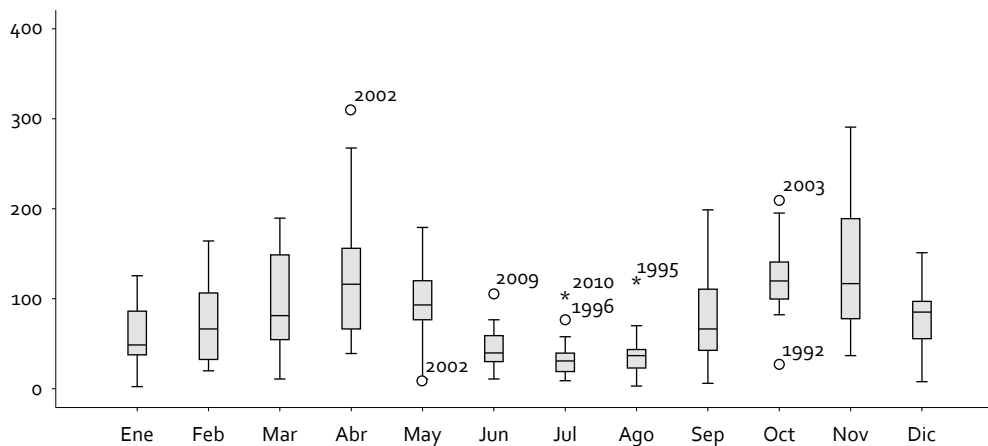


Figura 1. Lluvias de la estación Primavera (1988-2012). Fuente: elaboración propia.

Tabla 3. Promedios y estadísticos de variabilidad para los acumulados mensuales de lluvias (mm) en la estación Primavera.

Variable	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
X	56	70,8	107,9	108,6	92,2	47,1	34,7	41,5	77,1	120,1	117,8	77,1
DE	43,8	44,3	57,1	75,3	46,4	39,3	25,1	33,9	53,5	43,1	51,9	43,8
CV	0,8	0,6	0,5	0,7	0,5	0,8	0,7	0,8	0,7	0,4	0,4	0,6

DE, desviación estándar; CV, coeficiente de variación.

Fuente: elaboración propia.

Por decir algo, que podemos hacer en las épocas de lluvia, aprovechar mejor, pues hacer buenas fertilizaciones pues en épocas, por ejemplo, para que la planta tenga más resistencia, en esa época pues usualmente se disuelven más fácil los abonos, los aprovechan mucho más las plantas, pues para una buena producción. Jonh Rodriguez, campesino de Anolaima, entrevista, octubre 24 de 2013.

Los dos periodos lluviosos del año no mostraron diferencias significativas en la estación Primavera. Sin embargo, en La Florida el periodo de septiembre a noviembre mostró ser más lluvioso que el periodo de marzo a mayo con nivel de significancia alfa de 0,05. Se observó que los valores mensuales históricos más bajos se presentaron en el primer semestre en ambas estaciones.

Los valores extremos se presentaron principalmente en los meses secos de principio y final de año (Figuras 1 y 2). Sin embargo, la mayor extensión de las barras (bigotes) en abril, octubre y noviembre muestra la alta variabilidad interanual de los valores mensuales de precipitación en los periodos de lluvias. Los meses con lluvias atípicamente altas

se presentaron entre abril y octubre en Primavera, mientras en La Florida, además de estos meses, también en febrero y diciembre.

## Variación inter-anual de las lluvias

### Estación primavera

El año más lluvioso fue 2011 con lluvias superiores al promedio en un 71%. En años bajo eventos La Niña durante algún momento del año como 2010, 2008 y 1999, se presentaron anomalías superiores al 20%. Los años más secos fueron 1992, 1997, 2004 y 2005 con deficiencias de lluvias del orden del 30%, en todos los casos bajo la ocurrencia de eventos El Niño.

En este momento estoy solo en la finca, por eso la finca no está bien como debería estar, porque no tiene los recursos para administrarla mejor. Pero también es efecto del clima, yo soy víctima del cambio climático, porque el cambio climático y entre diga usted el 2004 y el 2005 vino y acabó con la cosecha de café, acabo con los cafetales tradicionales. En parte sirvió porque nos obligó a renovar, pero nos

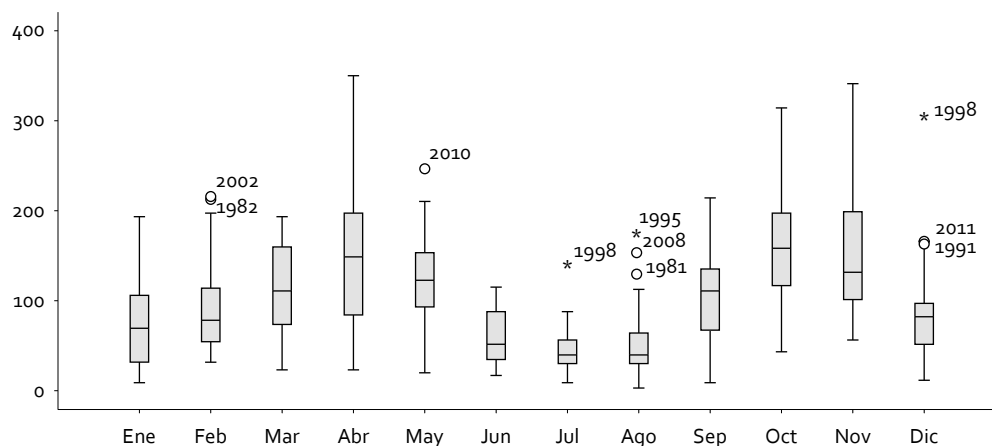


Figura 2. Lluvias mensuales en la estación La Florida. Fuente: elaboración propia.

Tabla 4. Promedios y estadísticos de variabilidad para los acumulados mensuales de lluvias (mm) en la estación La Florida.

Variable	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
X	75	89,7	113,9	153,6	124,8	55,6	44,2	61,5	103,2	171,1	149,3	86
DE	52,4	53,7	48,7	81,3	54,3	29,4	28,2	65,2	50,6	68,2	57,9	60,1
CV	0,7	0,6	0,4	0,5	0,4	0,5	0,6	1,1	0,5	0,4	0,4	0,7

DE, desviación estándar; CV, coeficiente de variación.

Fuente: elaboración propia.

dejó sin presupuesto. Y de ahí a esperar a que crezca un cafetal, dos años casi tres años sin recibir ingresos. Pero vean como engañan al país desde el gobierno, que están apoyando al agricultor, con préstamos con no sé que... Don José Bautista, campesino de Anolaima, entrevista febrero 11 de 2014.

A escala mensual, se resaltan los valores atípicamente altos de julio de 1996 y 2010, abril de 2002, junio de 2009 y octubre de 2003. Con excepción de julio de 2010, ninguno de estos meses atípicos de altas precipitaciones coincidió con un evento La Niña. Los meses atípicamente secos se presentaron, en mayo de 2002, cuando El Niño apenas iniciaba y en octubre de 1992 bajo condiciones neutras en el océano Pacífico cuando el Niño ya había terminado.

### *Estación La Florida*

Los años más lluviosos de la serie fueron 2011 y 1999 con excesos de 52% y 32% respectivamente. Los años más secos fueron 1992, 1997 y 2001 con deficiencias de entre el 32% y 38%. Los años más secos y lluviosos también coincidieron con la ocurrencia de eventos El Niño y La Niña respectivamente. En esta estación no se registraron meses con precipitaciones atípicamente bajas, mientras los meses atípicamente lluviosos se presentaron tanto en eventos La Niña, El Niño o bajo condiciones neutras.

Lluvias atípicamente altas se presentaron en julio y diciembre de 1998, bajo un evento La Niña que se prolongó hasta el año 2000. En agosto de los años 1981, 1995 y 2008 se presentaron lluvias atípicas durante condiciones neutras. Diciembre mostró lluvias atípicamente altas en los años 1991, 1998 y 2011, el primer caso bajo El Niño y los dos restantes bajo La Niña. Del mismo modo se registraron precipitaciones atípicamente altas en febrero de 1982 (condiciones neutras) y del 2000 (La Niña), mientras que el último evento de lluvias extremas de la serie se presentó en mayo de 2010 durante El Niño.

Se observó que los meses con lluvias extremas no se registraron necesariamente durante El Niño o La Niña, mientras que los años con lluvias extremas sí coincidieron con estos eventos. Esto indica que eventos extremos de lluvia a escala mensual no obedecen directamente a condiciones climatológicas asociadas con El Niño o La Niña, pero que estos

fenómenos sí coinciden con los años más secos y lluviosos del periodo analizado.

Las anomalías más intensas registradas en la zona, asociadas con La Niña de 2011 y 1999 generaron lluvias anuales menores a los 2000 mm en ambas estaciones. Estos volúmenes anuales están dentro de los rangos óptimos encontrados en literatura (Fischersworrning y Robkamp, 2001; Guharay et al., 2000; ICAFE, 2011) por lo que no se esperan mayores alteraciones en la producción del café. Sin embargo, el 63% de los caficultores reportó disminución de la productividad durante estos años.

La floración no se dio pareja, algunas veces llovía y otras no, uno no sabía que esperar, cuando estaba empezando a arreciar y uno creía que ya, resulta que paraba de llover sin más, todo mundo se quejó... Doña Blanca de Murcia campesina de Anolaima, entrevista mayo de 2013.

Los eventos La Niña más intensos se presentaron en los periodos 1988-1989, 1999-2000, 2007-2008 y 2010-2011. En cada uno de esos eventos se observaron anomalías positivas de lluvias (Figura 3). Los eventos El Niño más intensos ocurrieron en los periodos 1982-1983, 1986-1987, 1991-1992, 1997-1998, 2002-2003, 2004-2005 y 2009-2010, con excepción del primero se observaron anomalías negativas de lluvias en las estaciones analizadas. Esto muestra que, si bien El Niño y La Niña explican la mayor parte de anomalías de lluvias a escala interanual en la zona, se han presentado anomalías que no pueden atribuirse directamente a estos fenómenos.

En la memoria colectiva de los caficultores de Anolaima permanece el recuerdo del evento la Niña 2010-2011. En primer lugar, porque la alta nubosidad y excesos de lluvia dispersaron la floración de los cafetos y disminuyeron la productividad del cultivo, en un momento en que el precio del café ofrecía un buen margen de rentabilidad. En segundo lugar, porque dada la alta humedad del suelo se presentaron remociones en masa que causaron estragos en viviendas, vías y cultivos de la región, tal como ha sido reportado por (CEPAL-BID, 2012) en situaciones similares.

La tierra se ha ido hacia abajo, mire la entrada dónde va, esa entrada era allá arriba donde yo le digo, se ha movido como 5 metros... son miles y





**Figura 3.** Serie temporal de anomalías de lluvias anuales acumuladas cada 2 años en la estación La Florida. Fuente: elaboración propia.

miles de toneladas que cada época de invierno se lleva hacia la parte baja. Don José Bautista, campesino de Anolaima, entrevista, diciembre de 2014

### Análisis de correlación

Las mayores correlaciones se encontraron en la estación Primavera, lo que indica una mayor asociación entre el comportamiento de las lluvias en esa estación con los fenómenos de variabilidad climática descritos por los indicadores utilizados en comparación con la estación La Florida. Sin embargo, las correlaciones entre precipitación local e indicadores macroclimáticos fueron menores a 0,3 o a -0,3, lo que equivale a coeficientes de determinación ( $r^2$ ) menores a 0,1, esto indicaría que más del 90% de la explicación de la lluvia local en Anolaima debe atribuirse a condiciones locales y no a los fenómenos descritos por los indicadores de variabilidad climática utilizados.

Se encontraron correlaciones negativas significativas entre las lluvias de Anolaima y las anomalías de TSM, indicadoras de variabilidad del océano

Pacífico, mientras las correlaciones con las series de la TSM el Niño 1+2 y 3 no fueron significativas. Las correlaciones con el ARH fueron positivas y de menor intensidad (Tabla 5).

Las mayores correlaciones con los índices de anomalías de TSM la región central del Pacífico (El Niño 3 y 3.4) indican que el aumento/disminución de las lluvias responde en buena medida al enfriamiento/calentamiento del océano Pacífico en estas regiones, en mayor medida en la estación Primavera, dado que las correlaciones fueron ligeramente mayores.

El índice ONI mostró las mayores correlaciones con las lluvias de Anolaima, lo que concuerda con varios autores que encuentran al ONI como el mejor índice para relacionar fenómenos ENOS con las lluvias de la región Andina colombiana (Poveda, 2002; IDEAM, 2011; Guarín y Poveda, 2013; Montealegre, 2009, 2014). Dado que el ONI equivale al promedio trimestral de anomalías de TSM en la región 3,4, las mayores correlaciones podrían interpretarse como el efecto acumulado sobre las lluvias en la

**Tabla 5.** Matriz de correlación de las series mensuales de lluvias en las estaciones La Florida y Primavera e índices océano-atmosféricos.

Variable	NINO1+2	ANOM1+2	NINO3	ANOM	NINO4	ANOM	NINO3,4	ANOM3,4	ONI	MEI	ARH
La Florida	-0,02	-0,12*	-0,06	-0,15*	-0,13*	-0,13*	-0,12*	-0,14*	-0,16*	-0,07	0,09
Primavera	-0,01	-0,17*	-0,07	-0,22*	-0,23*	-0,22*	-0,18*	-0,23*	-0,25*	-0,15*	0,16*

\* Significativo  $P < 0,05$ .

Fuente: elaboración propia.

región en periodos de varios meses y más clara relación entre los años secos y lluviosos bajo El Niño y La Niña, que en meses individuales. Por esta razón las predicciones climáticas que se realicen sobre la base la evolución del ONI, son de utilidad en la adopción de mecanismos de prevención en el municipio de Anolaima.

El índice MEI mostró correlaciones menores que los indicadores oceánicos, mientras, el ARH mostró débiles correlaciones positivas. Esto indica que valores positivos de ARH (mayor humedad en la amazonia brasilera que en la colombiana, lo cual favorece el flujo de nubosidad hacia Colombia) se relacionan de manera significativa, aunque con bajos niveles de asociación, con altos registros mensuales de lluvias en la estación Primavera.

La relación inversa entre las precipitaciones y las anomalías de la TSM indica que valores positivos de TSM (El Niño) se relacionan con menores lluvias, mientras que valores negativos de TSM (La Niña) se relacionan con meses lluviosos. No obstante, en ambas estaciones se han registrado

lluvias superiores a 300 mm tanto en condiciones de calentamiento, como de enfriamiento del océano Pacífico (Figura 4).

Las correlaciones entre las anomalías de la TSM de la región 3.4 y las lluvias en Anolaima aumentaron ligeramente al aplicar rezagos de 1 y 2 meses en Primavera y La Florida respectivamente. Este resultado corresponde con lo reportado por Gutiérrez et al. (2013), quienes encontraron picos de correlación entre 1 y 3 meses, entre las lluvias en el occidente de Colombia y los índices oceánicos del Pacífico. Este rezago puede interpretarse como un tiempo de respuesta que transcurre entre una alteración de la TSM del Pacífico y la máxima señal de alteración de las lluvias en una región particular, lo que indicaría, por ejemplo, que si el máximo valor del ONI se presenta en un mes diciembre la mayor relación con valores altos de lluvia en Anolaima se presentaría entre enero y marzo.

Las correlaciones por series mensuales alcanzaron mayores valores que las correlaciones de las series históricas completas, corroborando que la

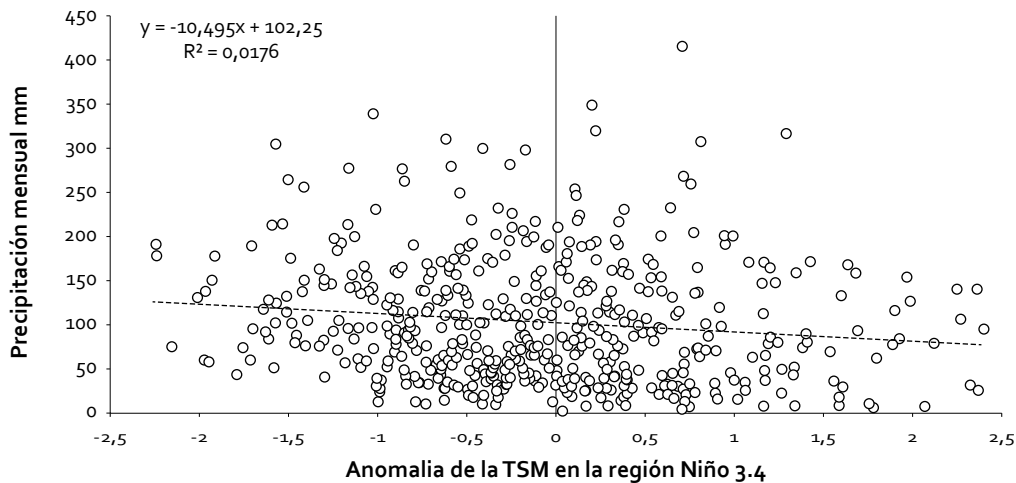


Figura 4. Diagrama de dispersión de la precipitación mensual en la estación La Florida en función de la anomalía de la TSM del océano Pacífico en región El Niño 3.4. Fuente: elaboración propia.

Tabla 6. Coeficientes de correlación parcial entre las series mensuales de lluvias en las estaciones La Florida y Primavera y El índice ONI.

Estación	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
La Florida	-0,08	-0,39*	-0,30*	0,04	-0,03	-0,38*	-0,41*	-0,38*	-0,27*	0,15	-0,27*	-0,35*
Primavera	-0,37*	-0,31	-0,58*	0,02	-0,12	-0,13	-0,65*	-0,53*	-0,49*	0,06	-0,23*	-0,45*

Significativo  $P < 0,05$ .

Fuente: elaboración propia.

asociación entre ENOS y el ciclo anual de las lluvias es diferencial a lo largo del año y depende de la evolución de cada fenómeno (Díaz et al., 2001; IDEAM, 2011; Montealegre, 2014). Esto muestra particularidades de la variabilidad climática en Anolaima, mientras que, en áreas de la cordillera oriental, la Sabana de Bogotá y el Altiplano Cundiboyacense, y en general la región Andina, las mayores correlaciones entre lluvia y el ONI corresponden al trimestre diciembre a febrero (Corpoica, 2012; IDEAM, 2013; Rojas, 2011).

En Anolaima las mayores correlaciones se presentaron en los meses de mitad de año, particularmente entre julio y septiembre (Tabla 6). Esta característica puede ser atribuida a que dentro de una misma cordillera cada vertiente es influenciada de forma diferente por masas de aire como los Alisios, las corrientes húmedas ascendentes del valle del Magdalena o fenómenos de mesoescala en el océano Pacífico como ENOS (Narváz y León, 2001).

Las correlaciones fueron significativas en 7 y 8 de los 12 meses del año en La Florida y Primavera respectivamente, con índices de hasta  $-0,65$  en julio (Tabla 6). Las menores correlaciones (cercasas a 0) se dieron en mayo y octubre, lo que coincide con Ramírez-Builes y Jaramillo-Robledo (2009), quienes reportaron las menores correlaciones entre las precipitaciones de la región Andina y el índice ONI en los meses lluviosos. Esta falta de correlación podría asociarse al desplazamiento hacia el sur de la ZCIT y al incremento de la corriente en Chorro del Chocó aspectos que incrementan la nubosidad y las lluvias con lo que se disminuye la señal de El Niño (Poveda, 2004).

Los periodogramas de las series de lluvias mostraron que Primavera presenta mayor señal de variabilidad en ciclos de frecuencias menores, principalmente de 0,5, cercanos al ciclo anual con periodo de 12 meses. La Florida mostró la principal señal de variabilidad en ciclos de frecuencia cercana a 1,1, correspondiente con ciclos estacionales de seis meses (Figura 5). Primavera mostró variabilidad en frecuencias más cercanas al ONI que La Florida, confirmando lo observado en los coeficientes de correlación.

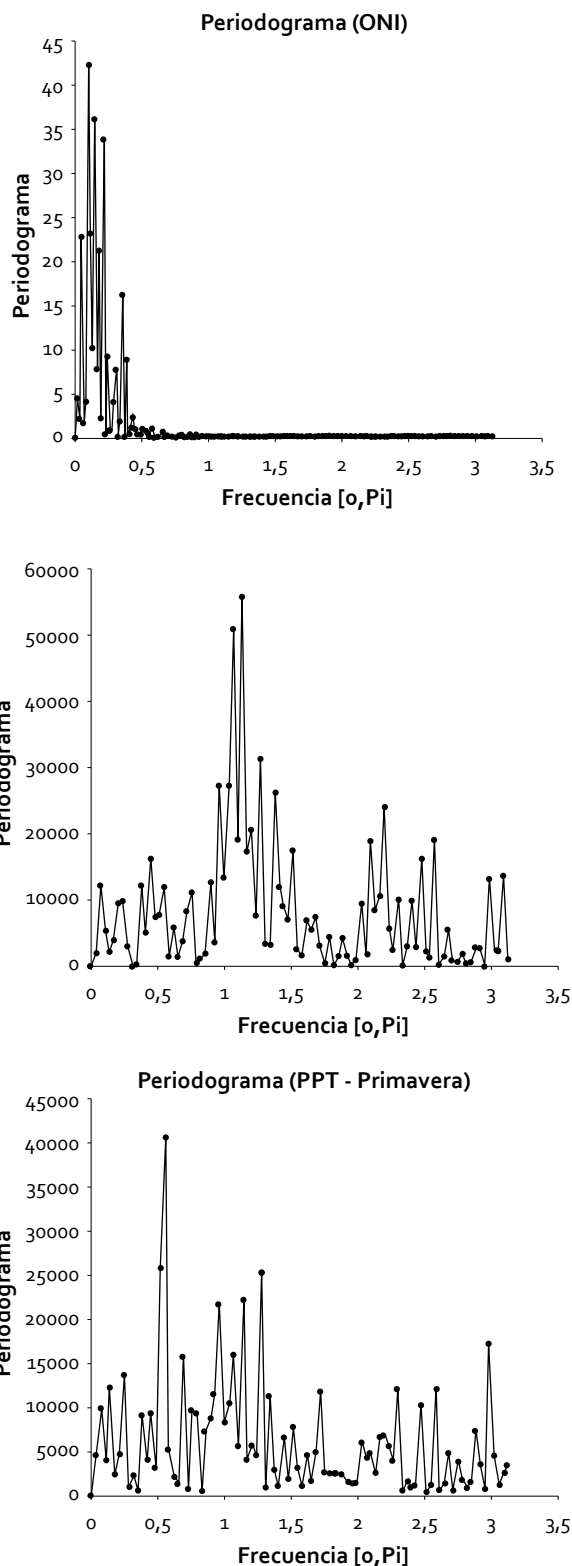


Figura 5. Periodogramas de las series del índice ONI y las series de lluvias en Anolaima. Fuente: elaboración propia.

## Conclusiones

Entre otras características de la variabilidad climática local del municipio de Anolaima, se encontró que el periodo más seco del año corresponde al trimestre de junio a agosto, a diferencia de otras zonas de la región Andina y la mayor parte de Colombia, donde el trimestre más seco es de noviembre a enero. Se establecieron los indicadores de estos fenómenos que resultan más útiles para explicar la variabilidad de las lluvias, como insumo para la planificación de actividades agrícolas e implementación de medidas de adaptación.

Los análisis estadísticos permitieron identificar diferencias tanto en los promedios como en la variabilidad de las lluvias de las dos estaciones de Anolaima pese a su cercanía y características geográficas comunes. Estas diferencias pueden explicar particularidades de los agroecosistemas que deben ser analizadas con más detalle integrando parámetros agrícolas y o ecosistémicos en relación con la climatología local.

Las diferencias detectadas sugieren que, para comprender las manifestaciones de la variabilidad climática, en escalas espaciales reducidas deben considerarse aspectos topográficos, de vegetación o paisajísticos, dadas las complejas interacciones entre masas de aire impulsadas por los alisios, las corrientes húmedas ascendentes del valle del Magdalena o los fenómenos de convección y formación de nubes que determinan las ocurrencias de lluvias en la región.

Estos aspectos locales deben ser estudiados más a fondo para comprender la variabilidad de las lluvias y su impacto en el cultivo del café y desarrollar herramientas que apoyen la toma de decisiones en relación con la variabilidad climática, dado que estos impactos ya han sido reconocidos por los productores. En particular es necesario continuar con este tipo de estudios para estos productores.

Los eventos extremos de lluvia, analizados a escala mensual no estuvieron asociados en todos los casos con El Niño o La Niña, sin embargo, debido a la importancia de estos eventos sobre la productividad del café, es necesario estudiar con mayor profundidad su ocurrencia, principalmente en escalas de tiempo más finas (diaria u horaria), e incluir

estos estudios en la planificación de medidas de manejo y prevención.

Dado que la ocurrencia de años secos y lluviosos en Anolaima resultó claramente asociada con fenómenos El Niño y La Niña y la correlación entre el ONI y las series de lluvias permitió explicar parte de su variabilidad interanual, en mayor medida en la estación Primavera, los elementos aportados en este estudio constituyen un insumo para la planificación de medidas adaptativas frente a la ocurrencia de excesos o deficiencias de lluvias, mediante el seguimiento y análisis de las predicciones del ONI publicadas periódicamente por el IDEAM y los centros internacionales de predicción climática.

**Agradecimientos.** Los autores de este artículo presentamos nuestro especial agradecimiento a los agricultores participantes del estudio, quienes ofrecieron su tiempo y conocimiento para el desarrollo de la investigación. De igual manera al Instituto de Estudios Ambientales por su apoyo académico y logístico.

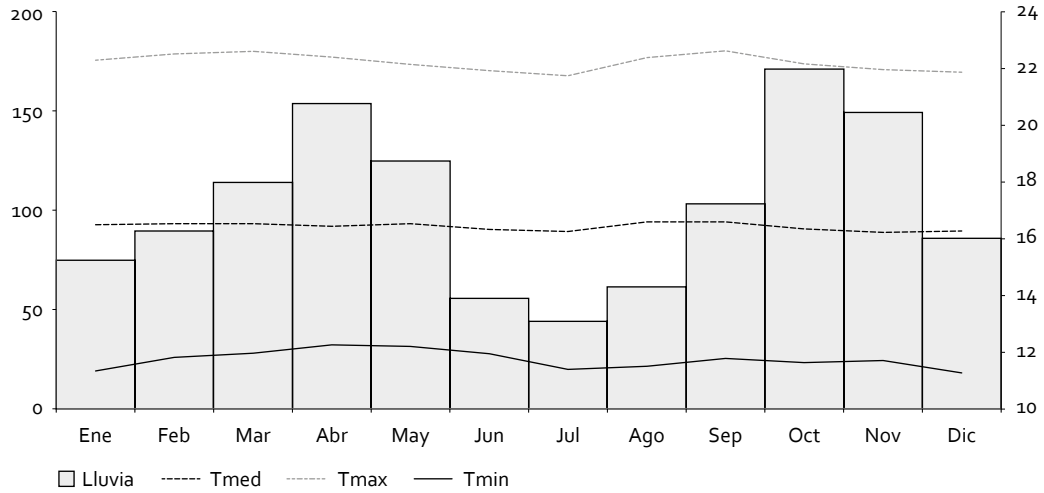
**Conflicto de intereses.** Los autores del artículo declaramos que no existe ningún potencial conflicto de intereses en el desarrollo de la investigación ni en la publicación del artículo resultado de la misma.

**Fuentes de financiación.** En el desarrollo de este estudio se contó con recursos provenientes de la convocatoria Chucho Bejarano de la Facultad de Ciencias Económicas y el Instituto de Estudios Ambientales de la Universidad Nacional de Colombia.

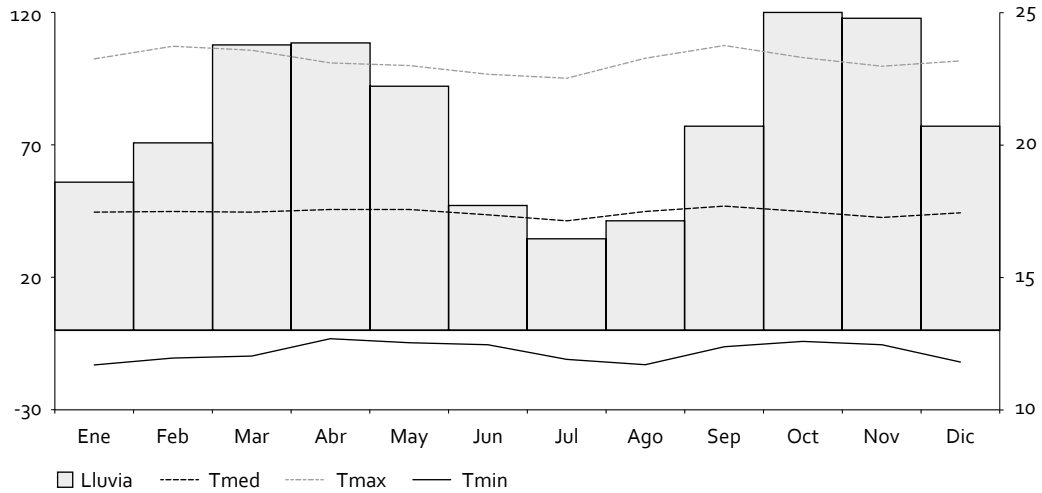
## Bibliografía

- Alcaldía de Anolaima, 2012. Plan local de emergencias y contingencias PLEC. Anolaima, Colombia.
- Aranco, C., Dorado, J., Guzmán, D., Ruíz, J., 2013. Variabilidad climática de la precipitación en Colombia asociada al ciclo El Niño, La Niña - Oscilación del Sur (ENSO). IDEAM, Bogotá, DC.
- Arcila, J., 2007. Crecimiento y desarrollo de la planta de café. En: Arcila, J., Farfán, F., Moreno, A., Salazar, L., Hicapié, E. (Ed.), *Sistemas de producción de café en Colombia*. Cenicafé, Chinchiná, Colombia. pp. 21-60.
- Arcila, J., Jaramillo, A., 2003. Relación entre la humedad del suelo, la floración y el desarrollo del fruto del café. *Avances técnicos*. Cenicafé, Chinchiná, Colombia.
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), Banco Interamericano de Desarrollo (BID), 2012. Valoración de daños y pérdidas. Ola invernal en Colombia 2010-2011. Bogotá, DC.

- Córdoba, C., León, T., 2013. Resiliencia de sistemas agrícolas ecológicos y convencionales frente a la variabilidad climática en Anolaima (Cundinamarca - Colombia). *Agroecología* 8(1), 21-32.
- Correa, N., Rojo, J., Carvajal, L., 2016. Caracterización de la variación espacial y temporal de la ZCIT sobre suramérica. En: Mem. XXVII Congreso Latinoamericana de Hidráulica. Lima.
- Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica), 2012. Zonificación del impacto de la oscilación ENOS sobre las condiciones climáticas del altiplano cundiboyacense como base para orientar la generación de transferencia de tecnología agropecuaria y reducir la vulnerabilidad climática. Mosquera, Colombia.
- Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE), 2018. Serie de proyecciones de población con desagregación nacional, departamental, municipal, y cabecera – resto (centros poblados y rural disperso). Bogotá, DC.
- Díaz, H., Hoerling, M., Eischeid, J., 2001. ENSO variability, teleconnections and climate change. *Int. J. Clim.* 1845-1862. DOI: 10.1002/joc.631
- Donga, M., Jährmann, K., 2008. How to identify adaptation strategies for smallholder farms in coffee and tea sector. En: *Adaptation for Smallholders to Climate Change*. Cafédirect; GTZ, disponible en: [https://cambioclimatico.ineter.gob.ni/bibliografia/Adaptacion%20al%20cambio%20climatico/Climate-Change\\_Adaptation\\_Strategies.pdf](https://cambioclimatico.ineter.gob.ni/bibliografia/Adaptacion%20al%20cambio%20climatico/Climate-Change_Adaptation_Strategies.pdf); consultado: mayo de 2019.
- Fedecafé, 2018. Informes de Comités Departamentales. De acuerdo por la prosperidad. En: LXX Congreso Nacional de Cafeteros. Bogotá, DC.
- Fischerworing, B., Robkamp, R., 2001. Guía para la caficultura ecológica. GTZ, Popayán, Colombia.
- Guarín, G., Poveda, G., 2013. Variabilidad espacial y temporal del almacenamiento de agua en el suelo en Colombia. *Rev. Acad. Colomb. Cienc. Exact. Fis. Nat.* 37(142), 89-113.
- Guharay, F., Monterrey, J., Monterroso, D., Staver, C., 2000. Manejo integrado de plagas en el cultivo del café. Manual Técnico 44. Managua.
- Gutiérrez, S., Carvajal, Y., Ávila, A., 2013. Estudio de la influencia del fenómeno El Niño - Oscilación del Sur en la oferta hídrica de la cuenca hidrográfica del Río Dagua. *Entre Ciencias e Ingeniería* 7(13), 26-33.
- Guzmán, D., Ruíz, J., Cadena, M., 2014. Regionalización de Colombia según la estacionalidad de la precipitación media mensual, a través del análisis de componentes principales (ACP). IDEAM, Bogotá, DC.
- Instituto del Café de Costa Rica (ICAFFE), 2011. Guía técnica para el cultivo del Café. ICAFFE, San Pedro de Barva, Costa Rica.
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia (IDEAM), 2011. Variabilidad climática de la precipitación en Colombia asociada al ciclo El Niño, La Niña - Oscilación del sur (ENSO). Bogotá, DC.
- Jaramillo, A., Ramírez, V., Arcila, J., 2011. Patrones de distribución de la lluvia en la zona cafetera. *Avances técnicos*. Cenicafé, Bogotá, DC.
- Montealegre, J., 2009. Estudio de la variabilidad climática de la precipitación en Colombia asociada a procesos oceánicos y atmosféricos de meso y gran escala. IDEAM, Bogotá, DC.
- Montealegre, J., 2014. Actualización del componente meteorológico del modelo institucional del IDEAM sobre el efecto climático de los fenómenos El Niño y La Niña en Colombia, como insumo para el Atlas Climatológico. IDEAM, Bogotá, DC.
- Narváez, G., León, G., 2001. Caracterización y zonificación climática de la región andina. *Meteorol. Colomb.* (4), 121-126.
- Observatorio Regional Ambiental y de Desarrollo Sostenible del Río Bogotá (ORARBO), 2015. Anolaima. Disponible en: <https://www.orarbo.gov.co/es/inicio>; consultado: noviembre de 2016.
- Peña-Quiñones, A., Paternina-Quijano, M., 2010. Señales de variabilidad climática y cambio en algunas series anuales de precipitación de la zona cafetera colombiana. *Cenicafé* 61(2), 174-187.
- Poveda, G., 2004. La hidroclimatología de Colombia: una síntesis desde la escala inter-decadal hasta la escala diaria. *Rev. Acad. Colomb. Cienc. Exact. Fis. Nat.* 28(107), 201-222.
- Poveda, G., Vélez, J., Mesa, O., Cuartas, A., Barco, J., Mantilla, R., Mejía, J., Hoyos, C., Ramírez, J., Ceballos, L., Zuluaga, M., Arias, P., Botero, B., Montoya, M., Giraldo, J., Quevedo, D., 2007. Linking long-term water balances and statistical scaling to estimate river flows along the drainage network of Colombia. *J. Hydrol. Eng.* 12, 4-13.
- Poveda, G., Vélez, J., Mesa, O., Hoyos, C., Salazar, L., Mejía, J., Barco, O., Correa, P., 2002. Influencia de fenómenos macroclimáticos sobre el ciclo anual de la hidrología colombiana: cuantificación lineal, no lineal y percentiles probabilísticos. *Meteorol. Colomb.* (6), 1-10.
- Ramírez-Builes, V., Jaramillo-Robledo, A., 2009. Relación entre el índice oceánico El Niño y la lluvia en la región andina central de Colombia. *Cenicafé* 60(2), 161-172.
- Rojas, E., 2011. Evaluación del rendimiento del cultivo de la papa bajo escenarios de variabilidad climática interanual y cambio climático en el suroeste de la sabana de Bogotá. Tesis de maestría. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, DC.



Anexo 1. Climogramas zona de estudio: Estación La Florida. Fuente: elaboración propia.



Anexo 2. Climogramas zona de estudio: Estación Primavera. Fuente: elaboración propia.