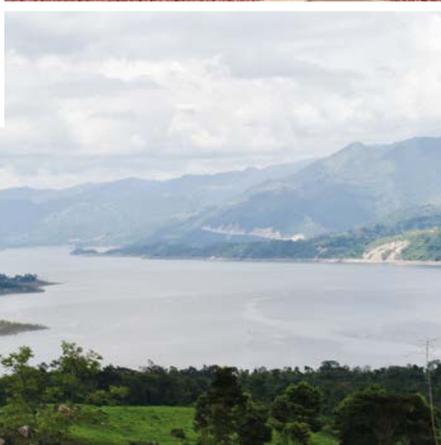




Métodos para el monitoreo agroclimático alrededor de embalses:

Estudio de caso para la Central Hidroeléctrica Sogamoso, Santander, Colombia



**Métodos para el monitoreo agroclimático
alrededor de embalses: estudio de caso para la
hidroeléctrica Sogamoso, Santander, Colombia**

Autores
María Carolina Pinilla Herrera
Andrés Julián Rueda Quecho
Carlos Andrés Pinzón Correa

Marzo de 2018

ISAGEN S.A E.S.P
www.isagen.com.co

Camilo Marulanda López
Director General

© Fundación Natura
Se autoriza la reproducción total o parcial, siempre y cuando se cite la fuente

La información consignada en esta publicación hace parte del Convenio No. 46/3379, suscrito entre ISAGEN ESP y FUNDACIÓN NATURA COLOMBIA “Programa para atender la percepción de la comunidad acerca de posibles cambios microclimáticas ocasionados por el embalse”.

Elsa Matilde Escobar A.
Directora Ejecutiva

Clara Solano
Subdirectora de Conservación e Investigación

Equipo técnico
Andrés Julián Rueda Quecho
Carlos Andrés Pinzón Correa
Fabián Alberto Rangel Silva
Abel Merchán
Omar Salamanca
Hector Gregorio Mejía
Paola Andrea Raga Naranjo

ISAGEN

ISBN: 978-958-8753-40-9

Citación sugerida

Pinilla, M. C., Rueda, A. J. y Pinzón, C. A. (2018). Métodos para el monitoreo agroclimático alrededor de embalses: estudio de caso para la hidroeléctrica Sogamoso, Santander, Colombia. Fundación Natura. 76 p.

Sistematización y apoyo en análisis estadístico

Fabián Alberto Rangel Silva

Diseño y Diagramación

Colectivo La Tiza

Ilustraciones y cartografía

Carlos Pérez y Wilson Gómez

Fotografía

Paola Andrea Raga Naranjo

Edición

Luisa Fernanda Casas Caro

Impresión

Bucaramanga, 2018

Tabla de Contenido

PRESENTACIÓN	6
INTRODUCCIÓN	7
PRIMERA PARTE. MARCO CONCEPTUAL	9
1. Aproximación conceptual sobre la relación entre el clima y la cobertura y uso del suelo	10
2. Preguntas de investigación e hipótesis de trabajo	15
3. Diseño experimental	17
SEGUNDA PARTE. MÉTODOS	20
1. Delimitación del área de estudio	21
2. Criterios para ubicar las estaciones de monitoreo climatológico	24
3. Criterios para ubicar las unidades de monitoreo agronómico -parcelas demostrativas	25
4. Estrategia comunitaria	31
TERCERA PARTE. RESULTADOS DE LÍNEA BASE	33
1. Componente social	34
1.1 Diagnóstico agroeconómico	35
1.2 Encuesta de percepción	37
2. Componente climático	40
2.1 Climatología general de la región	41
2.2 Impacto de los eventos ENOS en la precipitación	44
2.3 Tendencias del comportamiento de las variables climatológicas en el área de estudio	47
2.4 Componente agronómico	58
2.4.1 Ciclo fenológico del cacao	59
2.4.2 Aspectos fitosanitarios del cacao	62
2.4.3 Ciclo fenológico del café	66
2.4.4 Aspectos fitosanitarios del café	67
CUARTA PARTE. CONCLUSIONES	68
BIBLIOGRAFÍA	73

PRESENTACIÓN

ISAGEN como desarrollador del Proyecto Hidroeléctrico Sogamoso elaboró los estudios ambientales necesarios para identificar los impactos ambientales de la obra (Estudio de Impacto Ambiental –EIA-) y proponer las medidas para su prevención, mitigación, manejo y compensación (Plan de Manejo Ambiental –PMA) en el área de influencia del Proyecto. Fue así como desde las primeras etapas de estudio –EIA- se identificaron las inquietudes y percepciones de la comunidad aledaña al embalse sobre cómo el clima local podría variar a causa de la presencia del cuerpo de agua que se establecería por la conformación del embalse, y sobre cómo esta variación podría causar efectos negativos o positivos sobre los sistemas de producción de cacao, café y cultivos asociados.

En atención a las inquietudes planteadas por la comunidad, se incluyó dentro del Plan de Manejo Ambiental del Proyecto Hidroeléctrico Sogamoso el “Programa para atender la percepción de la comunidad acerca de posibles cambios microclimáticos ocasionados por el embalse”, el cual contempló el Proyecto de monitoreo del comportamiento climático en el área de influencia del Proyecto Hidroeléctrico Sogamoso, mediante el Convenio No. 46/3379 con Fundación Natura en enero del año 2010. Con una duración de cuatro años, la primera fase del convenio tuvo como objetivo central esta-

blecer la línea base de información agroclimática antes del llenado del embalse, con el fin de conocer el comportamiento del clima y de los principales cultivos en la zona de interés y así, poder evaluar, después del llenado del embalse, los posibles escenarios de cambio planteados por la comunidad.

Durante el desarrollo del Convenio se elaboró un marco conceptual y metodológico robusto y pionero en el país sobre el monitoreo agroclimático alrededor de embalses. El adecuado planteamiento del diseño experimental ha facilitado orientar y dar respuesta a preguntas de mayor complejidad, ha permitido darle continuidad técnica y logística al monitoreo antes y después del llenado del embalse y, ha sido costo/efectivo en su realización. Desde el punto de vista técnico, la metodología es replicable y comparable.

Por esta razón, la presente publicación pretende mostrar los marcos conceptuales y metodológicos que soportaron el proceso de investigación del Convenio 46/3379, así como los principales resultados obtenidos en la línea base antes del llenado del embalse. Al compartir este trabajo con la comunidad técnico-académica, estudiantes y público en general, esperamos contribuir a la construcción de conocimiento sobre las implicaciones técnicas y sociales para realizar actividades de monitoreo agroclimático que sean robustas desde una perspectiva científica, viables logísticamente y útiles para la sociedad.

INTRODUCCIÓN

El convenio 46/3379 entre ISAGEN y Fundación Natura tuvo como objetivo elaborar diseños conceptuales, metodológicos, estudios y generación de información de línea base que permitiera profundizar y comprender el comportamiento del clima y de los sistemas productivos que se encuentran en la zona de influencia directa al embalse del Proyecto Hidroeléctrico Sogamoso.

El desarrollo de la primera fase de monitoreo agroclimático –antes del llenado del embalse- tuvo diferentes momentos técnicos y logísticos que constituyen un modelo metodológico único y novedoso en el país, dado que ésta es la primera investigación en Colombia que busca definir la posible incidencia de un embalse de un Proyecto Hidroeléctrico en el clima local y a su vez los cultivos de su área de influencia directa.

Es por ello que la construcción de esta nueva perspectiva de conocimiento y el trabajo realizado cuatro años antes del llenado del embalse, implicó una permanente interacción multidisciplinaria en la que los equipos de ISAGEN y la Fundación Natura, en permanente acompañamiento de las comunidades locales y de las instituciones técnicas y académicas (locales y nacionales), participaron en la consoli-

ción de la primera fase del proceso de investigación. Dicha fase culminó en Diciembre de 2014 con el llenado del embalse y con una estrategia establecida para el monitoreo del comportamiento climático y agronómico en el área que potencialmente podría presentar cambios microclimáticos ocasionados por la llegada del cuerpo de agua.

Esta publicación recopila los diferentes procesos metodológicos y resultados de línea base. La primera parte contiene el marco conceptual que sirvió de base para elaborar las preguntas de investigación y las hipótesis, las cuales guiaron el diseño experimental y el posterior trabajo técnico para la toma de datos. La rigurosa revisión del estado del arte sobre las consecuencias de los procesos de cambio de uso del suelo y de investigaciones recientes sobre la interacción clima-vegetación, permitió establecer un marco de análisis y de referencia para la investigación del Convenio 46/3379.

La segunda parte del libro expone uno de los principales contenidos de esta publicación: los métodos y los diversos criterios técnicos y sociales para diseñar las metodologías de monitoreo agroclimático en el área de estudio. La incorporación e integración de aproximaciones metodológicas novedosas y de di-



Cultivo de café en San Vicente de Chucurí

versos tipos de conocimientos (desde el local hasta el académico), constituyeron el principal aporte de este Convenio para el monitoreo agroclimático alrededor de embalses en Colombia.

En la tercera parte se presentan los resultados de la línea base en sus principales componentes: el social, el climático y el agronómico. La información producida en cada uno de estos componentes se erige como la base para comparar a lo largo del tiempo, las percepciones, cambios e impactos en el clima y los cultivos después del llenado del embalse. La cuarta parte del libro presenta las principales conclusiones de este trabajo de investigación así como sus perspectivas a mediano y largo plazo.

Como se ha mencionado, el origen de este convenio y de todo su proceso de investigación fue la inquietud de las comunidades locales, razón por la cual los productores, técnicos, instituciones y población en general (escuelas, amas de casa y Juntas de Acción Comunal, entre otras) han sido partícipes de todo el proceso metodológico y técnico; su contribución, sus

conocimientos y criterio experto han sido fundamentales para el desarrollo y viabilidad de la investigación. Es por ello que los resultados de este trabajo no solo están respaldados desde la perspectiva técnica y académica, pues también han sido validados, aceptados e incorporados por las comunidades locales.

De tal manera que el contenido de esta publicación destaca la construcción de conocimiento sobre el monitoreo del clima y los cultivos desde diversas perspectivas (la técnica y la comunitaria), evidenciando que los procesos de investigación pueden construir puentes de comunicación entre diversas comunidades y solo en ese sentido, es que pueden ser útiles para la toma de decisiones.



PRIMERA PARTE. MARCO CONCEPTUAL

1.

Aproximación conceptual sobre la relación entre el clima, la cobertura y uso del suelo

El clima terrestre es producto de la constante y compleja interacción entre la atmósfera, los océanos, los continentes y la vida en el planeta durante un periodo de tiempo determinado (Valdivia et.al., 2010). Debido a que el clima se relaciona generalmente con las condiciones predominantes en la atmósfera, este se define a partir del comportamiento de variables atmosféricas como la temperatura, la precipitación, la radiación solar, la velocidad del viento y la humedad relativa, entre otros, durante un determinado periodo de tiempo (IDEAM, 2017; Romero, 2015).

Para medir el clima, es decir, para asociarle números a los elementos climáticos de una localidad, región o país es necesario medir diariamente las condiciones de temperatura, lluvia, humedad y viento, además de observar las condiciones de nubosidad, la trayectoria de huracanes y las masas de aire frío, entre otros (IPCC, 2013). Para ello se requiere conocer, sistematizar y analizar durante varios años el estado del tiempo (Romero, 2015). Al hablar de tiempo meteorológico se hace mención a las condiciones atmosféricas de un determinado lugar en un periodo no mayor a 10 días (OMM, 2017). De manera que varios años de mediciones (mínimo 30 años) permiten establecer el tipo de clima de una región determinada (IDEAM, 2017).

Dependiendo de cada región, en Colombia se espera que durante la temporada de lluvias (popularmente conocida como invierno), las condiciones atmosféricas predominantes generen un volumen significativo de lluvias y altos niveles de humedad;

mientras que para la época de sequía meteorológica (llamada también verano) se espera una disminución sustancial de las lluvias y de la humedad relativa. Sin embargo, suele suceder que durante la temporada de lluvias ocurren días sumamente calurosos o que se presentan lluvias intensas durante las épocas de sequía; lo cual no indica que haya cambiado el clima sino que hay variaciones en el estado del tiempo dentro del clima esperado (Montealegre, 2009).

El comportamiento de los elementos climáticos en el noroeste de los Andes colombianos está influenciado por los vientos Alisios del Norte y por el movimiento estacional de la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT), además de la altitud sobre el nivel del mar y las características orográficas (Ruíz y Pabón, 2013; Montealegre, 2009). La interacción de estos elementos con la variabilidad espacial de la cobertura vegetal y de la diversidad de usos del suelo, produce una variedad de expresiones climáticas de menor escala que muestran patrones de comportamiento muy particulares de las variables climatológicas (Rodríguez et.al., 2010). Por ello, al hablar del clima, sus interacciones y manifestaciones desde lo macro hasta lo micro, los científicos diferencian entre el clima global, clima regional y clima local.

El *clima global*, es un concepto que considera las condiciones atmosféricas predominantes durante un período largo, como años y siglos, que son generadas por una distribución heterogénea de la energía solar que ingresa al planeta y produce una circulación atmosférica y oceánica. Esta circulación, a su vez, re-

distribuye la energía (en forma de calor) y la humedad del aire, la nubosidad y la cantidad de lluvias (Arnell et.al., 2003).

El *clima regional* se refiere a las condiciones atmosféricas predominantes en una región las cuales son consecuencia de la modulación de las condiciones globales y de los factores físico-geográficos que la caracterizan (Romero, 2015). Por ejemplo, a un nivel de macroescala, la América Tropical Ecuatorial se destaca por presentar gran cobertura de nubosidad y estaciones lluviosas determinadas por la ZCIT (IPCC, 2013). Estas características del clima se acoplan a las condiciones fisiográficas de cada región, tales como: formaciones montañosas, cordilleras, valles, llanos y planicies; para incidir en la distribución de elementos como el tipo de vegetación (Arnell et.al., 2003; Foley et.al., 2003). Una representación de estos acoples climáticos regionales y fisiográficos en la América Tropical Ecuatorial son las selvas amazónicas, los bosques montanos o las sabanas del Orinoco, entre otros; todos con un tipo de clima húmedo-lluvioso estacional (Romero, 2015; IPCC, 2013).

Tipos de Clima



Clima Global
Condiciones atmosféricas durante años y siglos.



Clima Regional
Condiciones atmosféricas que predominan en la región debido a las condiciones fisiográficas.



Clima Local
Condiciones atmosféricas que predomina en un lugar depende de:

- Altitud
- Radiación
- Solar
- Cobertura
- Del suelo

Figura 1. Escalas Espaciales de la Manifestación del Clima.

Cobertura y uso del suelo

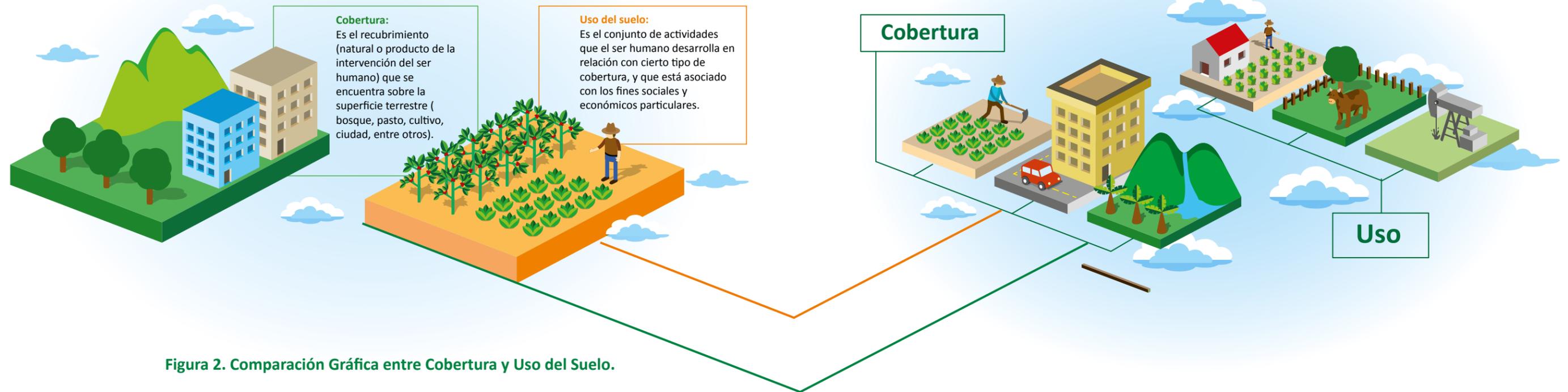


Figura 2. Comparación Gráfica entre Cobertura y Uso del Suelo.

El *clima local*, hace referencia a las condiciones atmosféricas predominantes en un lugar en donde la topografía, la altitud, la radiación solar y la cobertura del suelo, pueden incidir en el comportamiento meteorológico (más que climático propiamente dicho); es decir, en el comportamiento específico de la temperatura, la humedad relativa, la precipitación, la evaporación y la velocidad del viento, entre otros elementos climáticos (Rodríguez et.al. 2010; Foster, 2001).

El aislamiento de las señales del clima global, regional y local es tarea difícil porque la interacción de los factores que modulan el comportamiento de los elementos o variables climáticas, funciona como un sistema complejo de interconexiones atmosféricas – terrestres a diversas escalas (IPCC, 2013; Montealegre, 2009; Mahfouf, et.al., 1987). No obstante, uno de los indicadores que permite diferenciar la escala

del clima es la cobertura vegetal, ya que el clima es un factor primordial en la distribución de los patrones mundiales de los ecosistemas y, al mismo tiempo, los ecosistemas, a través de su cobertura vegetal y suelos, pueden afectar el sistema climático (Zhao et. al., 2001; Chapin et. al., 2000; Foley et. al., 2003).

Los resultados de diversas investigaciones han establecido que los cambios en el uso del suelo, tales como deforestación, creación de embalses, urbanización, cambio de tipo de cultivo y sistemas de riego, entre otros; han modificado paulatinamente en la escala local diferentes procesos como:

a) Los patrones de comportamiento e intensidad de los fenómenos meteorológicos como las ondas de calor, tormentas, granizadas y heladas, entre otros (Bounoua et.al., 2015; Hesslerová et.al., 2013; Ban-Weiss et.al., 2011; Ceballos, 2009; Feddema et.al., 2005; Foley et.al., 2003).

b) El comportamiento temporal de las variables climatológicas como temperatura y humedad del aire, vientos y precipitación (Aldrich y Imberger, 2013; Spracklen et.al., 2012; Rodríguez et.al., 2010; Buytaert et.al., 2006; Jauregui, 2004; Arnell et.al., 2003; Kalnay y Cai, 2003; Bruijnzeel, 1989; Mahfouf et.al., 1987).

c) El recambio de algunas características de la superficie terrestre como la humedad de la capa superficial del suelo, la regulación del balance de radiación del sistema superficie-atmósfera y los flujos de vapor de agua o CO₂ y energía (calor) (Bargués et.al., 2014; Makarieva, y Gorshkov, 2013; Bonan, 2008; Anyamba y Tucker, 2005; Aspinall, 2004; Foster, 2001).

Los cambios en la cobertura y uso del suelo tienen un impacto espacial y temporal diferenciado en dos grandes procesos: los ciclos biogeoquímicos y los ciclos biofísicos (figura 3). En términos generales los

ciclos biogeoquímicos son los procesos relacionados con la circulación de elementos químicos y de calor entre el océano, la atmósfera, la superficie de la tierra y los organismos vivos; mientras que los ciclos biofísicos, son procesos de recambio en las estructuras y disponibilidad de los elementos vitales para la vida en el planeta, como el ciclo del agua. Sí bien estas dos categorías difieren en su comprensión temporal, puede mencionarse que los cambios en la cobertura y uso del suelo con relación al clima, impactan a dichos ciclos a través de procesos que van a incidir en los patrones de comportamiento de variables climáticas, la disponibilidad de agua y el ciclaje de nutrientes (Ellison et.al., 2017).

Impactos del cambio de uso del suelo sobre el clima

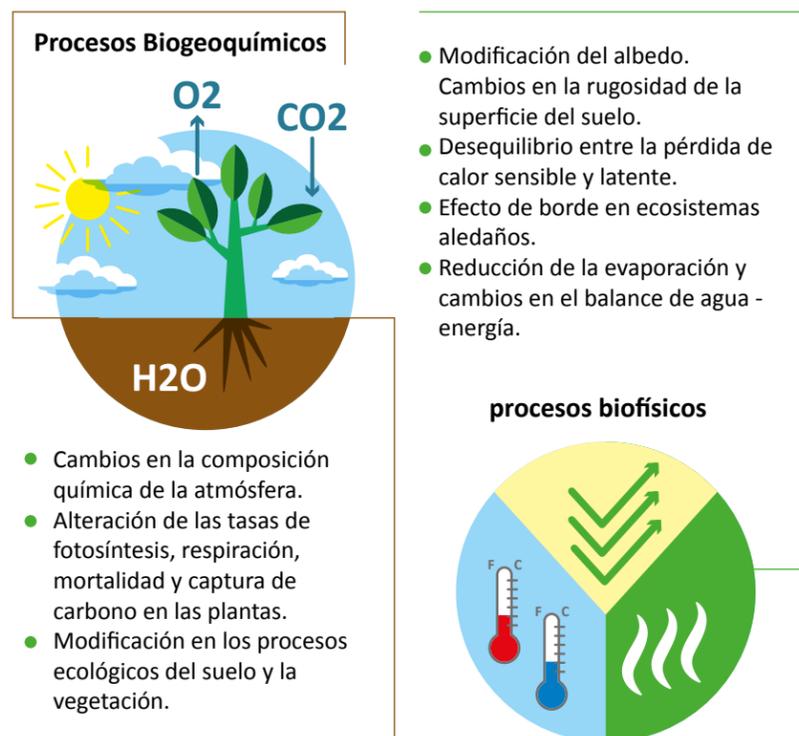


Figura 3. Impactos del Cambio del Uso del Suelo Sobre los Ciclos Biogeoquímicos y Procesos Biofísicos Asociados al Clima.

En Colombia, una de las investigaciones más relevantes sobre la relación clima – cobertura vegetal fue realizada por Rodríguez et.al. (2010). Su estudio, desarrollado en el sector nororiental de la cordillera Oriental, demostró la influencia de cambio de cobertura vegetal sobre la climatología local, a través de escenarios de conservación y transformación antrópica.

Sus hallazgos a partir del modelamiento del clima regional, establecieron que, efectivamente, ocurren modificaciones de las variables climatológicas en la escala local, cuando hay alteraciones en el uso del

suelo. Sus evidencias se basan en la detección de cambios en las series de anomalías de precipitación y en la longitud de regímenes; donde las estaciones climatológicas localizadas en un entorno transformado mostraron mayor variabilidad, con respecto a las estaciones localizadas en ambientes con un entorno natural (Rodríguez et.al., 2010).

La metodología y resultados del estudio de Rodríguez et.al. (2010), constituyen un importante referente para el entendimiento de la interacción entre cambio del uso del suelo a nivel regional-local y el clima. En las conclusiones de su trabajo identifican la necesidad de realizar más estudios con mayor cantidad y calidad de datos que, demuestren cómo tras un cambio significativo en el uso del suelo, puede modificarse los patrones del comportamiento climatológico en una zona específica.

Es por ello que la investigación del Convenio entre ISAGEN y Fundación Natura, es de gran relevancia, tanto por la innovación metodológica para el monitoreo agroclimático alrededor de embalses, como por la construcción de conocimiento a futuro sobre la interacción entre la cobertura vegetal, el cambio de uso del suelo y el clima.

2.

Preguntas de investigación e hipótesis de trabajo

Como se mencionó en la presentación de este libro, el origen de esta investigación fue la inquietud de las comunidades locales sobre los posibles impactos del embalse sobre el clima local y los cultivos. De tal manera que para guiar el proceso metodológico la pregunta general de investigación fue: *¿Puede el cuerpo de agua del embalse llegar a cambiar el clima local y las dinámicas fitosanitarias en los sistemas de producción de la zona circundante?*

Esta pregunta encerraba un nivel de complejidad que por sí sola no conllevaba a respuestas concre-

tas. Por ello, fue necesario la formulación de otras preguntas en ejes temáticos específicos para orientar a respuestas específicas. Los ejes temáticos para formular las preguntas de investigación específicas fueron: i) comportamiento del clima; ii) variabilidad climática; iii) comportamiento de los cultivos, y, iv) localización del monitoreo. La figura 4 muestra un esquema de los ejes temáticos de la pregunta principal de investigación y sus preguntas de investigación derivadas.

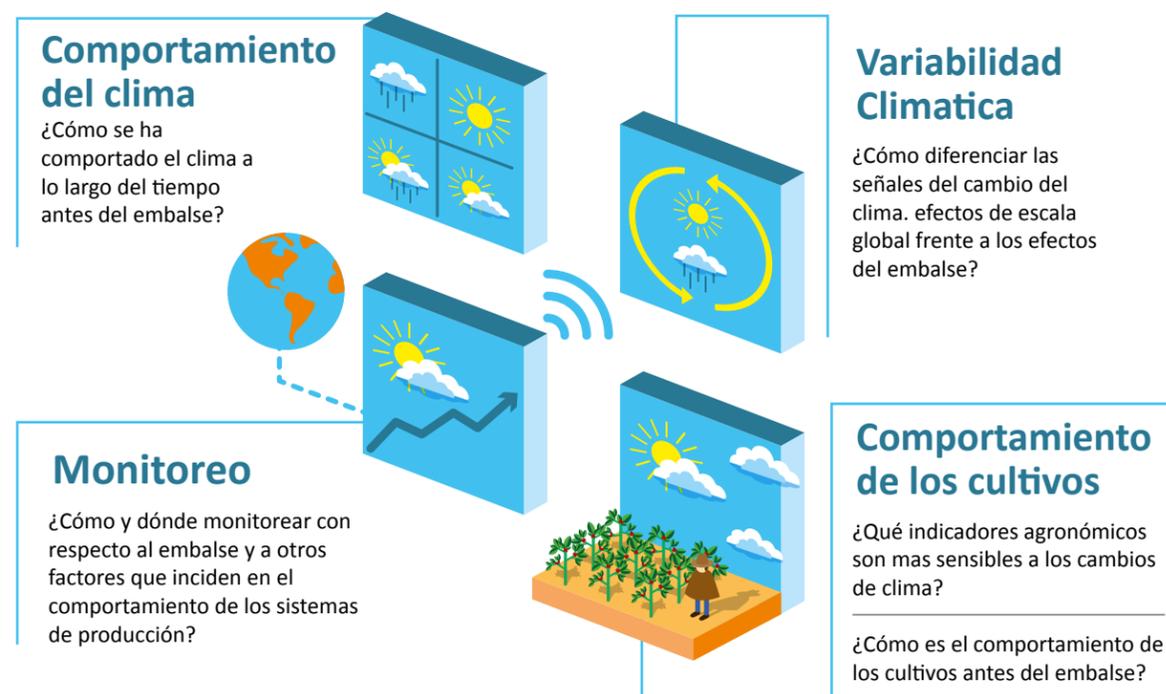


Figura 4. Ejes temáticos y preguntas de investigación derivadas.

El planteamiento de las preguntas de investigación y la respectiva búsqueda de respuestas a través del monitoreo agroclimático, se debían integrar a una escala temporal con respecto a al inicio del llenado del embalse. Por ello, el desarrollo de las hipótesis y del diseño experimental del monitoreo se definieron previamente a la presencia del nuevo cuerpo de agua, dos años y medio antes; de manera que los procesos técnicos y comunitarios necesarios para la toma de datos fueran un continuo en el tiempo -antes (línea base), durante y después- de la conformación del embalse de la Central Hidroeléctrica Sogamoso.

Para formular la principal hipótesis de trabajo fue necesario considerar los trabajos previos realizados (ver sección 1 de la primera parte), así como las ca-

racterísticas del paisaje montañoso de la zona de estudio puesto que la orografía del territorio posee condiciones microclimáticas muy específicas asociadas a los lomeríos, valles, cordilleras y mesetas; condiciones que dependiendo de la distancia al embalse, pueden llegar a mantener su tendencia histórica o presentar algún cambio potencial.

En este orden de ideas, la hipótesis de trabajo que guió el diseño experimental de la investigación fue que: *“los cambios potenciales del clima se evidenciarán en las inmediaciones al cuerpo de agua, es decir entre los 0 y 1,5 km de longitud. A mayor distancia del embalse (después de los 2 km de longitud), no se registrarán cambios en el clima local”*.



Productor tomando registro de precipitaciones

3.

Diseño experimental

A partir de la hipótesis de cambio potencial y diferencial en el clima local dependiendo de la distancia al embalse, fue posible establecer dos criterios geográficos como base para el diseño experimental del monitoreo: altitud (msnm) y distancia con respecto al embalse (longitud en Km).

La diferencia altitudinal respecto al embalse fue uno de los criterios para localizar las unidades de monitoreo climático, es decir, las siete estaciones climatológicas automáticas. Cada una de ellas fue ubicada en un rango altitudinal específico con respecto a la ubicación del embalse, el cual abarcó desde los 272 msnm para la Estación llamada “El Cedral”, hasta los 995 msnm en la estación llamada “El Placer”, uno de los puntos más altos en un radio de 30 kilómetros a la redonda del embalse (tabla 1; figura 5).

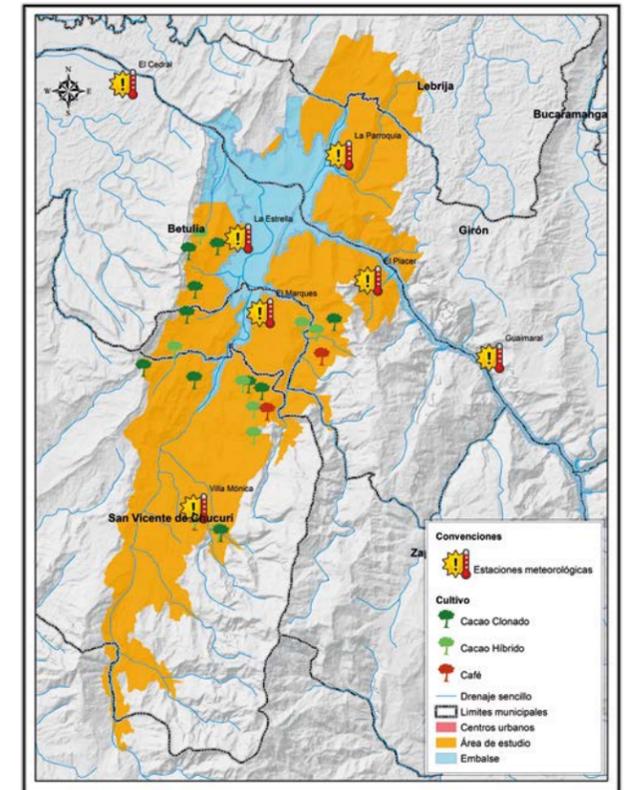


Figura 5. Ubicación de parcelas demostrativas y de estaciones climatológicas.

	Estaciones climatológicas	Parcelas demostrativas
Criterio altitudinal	Estación El Cedral: 272 msnm	Entre 550 y 900 msnm: 16 parcelas
	Estación La Parroquia: 381 msnm	
	Estación el Marqués: 598 msnm	
	Estación Guaimaral: 650 msnm	
	Estación villa Mónica: 879 msnm	
	Estación El Placer: 995 msnm	Entre 900 y 1.200 msnm: 11 parcelas
Criterio longitudinal	No aplicó	Entre 0 y 1,5 km de distancia al embalse: 12 parcelas
		Entre 1,5 y 2 km de distancia al embalse: 6 parcelas
		Entre 2,5 y 6 km de distancia al embalse: 7 parcelas
		Entre 6 y 15 kilómetros: 2 parcelas

Tabla 1. Síntesis de los criterios geográficos para la localización de las unidades de muestreo climáticas y agronómicas.

Para la localización de las unidades de muestreo agronómico, o sea, las parcelas demostrativas, se usó el criterio altitudinal y longitudinal, pues su ubicación se hizo en puntos específicos en rangos entre 340 - 1144 msnm y entre 0 a 30 km de distancia, respecto al embalse (tabla 1; figura 5).

Dentro de este marco general, es preciso mencionar que el diseño conceptual y metodológico de los criterios e indicadores del monitoreo agroclimático llevó un tiempo previo al inicio de actividades en campo, de manera que el monitoreo climático inició en junio del 2011 mientras que el monitoreo agronómico inició en enero del 2012. La siguiente figura ilustra una línea del tiempo que explica el desarrollo metodológico de las diferentes actividades de la investigación teniendo como punto de referencia el llenado del embalse.

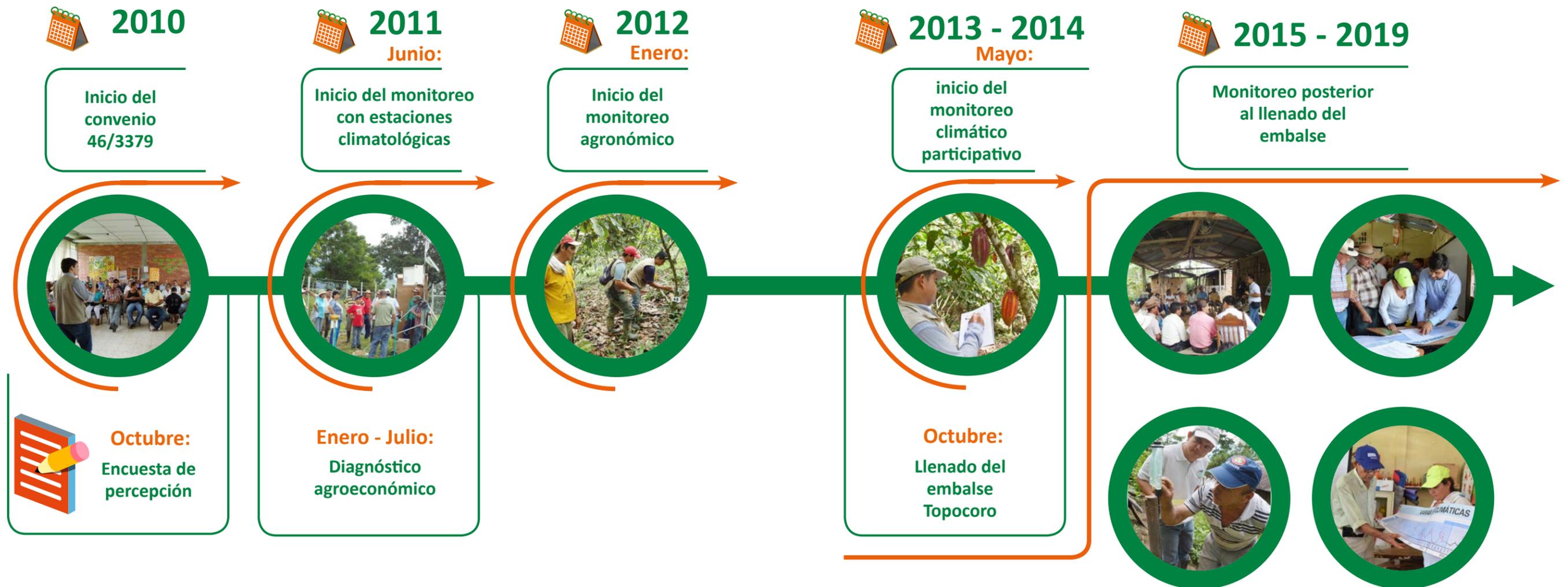


Figura 6. Línea del tiempo con las principales actividades del convenio 46/3379.



SEGUNDA PARTE. METODOS

1.

Delimitación del área de estudio

El primer paso para definir espacialmente el área efectiva del monitoreo agroclimático fue la delimitación de la zona de estudio. Partiendo de la delimitación inicial del área de influencia directa del Proyecto Hidroeléctrico Sogamoso, realizada por ISAGEN ESP, se realizó un proceso de modelamiento espacial para simular las principales características biofísicas que, en teoría, van a interactuar altitudinal y longitudinalmente con la llegada del cuerpo de agua y sus procesos bioclimáticos a escala local. De tal manera, se establecieron los modelos cartográficos de la cuenca fisiográfica inmediata al embalse, del comportamiento espacial y altitudinal de variables como la precipitación, la temperatura, la cobertura vegetal y el uso del suelo.

La **cuenca fisiográfica inmediata al embalse**¹ se definió a partir del área de aportes hídricos principales que drenan al cuerpo de agua desde los 1.500 msnm, el cual es el punto altitudinal de máxima elevación adyacente al embalse. El comportamiento de

variables climáticas, como la precipitación y la temperatura, se estableció a partir de un mapa de **Isoyetas**². Finalmente, las principales áreas de uso de la tierra y tipos de cultivos se determinaron con base al mapa de cobertura vegetal, así como con mapas de la altitud óptima para el desarrollo de cultivos de café y cacao (dado que la pregunta de investigación se enfoca hacia el impacto en los principales cultivos de la zona de influencia directa de la Central Hidroeléctrica Sogamoso).

Una vez obtenida la definición espacial de estos aspectos, se realizó la **sobreposición de mapas**³ y un **análisis multicriterio**⁴ en **Sistemas de Información Geográfica**⁵. Con los resultados de este análisis y la discusión técnica sobre la viabilidad logística del tamaño de la zona de estudio, se estableció un polígono con un área de 32.300 hectáreas a escala 1:25.000. La figura 7 muestra los resultados de mapas parciales, sus ajustes sucesivos y el mapa del área de estudio.

1. Espacio geográfico cuyos aportes hídricos naturales son alimentados exclusivamente por la precipitación y donde los excedentes de agua convergen en un punto espacial único, que para el presente estudio es el embalse.
2. Línea curva que une los puntos en un mapa para presentar el comportamiento de la precipitación en una determinada unidad de tiempo.
3. Combinación de varios conjuntos de datos espaciales o mapas para crear otro nuevo conjunto de datos o mapas.
4. Metodología que se utiliza para evaluar las posibles soluciones a un problema considerando un determinado número de variables o criterios. Se emplea para apoyar la toma de decisiones en la selección de la solución más conveniente.
5. Conjunto de herramientas diseñadas para obtener, almacenar, recuperar y desplegar datos espaciales georreferenciados como mapas, los cuales muestran atributos o características de un lugar específico que pueden ser analizadas de manera cuantitativa y cualitativa.



2.

Criterios para ubicar las estaciones de monitoreo climatológico

Una vez establecidos los límites del área de estudio, se procedió a definir los criterios para localizar e instalar las siete unidades de monitoreo que empezaron a registrar, de forma horaria desde junio del 2011, los datos de variables como: temperatura, precipitación, humedad relativa, evaporación, radiación solar, velocidad y dirección del viento. El protocolo del monitoreo horario de estas variables se definió de acuerdo al estándar nacional de monitoreo climático establecido por el IDEAM⁶

Si bien, el principal criterio para localizar las estaciones de manera estratégica con respecto al embalse fue el gradiente altitudinal, también fue necesario tener en cuenta otros factores como la accesibilidad y características del terreno para garantizar la correcta instalación y funcionamiento de los equipos. Además, se tuvo en cuenta la cercanía a escuelas o comunidades, con el fin de garantizar la participación de la comunidad en las diferentes etapas del monitoreo climático. La figura 8 muestra el mapa de localización de la red de estaciones climatológicas, las cuales se localizan altitudinalmente de la siguiente manera: estación El Cedral (272 msnm), estación La Parroquia (381 msnm), estación La Estrella (434 msnm), estación El Marqués (598 msnm), estación Guaimaral (650 msnm), Estación Villa Mónica (879 msnm) y estación El Placer (995 msnm).

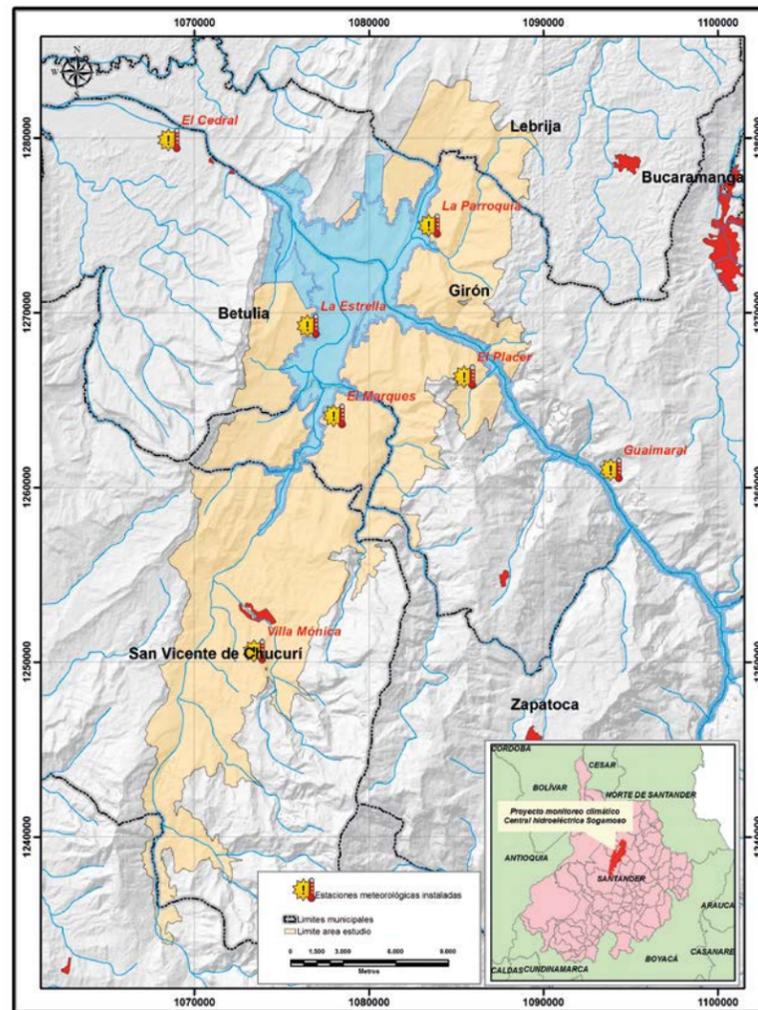


Figura 8. Mapa de ubicación de las estaciones climatológicas.

6. Esta información fue proporcionada por la subdirección de meteorología mediante un acuerdo de cooperación institucional entre ISAGEN ESP – IDEAM.

3.

Criterios para ubicar las unidades de monitoreo agronómico-parcelas demostrativas

Las parcelas demostrativas son los lotes en donde se lleva a cabo el monitoreo de variables agronómicas, como la fenología y los aspectos fitosanitarios de los cultivos. La definición de la ubicación de estas unidades de monitoreo agronómico se realizó mediante el desarrollo de tres procesos: i) diagnóstico agroeconómico, ii) análisis multicriterio y sobreposición de mapas; y, iii) concertación comunitaria.

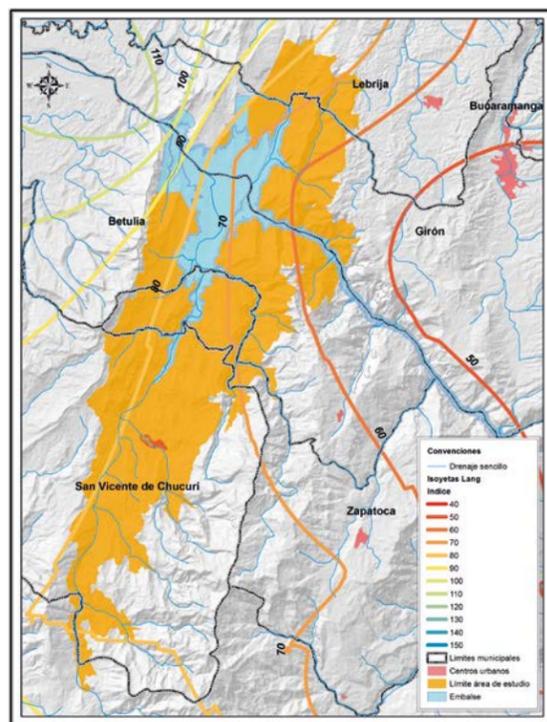
El desarrollo del *diagnóstico agroeconómico* resultó fundamental para conocer al detalle las características de los sistemas de producción en la zona de estudio. Entre los criterios empleados para realizar la tipificación de los sistemas de producción del área, se tuvieron en cuenta el tipo de cultivos presentes, sus principales enfermedades, formas de propiedad y tenencia de la tierra, adopción de tecnología, conocimientos y mano de obra para el manejo de cultivos, particularidades ambientales, biofísicas, sociales y culturales de cada finca o predio y su localización política administrativa y altitudinal, entre otros (ver sección 1.1. de la tercera parte).

El segundo proceso para definir la localización de las parcelas de monitoreo agronómico, el *análisis multicriterio*, se llevó a cabo mediante un análisis espacial con los criterios relevantes en el desempeño de los cultivos como: el comportamiento de la precipitación (mapa de Isoyetas) y la aptitud del suelo; también se incluyeron otros criterios como la longitud con respecto al embalse (cuyas distancias

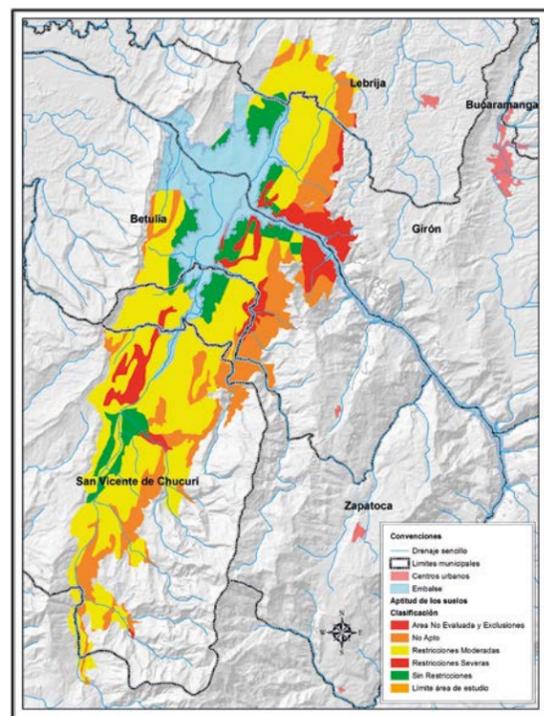
se definieron desde 0 hasta 30 km) y con respecto a las estaciones climatológicas (cuya proximidad se estableció de acuerdo al máximo radio de acción de toma de datos de las estaciones, es decir, 10 km a la redonda). Con el *análisis multicriterio* y la *sobreposición de los mencionados mapas*, se obtuvo un modelo espacial que mostraba las zonas potenciales para realizar el monitoreo agronómico de acuerdo con las particularidades del área de estudio (figura 9).



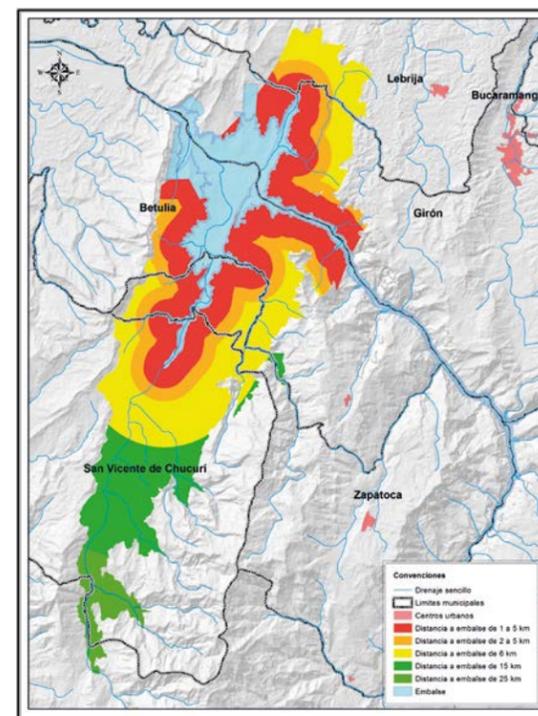
Parcela demostrativa de café, Mérida de Carpinteros, Santander.



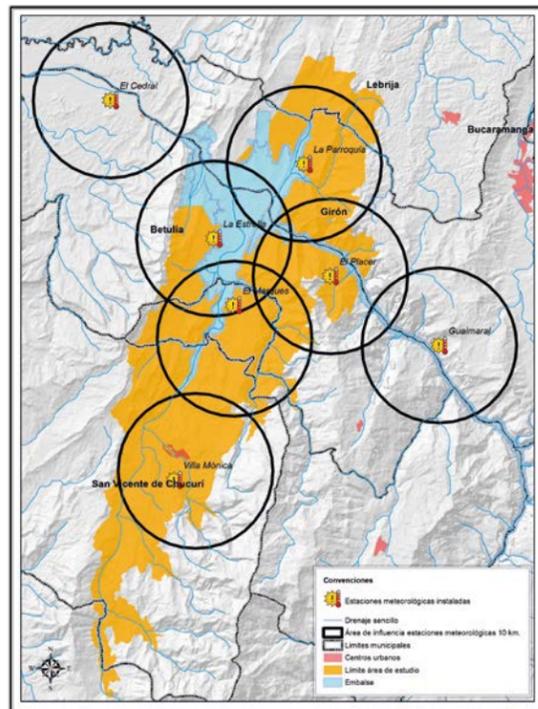
Paso 1: Mapa de Isoyetas



Paso 2: Mapa de aptitud del suelo



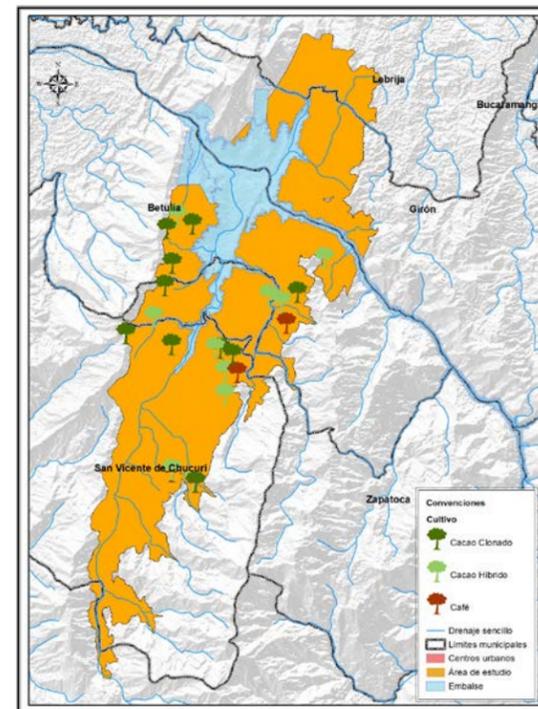
Paso 3: Modelo de distancias al embalse



Paso 4: Modelo de distancia a las estaciones climatológicas



Paso 5: Intercambio de conocimientos para establecer viabilidad logística de parcelas



Paso 6: Mapa de localización de parcelas demostrativas.

El tercer proceso, *concertación comunitaria*, consistió en articular el resultado del análisis espacial con los insumos de la tipificación de los sistemas de producción, es decir con el trabajo participativo de vinculación de las comunidades a la investigación. La integración de estas dos perspectivas (técnica y participativa) permitió darle la viabilidad logística, operativa y social al monitoreo agronómico; ya que la colaboración de los productores fue fundamental para la selección de las fincas donde se instalaron las parcelas demostrativas.

El monitoreo agronómico inició en enero del 2012. En total se seleccionaron 22 fincas, donde se instalaron 27 parcelas (algunas fincas poseen más de dos parcelas) para monitorear cultivos de cacao híbrido y cacao clonado (con y sin manejo convencional), café y cultivos asociados (figura 9).

Figura 9. Esquema de los criterios para determinar la localización de las parcelas demostrativas

Una vez seleccionada la finca para instalar la (o las) parcela (s), fue necesario hacer un reconocimiento del predio para escoger el lugar y delimitar la parcela. Los criterios contemplados para dicha selección fueron:

Topografía accesible: para la facilidad de desplazamiento hacia y dentro de la parcela.

Uniformidad de materiales (clones o híbridos): dada la necesidad técnica de establecer parcelas con materiales híbridos y clonados por separado, se seleccionaron lotes que presentaran en su mayoría árboles de un mismo tipo, es decir, clones o híbridos, mas no

necesariamente de un mismo clon en su caso correspondiente.

Vida útil de la plantación: se escogieron plantaciones de cacao en donde el propietario de la finca no tuviera proyectado realizar, en los próximos 10 años, labores de renovación que implicaran la eliminación de los árboles actuales.

De acuerdo a los protocolos de investigación establecidos por CORPOICA y FEDECACAO para el estudio *in situ* de cacao y café, se determinó que el tamaño y trazado de la parcela debía seguir el siguiente esquema:

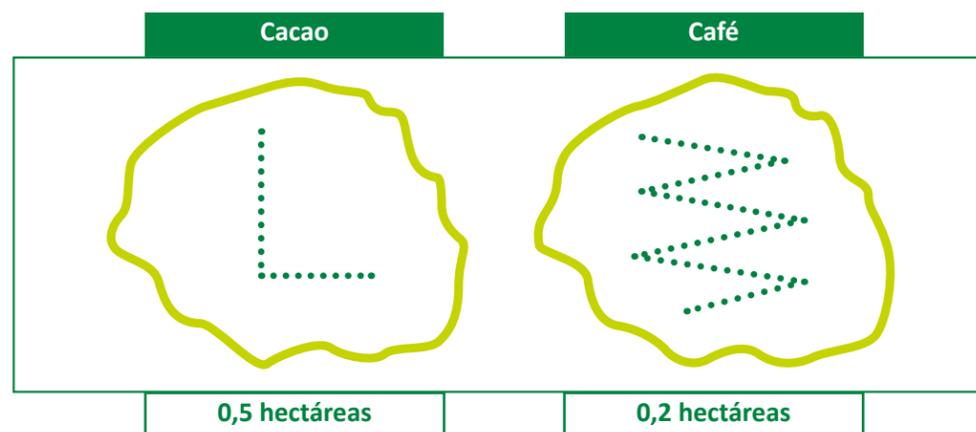


Figura 10. Trazado para escoger árboles en cada parcela demostrativa

La señalización de la parcela y de los individuos de muestreo (los árboles), se realizó de acuerdo al orden previamente establecido en la base de datos diseñada para ingresar la información colectada en campo. La numeración asignada a cada árbol y a cada parcela se ilustra en la figura 10.

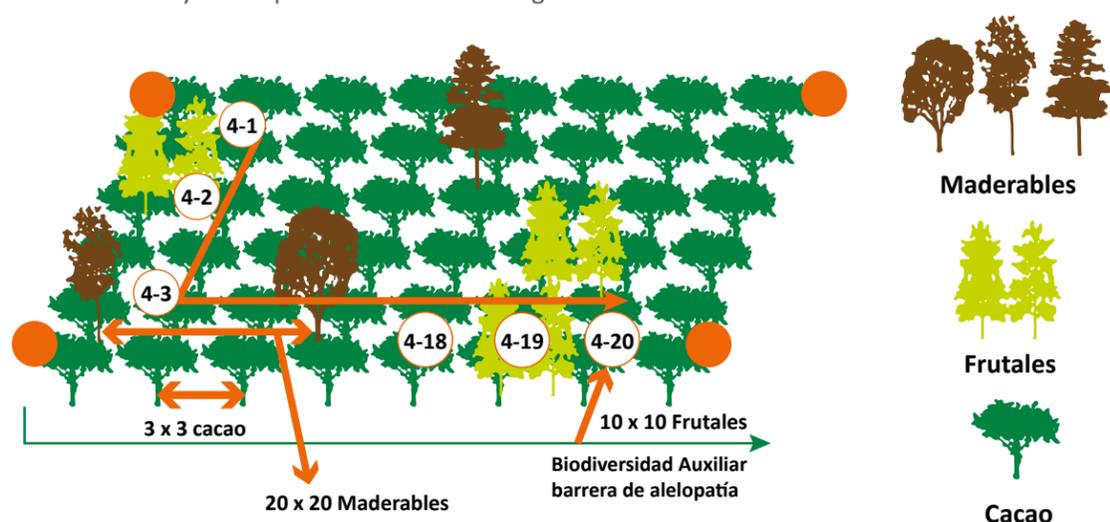


Figura 11. Esquema del diseño de las parcelas en campo y de su respectiva nomenclatura de acuerdo a la base de datos (ejemplo 4-1 refiere a la parcela No. 4 y a su individuo o árbol No.1, así sucesivamente).

Para determinar la frecuencia de muestreo de las variables fenológicas, fitosanitarias y productivas (figura 12), se realizó la búsqueda bibliográfica respectiva de otras investigaciones sobre monitoreo agronómico de cacao y café (FEDECACAO, 2013; Baldión y Guzmán, 1994); además, FEDECACAO realizó una capacitación al personal técnico del Convenio para revisar las metodologías de toma de datos.

La logística para la toma de datos en campo implicó programar y mantener entre dos a tres visitas mensuales a cada parcela, durante los dos años previos al llenado del embalse, con el fin de monitorear las mencionadas variables. La figura 12 ilustra las variables e indicadores seleccionados para hacer el monitoreo agronómico, así como sus respectivas frecuencias de muestreo en campo.

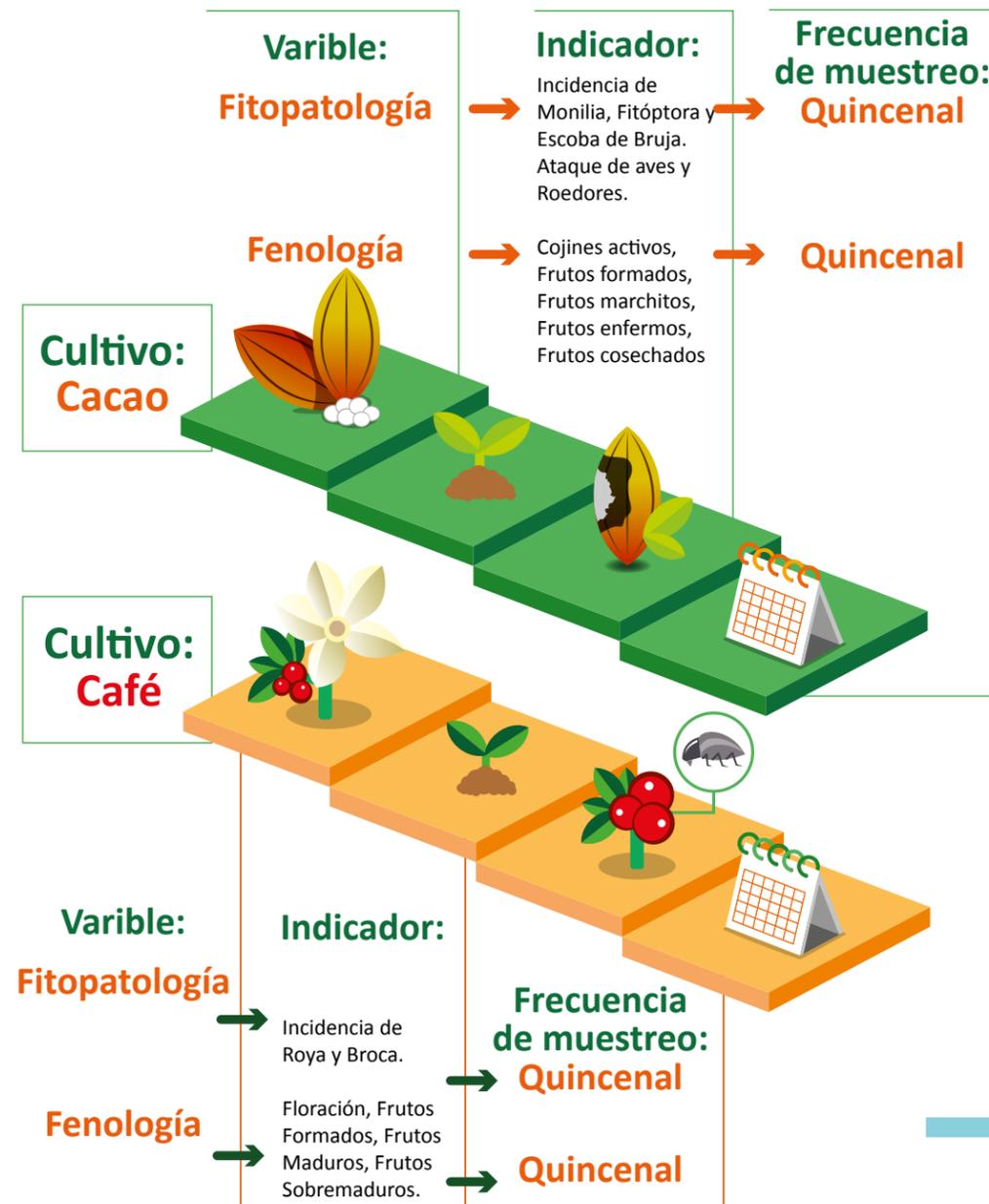


Figura 12. Variables de monitoreo agronómico y su frecuencia de muestreo por tipo de cultivo.

Como parte del diseño experimental de la investigación, se incluyeron 4 parcelas de cacao que, por su ubicación estratégica con respecto al embalse constituyen parcelas de control y también, un referente para evaluar si las prácticas de manejo convencional son, efectivamente, una herramienta eficiente para incrementar producción y para el cuidado de los cultivos frente a los cambios del clima. De acuerdo con FEDACAO (2013), se estableció un protocolo para realizar, en estas 4 parcelas, las prácticas de manejo como se indica en la figura 13.



1) Control de malezas
(3 veces al año febrero, junio y octubre).



2) Control fitosanitario
(1 vez a la semana para Monilia y 1 vez al mes para Fitóptora).



3) Podas y desplumille
(2 veces al año: febrero – marzo, agosto –septiembre).



4) Encalado o aplicación de enmiendas al suelo
(2 veces al año: febrero y julio).



5) Aplicación de abonos y fertilizantes
(2 veces al año: abril y septiembre).



6) Regulación de sombríos
(1 vez al año: julio).



7) Resiembras
(2 veces al año: marzo y septiembre).

Figura 13. Protocolo para realizar prácticas de manejo en parcela de cacao. Fuente: Fedecacao (2013).

4.

Estrategia comunitaria



Técnico de Fundación Natura con productores de la vereda Sogamoso, Betulia.

Considerando que la motivación inicial para realizar la investigación surgió de las inquietudes planteadas por las comunidades del área de influencia de la Central Hidroeléctrica Sogamoso, desde el comienzo del Convenio se planteó la relevancia de contar con su participación para el desarrollo del proyecto. Por ello, en la definición de los públicos de interés se incluyó a las comunidades locales, además de las instituciones y autoridades, así como a los actores técnicos especializados; para lo cual fue necesario desarrollar una estrategia de comunicación versátil que permitiera abordar de manera asertiva a cada uno de estos públicos. Si bien se reconoció la relevancia de cada actor, la prioridad de comunicación fue la difusión periódica de los resultados entre las comunidades locales del área circundante al embalse.

La estrategia de comunicación y participación con los agricultores del área de estudio incluyó talleres veredales, medios impresos de divulgación, programas radiales y videos. Los talleres se erigieron como la principal forma de comunicación y comprensión de los resultados, ya que permitieron la interacción

directa con las comunidades para compartir saberes, conocimientos y percepciones sobre los resultados parciales de la investigación. La divulgación mediante cartillas, boletines y folletos fue un medio comunicacional que complementó el trabajo en los talleres y permitió dar a conocer la información entre la comunidad en general y otros grupos de interés. Para facilitar la comprensión de la metodología de trabajo y los resultados del estudio, fue necesario contar con la asesoría especializada de expertos en difusión de la ciencia.

Con el objetivo de informar masivamente a la población regional se realizaron dos temporadas del programa radial “hablemos del clima”. Diseñado para exponer los principales conceptos y resultados de la investigación mediante el uso de lenguaje coloquial y dichos populares; “hablemos del clima” se transmitió en espacios de alta audiencia en emisoras locales. Así mismo, se realizaron videos promocionales para transmitirlos en la televisión regional y local, con el fin de presentar los objetivos, la metodología y los avances parciales del proyecto.

Para lograr una mayor participación y confianza, generar interés por el conocimiento técnico del clima e instalar capacidad entre las comunidades, desde mayo del 2013 se diseñó un proceso de monitoreo climático participativo con cinco micro estaciones meteorológicas conformadas por un termohigrómetro y un pluviómetro, que fueron entregadas a los productores comprometidos con la toma de datos diaria de temperatura, humedad relativa y precipitación. La red de monitoreo participativo fue creciendo y para el año 2016 contaba con diez micro estaciones tomando datos.



Productora tomando datos de precipitaciones en la vereda La Plazuela, Zapatoca.

Para vincular a las instituciones y autoridades locales relacionados con el tema, se realizaron reuniones y eventos para exponer los avances y resultados alcanzados, conforme transcurría la investigación. Por último, los públicos especializados se abordaron por medio de exposiciones en congresos, simposios, foros y la publicación de artículos científicos.

Como parte de la interacción con la comunidad científica especializada, se resalta el logro de dos actividades: i) la obtención del premio a jóvenes investigadores otorgado por la Asociación Española de Climatología en el marco del octavo congreso de cambio climático: extremos e impactos. El trabajo presentado tuvo como título: "Influencia del ciclo ENOS sobre la precipitación en los municipios de Betulia, san Vicente de Chucurí, Zapatoca y Girón, departamento de Santander, Colombia"; ii) la organización del coloquio "Experiencias desde los sistemas de monitoreo agroclimático", realizado en la ciudad de Bogotá en octubre del 2014, el cual contó con la participación de instituciones como IDEAM, CIAT, FEDECACAO, Pontificia Universidad Javeriana, CORPOICA y el *Center for the Study of Institutional Diversity* de Arizona State University.



**TERCERA PARTE.
RESULTADOS
DE LÍNEA BASE**

A lo largo de esta tercera parte se presenta un análisis de la línea base del Convenio 46/3379 en cada uno de sus componentes técnicos: los aspectos socioeconómicos, climáticos y agronómicos. En cada sección se presenta la información más relevante

obtenida a partir del diagnóstico agroeconómico, la encuesta de percepción, los estudios de climatología regional y local, y los estudios de agronomía sobre los sistemas de producción de cacao y sus cultivos asociados.

1.

Componente social

La recopilación de información para la línea base, en su dimensión social, contempló el desarrollo de un diagnóstico agroeconómico y una encuesta de percepción. Las dos actividades fueron el punto de partida para el trabajo de campo, el perfeccionamiento del diseño experimental y la toma de datos para la línea base agroclimática; ya que permitieron conocer los criterios y fundamentos de la realidad local para orientar y desarrollar la logística y metodología para el monitoreo técnico. A continuación se presentan los principales resultados de la dimensión social de la línea base de la investigación.



Desarrollo Encuesta de Percepción.

1.1

Diagnóstico agroeconómico

Sistema de producción cacaotero tradicional



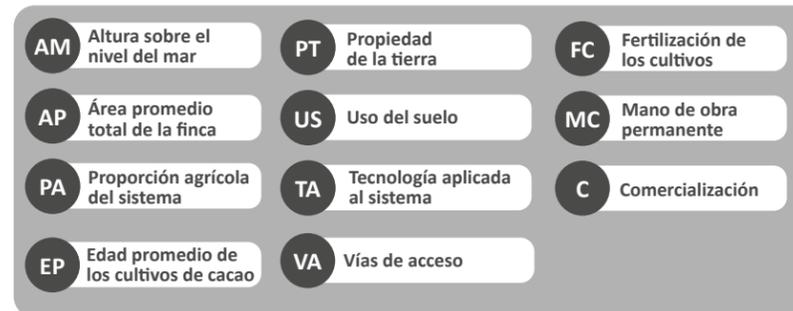
Sistema de producción cacaotero - cafetero de baja extensión



Sistema de producción cacaotero de tecnología convencional



Sistema de producción cacaotero - ganadero de mediana extensión



El territorio que se encuentra en el área de influencia de la Central Hidroeléctrica Sogamoso se caracteriza por albergar fincas de pequeña extensión, todas ellas insertas en el mercado local de San Vicente de Chucurí, Zapatoca y Betulia. El 75% de las 80 fincas tiene en sus predios la predominancia de sistemas agroforestales de cacao híbrido, cuyas principales características son el manejo no tecnificado –o tradicional– y la asociatividad de otros cultivos como cítricos, aguacate y plátano, entre otros. El 25% de las fincas restantes tiene como sistema de cultivo predominante el cacao clonado cuyo manejo es tecnificado y no posee asociatividad con otros cultivos.

Uno de los principales resultados obtenidos a partir del diagnóstico agroeconómico fue la tipificación de los sistemas de producción. Mediante metodologías estadísticas como el uso del análisis multivariado, análisis factorial y análisis de cluster, se establecieron cuatro tipos de finca con características como un área de máximo 20 hectáreas y una dinámica de economía campesina alrededor de la producción de cacao y sus cultivos asociados (figura 14).

Figura 14. Principales características de los tipos de sistemas de producción en el área de estudio.

Los cuatro tipos de finca albergan sistemas de producción con cultivos de cacao. Como lo indica la figura 14, la asociatividad entre el café y el cacao híbrido se da principalmente en las zonas de mayor altitud, mientras que la predominancia de fincas con cacao clonado y áreas de ganadería ocurre en las zonas más bajas.

El primer tipo de *sistema de producción, cacaotero tradicional*, representa en promedio al 32% del total de las fincas de la zona de estudio, las cuales se localizan en una franja altitudinal entre los 538 y 956 msnm, con extensiones promedio de 5.5 hectáreas, constituyendo así un grupo de fincas dedicadas a la agricultura en el marco de la economía campesina. La mano de obra familiar permanente es de 2 persona en promedio, y la familia está compuesta por 4 personas. Se encontró que la totalidad de este tipo de predios dedicada a la agricultura el 87% de su área, ya que entre 4 y 5 hectáreas son destinadas a los cultivos de cacao híbrido y clonado, y, 0.8 hectáreas poseen cobertura de pastos.

Los jornales utilizados para las labores del cultivo del cacao son principalmente aportados por la familia, los cuales alcanzan un promedio de 313 al año (con un pico en épocas de cosecha). Esta situación permite establecer que, efectivamente, este tipo de sistema de producción basa su funcionamiento en la mano de obra del hogar.

El segundo tipo de *sistema de producción, el cacaotero-cafetero de baja extensión*, representa el 37% de las fincas de la zona de estudio, ubicadas entre 1.050 y 1.345 msnm, con un área promedio de 6 hectáreas. La mano de obra en estos sistemas de producción es permanente y realizada por 2 personas en promedio (que por lo general pertenecen a la familia).

En este tipo de fincas se invierte al año un promedio de 383 jornales domésticos y 83 jornales contratados únicamente en las épocas de cosechas. Las características técnicas del sistema muestran que el área utilizada para los cultivos asciende a 5 hectáreas en promedio, de las cuales 4 hectáreas son para el cultivo de cacao híbrido y clonado, 1.7 para café y 0.3 para pastizales.

Con referencia al *sistema de producción cacaotero de tecnología convencional*, se encontró que representa apenas el 11% de las fincas del área de estudio. Estos predios se ubican entre 860 y 1.102 msnm y poseen en promedio una extensión de 10 hectáreas, de las cuales 7 tienen plantaciones de cacao clonado y 2 actividades pecuarias. La mano de obra en este tipo de sistemas de producción es mixta, pues en promedio requieren un total de 288 jornales familiares con respecto a los 281 jornales contratados para el manejo de los cultivos.

Finalmente, el *sistema cacaotero ganadero de mediana extensión* representa el 24% de las fincas del área de estudio, que se encuentran ubicadas entre 450 y 945 msnm, y poseen extensiones de 25 hectáreas en promedio, de las cuales 14 son destinadas a la siembra de cacao clonado. En este tipo de sistema de producción se combina la producción agrícola con la pecuaria, pues se estimó que en promedio 7 hectáreas poseen pastizales. En promedio el número de personas que componen a las familias que habitan este tipo de fincas es de 7 personas, de las cuales 4 disponen su trabajo para las labores de la finca. En razón de lo anterior, se encontró que la mano de obra familiar invierte alrededor de 772 jornales domésticos al año, frente a 367 jornales contratados.

Además de la tipificación de los sistemas de producción más característicos en la zona de estudio, es relevante mencionar la presencia de otros sistemas de producción asociados a cultivos de ciclo corto, los cuales se localizan en la zona con el clima más seco del área de estudio (conocida como la vereda Guaimaral). Los cultivos más representativos de ésta son el tabaco, el maíz y frutales como la piña, los cuales son manejados en todo su ciclo productivo con mano de obra familiar.

Con relación a lo anterior puede apreciarse que el área circundante al embalse posee una diversidad de sistemas de producción, con características muy puntuales que ofrecen diferentes alternativas productivas y económicas a los productores.

1.2

Encuesta de percepción

El principal objetivo de la encuesta de percepción fue abordar las interpretaciones del clima local y sus cambios en el tiempo; así como los imaginarios colectivos sobre los posibles impactos del embalse en la región. Tras estimar estadísticamente un mínimo de 373 personas a encuestar, se logró una muestra final de 484 personas (197 mujeres y 287 hombres). A continuación se presentan los resultados más relevantes de esta encuesta.

Sobre las interpretaciones de los cambios del clima en el tiempo, el 89% (430 personas) de los encuestados afirmó que el clima ha venido cambiando, especialmente en los últimos 8 años, mientras que el 11% dijo no haber percibido cambios. Dentro de los principales cambios mencionados, se destaca el aumento de la precipitación, la temperatura y la humedad relativa (figura 15); según los encuestados, estos cambios se deben a fenómenos naturales, la contaminación y las actividades agrícolas (figura 17).

¿Qué tipos de cambios ha percibido en el clima?

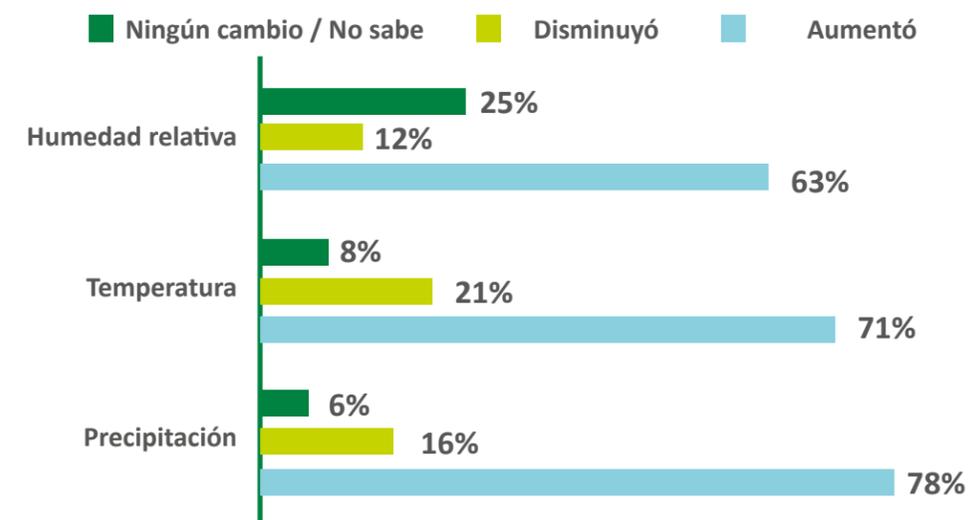


Figura 15. Cambios en el comportamiento de las variables climatológicas de acuerdo a la percepción de la comunidad. Fuente: encuesta de percepción, 2010.

¿Cree que estos cambios son positivo o negativos?

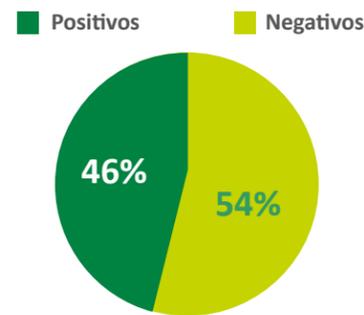


Figura 16. Percepciones sobre los cambios del comportamiento de las variables climatológicas.

Fuente: encuesta de percepción, 2010.

La percepción sobre los cambios del clima es diferencial pues el 54% de los encuestados (261 personas) afirmó que esos cambios son negativos, debido a la pérdida recurrente de las cosechas por las lluvias torrenciales, el aumento de fitopatógenos en los cultivos (*Monilia-Moniliophthora roeri-* y *Fitóptora -Phytophthora palmivora-*, principalmente), la disminución de la productividad del suelo, el incremento de enfermedades humanas (gripas, dengue y leishmaniasis) y el daño permanente en las vías de comunicación. Sin embargo, el 46% de la población afirmó que los cambios del clima han sido positivos porque han permitido cultivar más productos, vivir en un clima más agradable y no padecer de escasez de agua como en otros lugares de la región, del país y del mundo (figura 16). En este sentido es importante identificar la percepción heterogénea sobre los cambios climáticos ya que dicho fenómeno ha sido interpretado y vivido tanto de manera positiva y negativa por parte de los habitantes de la región.

¿A que causa atribuye los cambios en el clima?

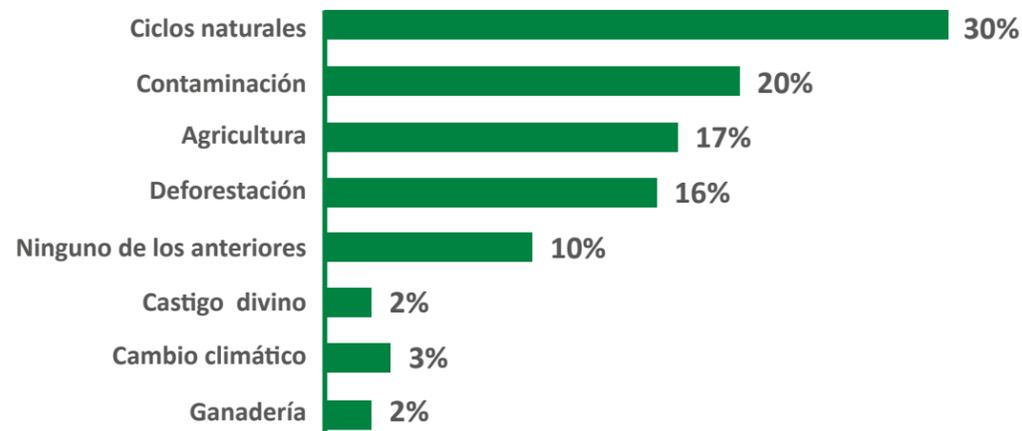


Figura 17. Causas de los cambios en clima de acuerdo a la percepción de la comunidad.

Fuente: encuesta de percepción, 2010.

Con referencia a los imaginarios colectivos sobre los posibles impactos del embalse, los resultados mostraron que el 75% de los encuestados (373 personas) consideraban que tras la llegada del embalse se podrían presentar cambios en el clima local (figura 18). No obstante, la percepción sobre ese posible cambio del comportamiento de las variables climáticas fue heterogénea entre los efectos: positivos, negativos o el desconocimiento (figura 19 y 20). Dentro de los aspectos positivos de la llegada del embalse se resaltó la expectativa por el nuevo paisaje, las oportunidades de trabajo y la diversificación de actividades productivas (por ejemplo, el ecoturismo). Como aspectos negativos se mencionaron el cambio en el microclima, el aumento de vectores transmisores de enfermedades y de fauna desplazada, y, el incremento de hongos en las plantaciones.

Es de resaltar que pese a la percepción negativa sobre los potenciales impactos del embalse en el clima local (figura 19), los encuestados reconocen que aún sin embalse el clima ha venido cambiando y seguirá cambiando a causa de ciclos naturales y la contaminación ambiental, entre otras causas mencionadas (figuras 17 y 21).

¿Qué efectos puede llegar a tener el embalse en las variables del clima?

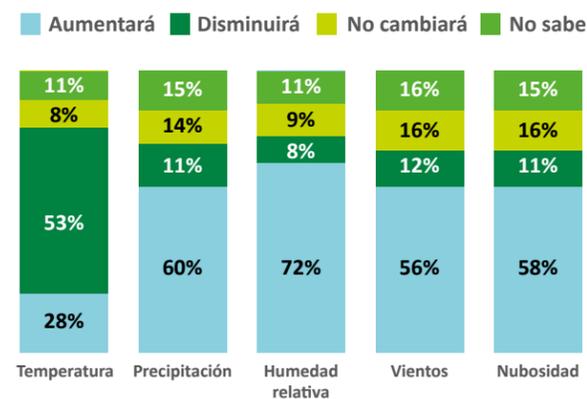


Figura 20. Probabilidades de cambio en el comportamiento de las variables climatológicas por efecto del embalse.

Fuente: encuesta de percepción, 2010.

¿Cree que el embalse va a generar algún cambio en el clima local?

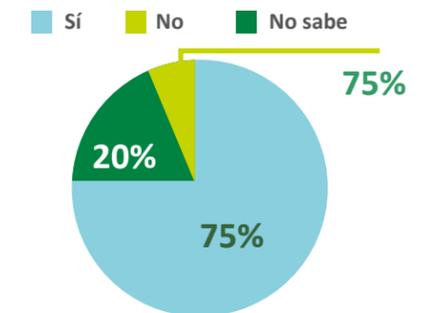


Figura 18. Opiniones sobre las posibles alteraciones del clima por la llegada del embalse.

Fuente: encuesta de percepción, 2010.

¿Cómo percibe esos posibles cambios del clima que ocasionará el embalse?

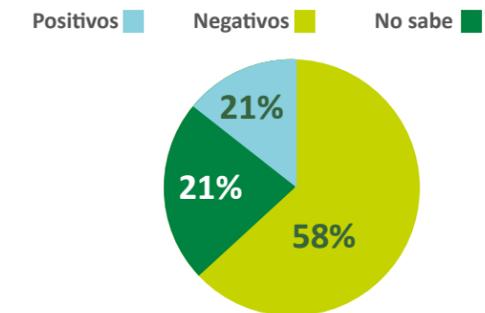


Figura 19. Percepciones sobre los posibles cambios del clima ocasionados por el embalse.

Fuente: encuesta de percepción, 2010.

Si no existiera el proyecto Hidroeléctrico Sogamoso ¿Cree usted que los cambios en el clima seguirían presentándose?

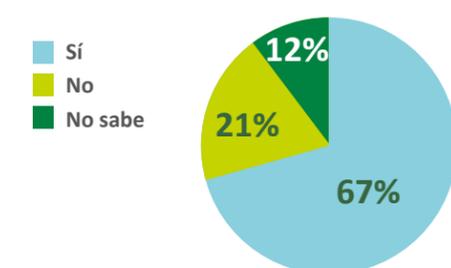


Figura 21. Opiniones sobre la continuidad en el cambio del clima sin la presencia del embalse.

Fuente: encuesta de percepción, 2010.

Los resultados de la encuesta de percepción constituyeron un importante referente para conocer las expectativas e imaginarios de la población local, en cuanto a la llegada del embalse y los posibles impactos en el clima local y los cultivos. Específicamente, respecto a las percepciones sobre el comportamiento del clima, se pudo constatar que en la zona de estudio existe una opinión generalizada sobre el cambio del clima en los últimos años, el cual fue explicado por la gente a través del aumento de las precipitaciones, la temperatura y la humedad relativa en los últimos 15 años, debido a la ocurrencia de fenómenos naturales y actividades humanas. En este sentido, los recientes cambios del clima son fenóme-

nos muy cercanos a la cotidianidad de las comunidades locales, reconocidos e incorporados desde hace tiempo y que no están relacionados, únicamente, con la llegada del embalse.

Con esta información de línea base será posible hacer réplicas de la encuesta, de manera que las percepciones de la población y sus tendencias a lo largo del tiempo podrán ser monitoreadas, para establecer distintas estrategias de comunicación sobre los resultados sucesivos de la investigación y así, construir diversos puentes entre conocimientos y experiencias en torno a las relaciones entre la población local y el embalse.

2.

Componente climático

El diagnóstico general de la climatología, el comportamiento y las tendencias de las variables descriptoras del clima en el área de estudio, constituyeron los elementos más relevantes de la línea base, ya que respondieron a una de las preguntas de investigación del eje temático sobre el comportamiento del clima esquematizado en la figura 4 de la primera parte de este libro.

La información utilizada para el diagnóstico tuvo dos fuentes de origen: i) la base de datos de 15 estaciones climatológicas del IDEAM con registros de 1970 a 2010; y, ii) la base de datos de las siete estaciones climatológicas de ISAGEN con los registros tomados desde Junio del 2011. La figura 22 muestra el diseño metodológico para el manejo estadístico de los datos climatológicos.

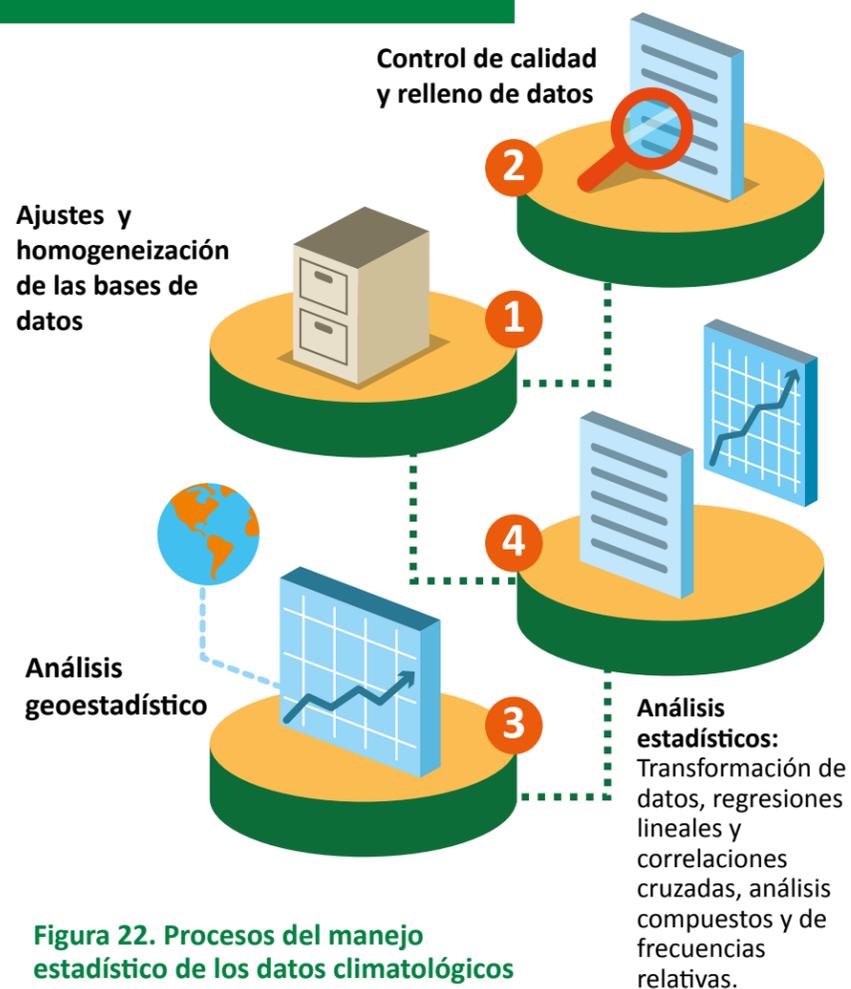


Figura 22. Procesos del manejo estadístico de los datos climatológicos

A continuación se presentan los principales resultados del diagnóstico climático en tres componentes: i) la climatología general de la región, ii) los impactos de los fenómenos de variabilidad climática como lo es “El Niño” y “La Niña” en las precipitaciones regionales (con datos provenientes de la red de estaciones climatológicas del IDEAM) y, iii) las principales tendencias del comportamiento de las variables descriptoras del clima en el área de estudio (con datos provenientes de la red de estaciones climatológicas de ISAGEN).

2.1

Climatología general de la región

Las montañas santandereanas se caracterizan por presentar un gradiente altitudinal abrupto entre los 200 y 2.300 msnm, cuyo ambiente despliega una variedad de climas subtropicales, tropicales, cálidos húmedos, cálidos secos y fríos húmedos. De tal manera que el factor orográfico tiene gran relevancia en las particularidades del comportamiento del clima, el cual va desde el cálido húmedo de los valles del río Magdalena y del río Chucurí, pasando por el cálido seco del cañón del Chicamocha y Zapatoca, hasta el frío húmedo de la serranía de Los Yariquies.

Independiente de su localización en el gradiente altitudinal, esta zona del departamento de Santander presenta dos períodos secos y dos lluviosos en

el año. Los periodos lluviosos son aquellos en donde se precipita cerca del 70% de la lluvia anual, con volúmenes que oscilan entre 100 y 800 mm mensuales promedio. La primera temporada lluviosa ocurre en el trimestre Marzo-Abril-Mayo, mientras que la segunda es en el trimestre Septiembre-Octubre-Noviembre (figura 23).

Los periodos secos son aquellos en donde se precipita el 30% de la lluvia anual con volúmenes entre 50 y 200 mm mensuales promedio. La primera temporada seca del año ocurre en el trimestre Diciembre-Enero-Febrero y la segunda, entre Junio-Julio-Agosto (figura 23).

Distribución bimodal de las lluvias



Figura 23. Esquema de la distribución bimodal de la precipitación anual en la zona de estudio.

Las gráficas de las figuras 24 a 27 muestran el comportamiento multianual de la precipitación mensual y la temperatura media, donde las dos presentan régimen bimodal, al igual que los años con precipitaciones y temperaturas atípicas. Los datos corresponden únicamente a cuatro estaciones muestra de las quince estaciones climatológicas del IDEAM, las cuales poseen el registro histórico del clima en la región.

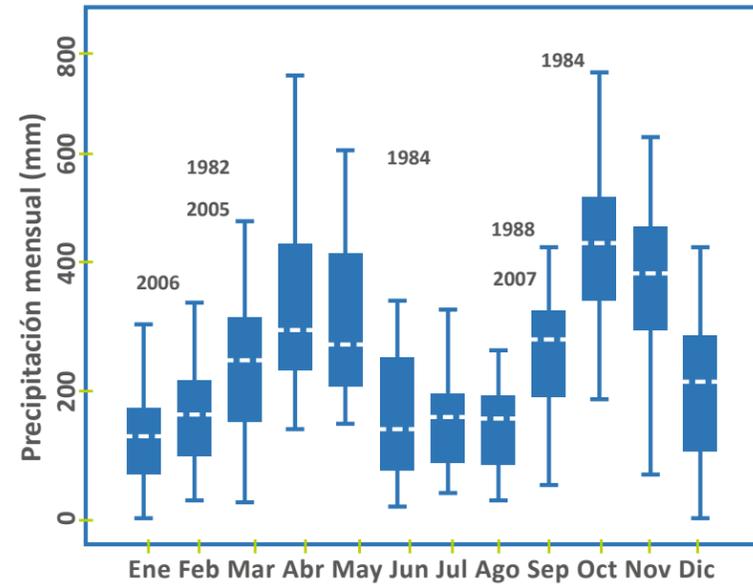


Figura 24. Variabilidad multianual de la precipitación (mm) en la estación Puente La Paz, Betulia. 1979-2010.

En cuanto al comportamiento de la temperatura media, en la zona varía entre 12 y 35°C promedio, dependiendo a que altura se encuentre sobre el nivel del mar. Los meses más cálidos están asociados a las temporadas secas: Diciembre-Enero-Febrero y Junio-Julio-Agosto, mientras que los menos cálidos a las temporadas lluviosas: Marzo-Abril-Mayo y Septiembre-Octubre-Noviembre (figuras 26 y 27).

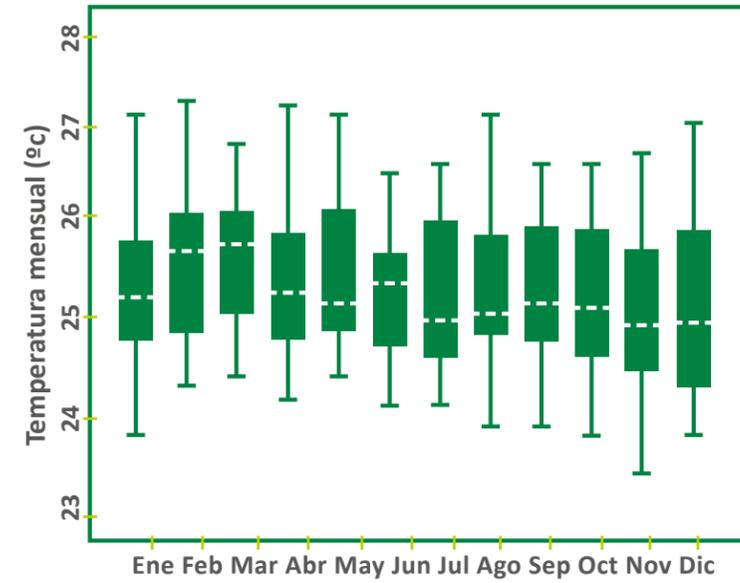


Figura 26. Variabilidad multianual de la temperatura (°C) en la estación Llano Grande, Girón. 1978-2014

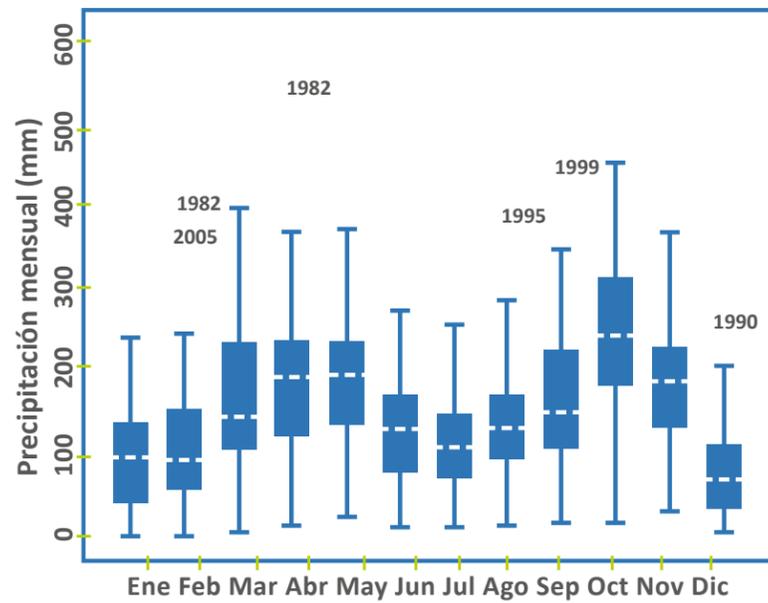


Figura 25. Variabilidad multianual de la precipitación (mm) en la estación de San Vicente de Chucurí. 1958-2014

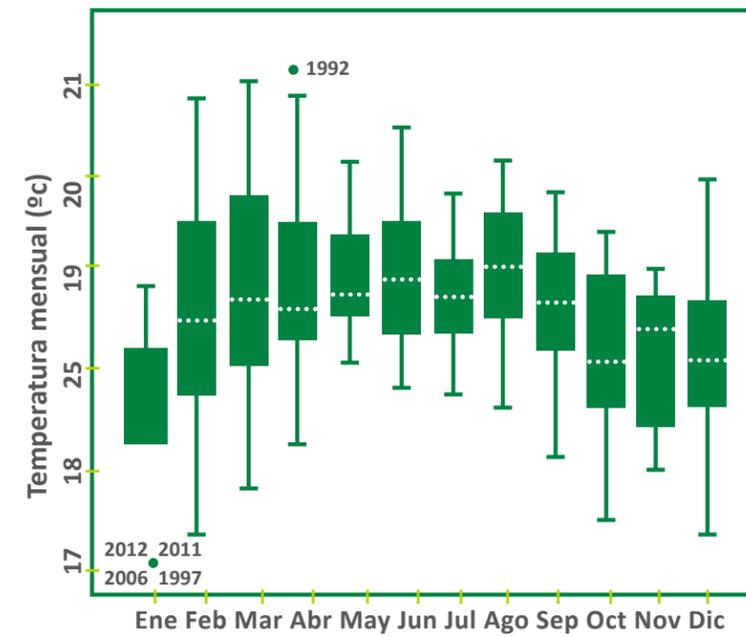


Figura 27. Variabilidad multianual de la temperatura (°C) en la estación Zapatoca. 1978-2014

2.2

Impacto de los eventos ENOS en la precipitación

El Niño Oscilación del Sur (ENOS), es un fenómeno global oceánico – atmosférico acoplado que se produce por las variaciones de los vientos ecuatoriales, los cuales generan cambios térmicos en la superficie del océano y su circulación, afectando el calentamiento de la atmósfera tropical y consecuentemente, la circulación atmosférica global (Allan, 1996). Los componentes oceánicos del fenómeno ENOS, El Niño y La Niña, son fluctuaciones a gran escala en la temperatura superficial de las aguas del Pacífico Tropical.

Las condiciones de La Niña están asociadas a temperaturas inusualmente frías en el océano Pacífico ecuatorial, mientras que El Niño se caracteriza por temperaturas inusualmente calientes en la misma región (Lavado et.al, 2013). En Colombia la fase cálida de El Niño causa una disminución pronunciada en la cantidad de precipitaciones en la región Caribe (costa norte) y la mayor parte de la región Andina (centro del país), especialmente en Santander, Nariño, Valle, norte de Huila, occidente de Antioquia, Tolima, Cundinamarca, Boyacá y en los límites de Norte de Santander. De igual forma, se presentan ligeros incrementos en la temperatura del aire (entre 0,2 y 0,5 °C) en la mayor parte del país (Ruíz y Pabón, 2013; Hurtado y González, 2012; Cadena et.al., 2006).

Lugar/fecha	Valor de precipitación promedio mensual	Valores de precipitación bajo eventos El Niño
Lebrija, septiembre 1972	130 mm	95 mm
Zapatoca, Octubre 1973	75 mm	50 mm
Girón, septiembre 1982	90 mm	20 mm
Betulia, Octubre 1991	450 mm	80 mm
Lebrija, septiembre 1997	145 mm	70 mm
San Vicente de Chucurí, octubre 2009	280 mm	40 mm

Tabla 2. Descripción de los valores de precipitación mensual acumulada bajo condiciones normales vs. precipitación durante eventos El Niño.

La fase fría de La Niña es un fenómeno con características opuestas a las de El Niño y causa el aumento considerable de las lluvias.

Durante la primera fase del monitoreo climático tuvo lugar la ocurrencia del fenómeno de La Niña 2011 con graves consecuencias en todos los países de la cuenca del Pacífico y Colombia no fue la excepción. Especialmente en la región de Santander hubo pérdidas muy significativas de infraestructura vial y de productos agropecuarios, entre otros (CEPAL, 2012). Bajo este contexto se hizo necesario hacer un análisis que permitiera dimensionar los impactos de los eventos ENOS en la precipitación de la región.

Con base en el análisis estadístico de los datos se pudo establecer que, desde 1970, en la zona de estudio se han presentado 14 eventos de El Niño, de los cuales 6 han sido catalogados como fuertes (1972, 1973, 1982/83, 1991, 1997 y 2009). De acuerdo con los registros se evidenció que la disminución de lluvias durante eventos El Niño puede llegar hasta un 85% por debajo del promedio histórico. El impacto en la disminución de lluvias durante eventos El Niño se muestra en la tabla 2.

En cuanto a la ocurrencia e impactos de La Niña se pudo establecer que, desde 1970, han ocurrido 15 eventos, seis de los cuales fueron catalogados como fuertes en los años 1970, 1974, 1998/99, 2007 y 2011 (éste último fue catalogado como “el peor invierno en la historia de Colombia”). Según el análisis de los registros se encontró que el aumento de la precipitación durante los eventos de La Niña puede llegar hasta un 400% sobre el promedio histórico (tabla 3).

Lugar/fecha	Valor de precipitación promedio mensual	Valores de precipitación bajo eventos La Niña
San Vicente de Chucurí, Octubre 1970	240 mm	580 mm
Girón, Noviembre 1974	170 mm	710 mm
Zapaptoca, Agosto 1998	100 mm	275 mm
Los Santos, Agosto 1999	28 mm	115 mm
Lebrija Octubre 2007	145 mm	325 mm
Betulia, Octubre 2011	420 mm	790 mm
El Cedral, Octubre 2011	377 mm	501 mm
Villa Mónica, Noviembre 2011	186 mm	379 mm

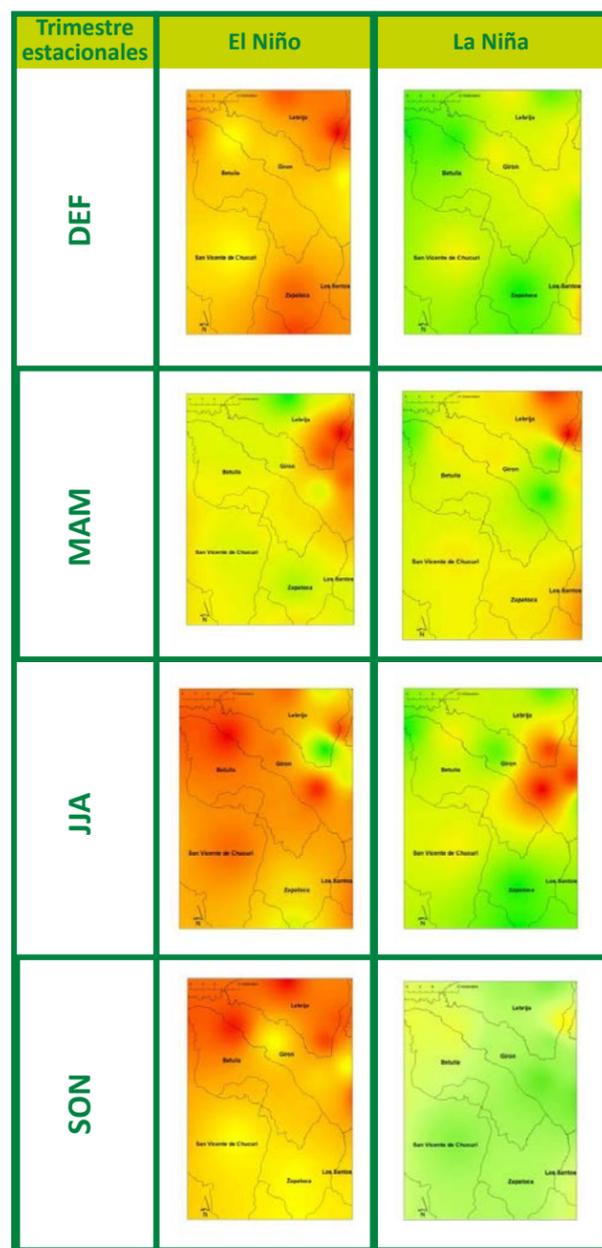
Tabla 3. Descripción de los valores de precipitación mensual acumulada bajo condiciones normales vs. precipitación durante eventos La Niña.

Para establecer los posibles impactos de estos eventos ENOS en la precipitación se realizó un análisis de probabilidades desde 1970 hasta 2011 por temporada seca o lluviosa (los trimestres previamente mencionados en la sección 2.1). Para la temporada seca correspondiente al trimestre Diciembre–Enero–Febrero se encontró que, efectivamente, los eventos de El Niño tienen un impacto en la disminución de lluvias en porcentajes cercanos al 60%. Sin embargo el impacto de éste fenómeno es mayor en el trimestre Junio–Julio–Agosto, pues las probabilidades de disminución de lluvias están entre el 70 y el 90% (figura 28).

En cuanto al impacto de los eventos El Niño en las temporadas lluviosas, se encontró que en el primer trimestre hay una alta probabilidad de disminución de lluvias. Durante el trimestre Septiembre–Octubre–Noviembre las probabilidades de disminución de lluvias están alrededor del 55% en promedio. Lo anterior permite inferir que durante las temporadas lluviosas

no hay un impacto significativo en la disminución de la precipitación durante eventos El Niño, contrario al caso de la temporada seca donde la ocurrencia de eventos El Niño tiene un gran impacto en la probabilidad de disminución de las precipitaciones locales (figura 28).

Con referencia a los cambios en la precipitación acumulada bajo eventos de La Niña, se encontró que durante las dos temporadas secas (Diciembre–Enero–Febrero y Junio–Julio– Agosto) hay una alta probabilidad, hasta el 90%, de aumento de lluvias. Lo anterior tiene evidencia en los datos reportados por el IDEAM en la zona de estudio, ya que en estaciones como la de Betulia se espera un promedio histórico de 420 mm para el mes de Octubre, pero en el año 2011 (durante el evento La Niña más fuerte que ha ocurrido en Colombia), la misma estación reportó un promedio de 790 mm para el mes de Octubre.



Para las temporadas de lluvia durante un evento de La Niña las probabilidades de aumento de precipitación oscilan hasta el 50% en el trimestre Marzo-Abril-Mayo; mientras que para el trimestre Septiembre-October-Noviembre, el impacto puede ser mayor con una probabilidad de aumento de lluvias hasta del 90% (figura 28). Esta última probabilidad de ocurrencia de lluvia durante eventos La Niña también quedó evidenciada en los promedios mensuales acumulados de precipitación registrados en las estaciones de ISAGEN durante el año 2011, ya que, por ejemplo, El Cedral reportó para el mes de octubre 501 mm y Villa Mónica, 379 mm (esperando un promedio, bajo condiciones normales, de 189 y 377 mm, respectivamente).

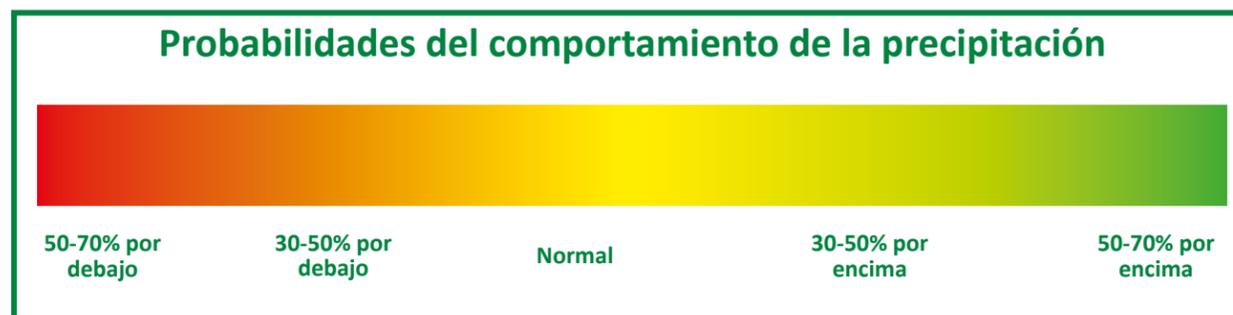


Figura 28. Probabilidades del comportamiento de la precipitación bajo escenarios de El Niño y La Niña.

En el área de estudio, la ocurrencia de los eventos El Niño altera significativamente la disminución de la precipitación en las dos temporadas secas del año y durante el trimestre Marzo-Abril-Mayo, los cuales son meses normalmente lluviosos. En cuanto al impacto de los eventos La Niña, se encontró que el aumento de la precipitación ocurre tanto en la temporada seca como en la lluviosa. Estos cambios concuerdan con estudios realizados por el IDEAM, en donde se afirma que “el efecto de los fenómenos típicos El Niño sobre la precipitación estacional de la región Andina (especialmente Cundinamarca, Boyacá y Santander) es más acentuado durante las temporadas secas que en las lluviosas” (Montealegre, 2009).

Estos resultados son importantes porque permiten entender, además de las dinámicas de la variabilidad climática en la región, las alteraciones interanuales debido a fenómenos de mesoescala como ENOS. Además, son relevantes porque previamente no se había reportado el impacto de eventos el Niño o La Niña sobre la precipitación en este sector del departamento de Santander.

2.3

Tendencias del comportamiento de las variables climatológicas en el área de estudio

De acuerdo con el análisis estadístico de los datos obtenidos durante el monitoreo climático (realizado con las estaciones meteorológicas de ISAGEN desde junio 2010 hasta mayo 2014), puede observarse que las zonas con mayor registro de precipitación son El Cedral (Tienda Nueva, Betulia) y Villa Mónica (Los Medios, San Vicente de Chucurí) con promedios que alcanzan hasta 550 mm; en contraste, las zonas más secas del área de estudio corresponden a Guaimaral (Cantalta, Girón) y El Placer (El Placer Betulia) (figura 29). Los datos correspondientes a los promedios mensuales acumulados se presentan en la tabla 4.

Independientemente del comportamiento de la precipitación entre las zonas secas y húmedas en el área de estudio, las gráficas de la figura 29 muestran cómo durante el segundo semestre del año 2011, todas las estaciones de ISAGEN registraron el pico más alto de precipitación en el área de estudio, el cual está directamente relacionado con la ocurrencia del fenómeno de La Niña.



Figura 29. Precipitación acumulada (mm/mes) durante el monitoreo (junio 2011 - diciembre 2014) en el área de influencia directa a la Central Hidroeléctrica Sogamoso. Fuente: datos estaciones climatológicas ISAGEN.

Mes	El Cedral	El Marqués	Guaimaral	La Estrella	La Parroquia	Villa Mónica	El Placer
Enero	60	56	9	54	25	34	36
Febrero	98	73	23	85	92	92	46
Marzo	152	128	47	142	167	110	108
Abril	204	89	52	110	70	169	63
Mayo	182	180	42	108	187	145	73
Junio	112	78	31	51	27	73	28
Julio	148	139	60	98	52	100	75
Agosto	212	154	70	142	80	192	90
Septiembre	143	163	37	146	92	148	46
Octubre	377	215	116	224	228	271	203
Noviembre	346	180	78	193	88	186	125
Diciembre	255	78	33	133	76	68	55

Tabla 4. Valores de precipitación mensual acumulada (mm) durante el monitoreo (junio 2011 – diciembre 2014) en el área de influencia directa a la Central Hidroeléctrica Sogamoso. Fuente: datos estaciones climatológicas ISAGEN.

Con referencia a la variable temperatura se encontró que hay regímenes marcados a lo largo del año y que las zonas más cálidas del área de estudio están localizadas en El Cedral (Tienda Nueva, Betulia) y La Parroquia (La Parroquia, Girón) con promedios que oscilan entre 25 y 27°C a lo largo del año, mientras que las zonas más frías están en El Placer (El Placer, Betulia) y Villa Mónica (Los Medios, san Vicente de Chucurí) con promedios anuales que varían entre 21 y 23 °C (figura 30, tabla 5).

Las gráficas de la figura 30 muestran cómo los meses de Julio y Agosto del año 2014 fueron reportados por las siete estaciones como los más calurosos durante el monitoreo.



Figura 30. Promedios mensuales de Temperatura (°C) durante el monitoreo (junio 2011 – diciembre 2014) en el área de influencia directa al Central Hidroeléctrica Sogamoso. Fuente: datos estaciones climatológicas ISAGEN.

Mes	El Cedral	El Marqués	El Placer	Guaimaral	La Estrella	La Parroquia	Villa Monica
Enero	26,6	24,8	22,2	26,3	25,3	26,0	22,4
Febrero	26,6	25,9	22,3	26,3	26,2	26,6	23,0
Marzo	26,4	25,6	22,0	25,5	25,8	26,3	22,9
Abril	26,2	25,4	21,8	25,2	25,6	26,2	23,0
Mayo	26,1	25,1	21,7	24,9	25,2	25,7	22,9
Junio	26,4	25,4	22,2	25,4	25,7	26,1	23,0
Julio	26,6	25,6	22,5	25,6	25,9	26,0	23,0
Agosto	26,6	25,1	22,3	25,5	25,7	25,9	23,1
Septiembre	26,3	25,1	22,2	25,7	25,7	26,2	22,6
Octubre	25,6	24,6	21,3	24,6	25,0	25,3	22,0
Noviembre	25,5	24,3	21,0	24,5	24,8	25,8	21,9
Diciembre	25,7	24,6	21,5	25,3	25,1	25,4	22,1

Tabla 5. Promedios mensuales de temperatura (°C) durante el monitoreo (junio 2011 – diciembre 2014) en el área de influencia directa a la Central Hidroeléctrica Sogamoso. Fuente: datos estaciones climatológicas ISAGEN.

Las tendencias encontradas para la variable de humedad relativa muestran que la zona con mayor humedad en el área de estudio está localizada en inmediaciones de la estación de Villa Mónica (Los Medios, San Vicente de Chucurí) y La Parroquia con valores hasta de 85%, mientras que las zonas menos húmedas se localizan en Guaimaral y El Cedral con valores hasta del 78% (figura 31, tabla 6).



Figura 31. Promedios generales de humedad relativa (%) durante el monitoreo (junio 2011 – diciembre 2014) en el área de influencia directa al Central Hidroeléctrica Sogamoso. Fuente: datos estaciones climatológicas ISAGEN.

Mes	El Cedral	El Placer	La Estrella	Villa Monica	El Marqués	Guaimaral	La Parroquia
Enero	70,5	73,8	71,6	79,0	73,6	61,6	73,8
Febrero	71,5	72,9	70,0	76,8	70,9	60,8	74,3
Marzo	73,9	75,9	74,0	78,8	74,3	65,5	77,7
Abril	76,5	78,5	76,6	80,7	77,7	67,5	79,1
Mayo	76,7	79,9	78,4	83,3	79,5	69,7	80,7
Junio	75,4	76,9	76,3	80,9	76,8	66,4	79,7
Julio	72,6	73,9	73,3	77,8	74,2	63,7	76,7
Agosto	72,8	73,9	73,9	78,6	76,5	65,0	77,1
Septiembre	75,0	74,7	74,0	79,8	77,1	63,9	75,1
Octubre	78,0	80,5	78,0	82,9	79,7	70,8	80,7
Noviembre	79,4	83,2	79,6	83,1	81,0	72,5	77,6
Diciembre	77,7	79,3	77,2	81,6	78,4	67,4	80,7

Tabla 6. Promedios mensuales de humedad relativa (%) durante el monitoreo (junio 2011 – diciembre 2014) en el área de influencia directa a la Central Hidroeléctrica Sogamoso. Fuente: datos estaciones climatológicas ISAGEN.

Respecto a la Radiación Solar, los análisis muestran que en el área de influencia directa de la Central Hidroeléctrica Sogamoso hay, en general, una alta radiación solar a lo largo del año, sin una tendencia de comportamiento específica a lo largo del ciclo anual, ya que esta variable se comporta de manera distinta en cada estación. En la figura 32 se puede observar que la zona con más alta radiación solar está localizada en inmediaciones de la estación Guaimaral (Cantalta, Girón), mientras que las áreas con menor radiación solar se ubican en Villa Mónica y El Cedral (figura 32 y tabla 7).

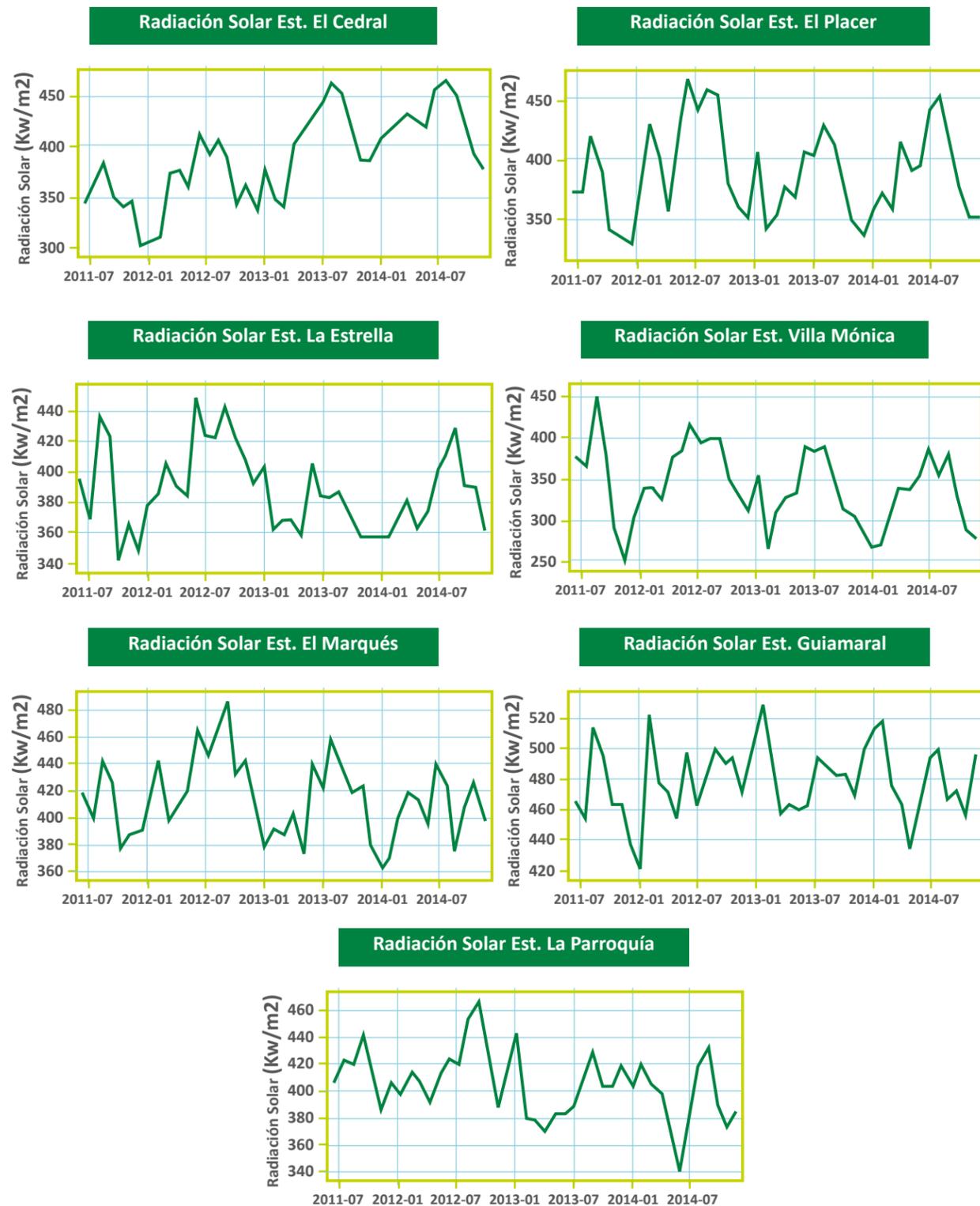


Figura 32. Promedios mensuales de radiación solar (W/m2) durante el monitoreo (junio 2011 – diciembre 2014) en el área de influencia directa al Central Hidroeléctrica Sogamoso. Fuente: datos estaciones climatológicas ISAGEN.

Mes	El Cedral	El Placer	La Estrella	Villa Monica	El Marqués	Guaimaral	La Parroquia
Enero	342	380	377	309	285	499	416
Febrero	375	390	369	307	325	510	403
Marzo	378	366	361	302	336	474	375
Abril	399	387	364	327	307	450	373
Mayo	407	395	367	352	331	446	371
Junio	411	403	382	371	306	445	364
Julio	415	411	388	376	340	443	378
Agosto	435	434	396	388	347	473	415
Septiembre	421	420	410	371	346	488	435
Octubre	375	369	373	311	360	460	400
Noviembre	360	354	369	293	296	459	371
Diciembre	339	363	372	287	337	460	408

Tabla 7. Promedios mensuales de radiación solar (W/m2) durante el monitoreo (junio 2011 – diciembre 2014) en el área de influencia directa a la Central Hidroeléctrica Sogamoso. Fuente: datos estaciones climatológicas ISAGEN.

En cuanto a la interpretación de la información correspondiente a la variable de velocidad del viento, la figura 33 muestra que la zona con velocidades altas está localizada en inmediaciones de El Placer (El Placer, Betulia) y El Cedral, mientras que las zonas con menos velocidades de viento son La Estrella (Sogamoso, Betulia) y Villa Mónica (Los Medios, San Vicente de Chucurí).

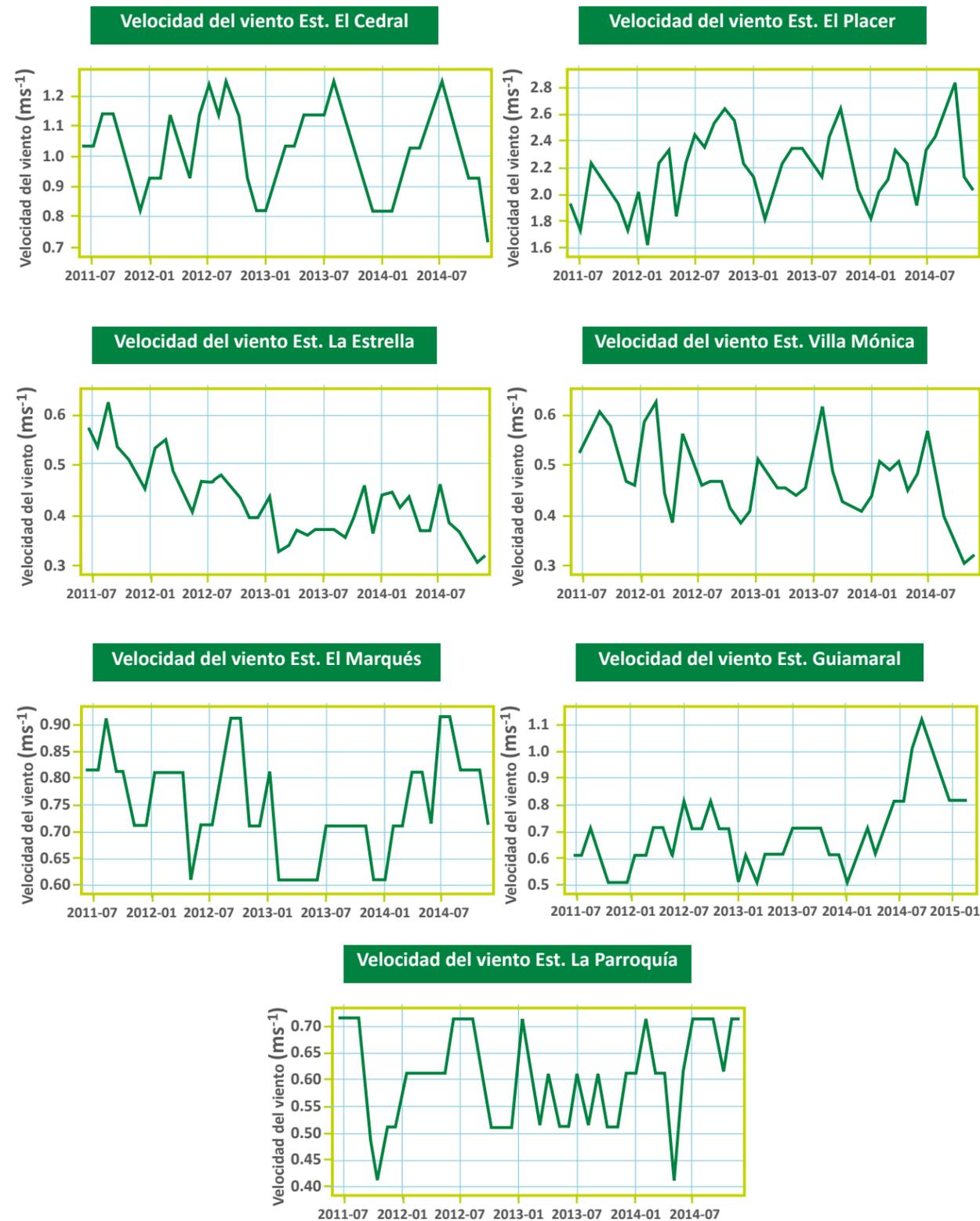


Figura 33. Promedios de velocidad del viento (m/s) durante el monitoreo (junio 2011 – diciembre 2014) en el área de influencia directa al Central Hidroeléctrica Sogamoso. Fuente: datos estaciones climatológicas ISAGEN.

Los resultados de climatología, en general, fueron de gran importancia para comprender el panorama climático antes del llenado del embalse. Revelaron que el comportamiento climático de la zona es muy extremo y que variables, como la humedad y la precipitación que son claves para los cultivos (en este caso, de café y cacao), tienen un comportamiento intenso en lugares como Los Medios (Villa Mónica) en donde se localizan importantes plantaciones de cacao y café. Igualmente, es interesante ver como en zonas como El Cedral y La Parroquia hay eventos me-

teorológicos extremos, pero que a diferencia de Villa Mónica, albergan una menor cantidad de cultivos de importancia económica para las poblaciones locales.

De manera amplia puede decirse que en el área de influencia directa de la Central Hidroeléctrica Sogamoso se presentan –de forma natural- las condiciones climáticas óptimas para el buen desarrollo de cultivos como el café y el cacao (especialmente); así mismo se manifiestan las condiciones climáticas óptimas para el desarrollo de enfermedades como la Monilia, Fitóptora y Broca (tabla 8).

	Temperatura	Precipitación	Humedad
Monilia	Mayor a 25°C	Mayor a 100 mm	Mayor a 80%
Fitóptora	Mayor a 25°C	Mayor a 100 mm	Mayor a 80%
Broca	Entre 25 y 29°C	Mayor a 100 mm	Entre 60 y 80%

Tabla 8. Umbrales límite de las variables climáticas a partir de los cuales ocurre la proliferación de las principales enfermedades del cacao y café. Fuente: FEDECACAO, 2013.

En razón a lo anterior, puede decirse que de acuerdo al ciclo climático anual, en los sitios cercanos a Villa Mónica y El Placer se presentan durante todo el año valores críticos de humedad relativa que favorecen la proliferación de enfermedades como la Monilia y la Fitóptora; de la misma manera, en zonas como La Estrella, El Marqués, Villa Mónica y El Placer, el comportamiento anual de las lluvias influye para que entre los meses de agosto y noviembre, principalmente, ocurran las condiciones climáticas favorables para el desarrollo de la Monilia y la Fitóptora.

Finalmente, los análisis estadísticos aplicados a los datos climáticos horarios permitieron identificar

que durante el monitoreo antes del embalse, los meses de Julio y Agosto del año 2014 fueron los más cálidos de acuerdo con el registro de las siete estaciones climatológicas; este dato fue confirmado con los boletines oficiales del IDEAM que reportaron a este bimestre como el más cálido desde el año 2010 (IDEAM, 2017). Lo anterior tuvo estrecha relación con el desarrollo temprano del fenómeno de El Niño 2014-2015, cuyos impactos en cuanto al aumento de la temperatura y disminución de la precipitación fueron ampliamente reportados y difundidos tanto a nivel regional como nacional.

2.4

Componente agronómico

El diagnóstico del comportamiento de los cultivos del área de estudio fue otro de los ejes fundamentales para elaborar la línea base del Convenio, ya que las características de los ciclos fenológicos y fitosanitarios de los diversos sistemas de producción constituyen uno de los ejes temáticos del esquema general de investigación presentado en la figura 4 de la primera parte de este libro.

El registro de las variables agronómicas, que dan origen a la línea base de este componente, se inició previo al llenado del embalse, en enero del 2012 hasta junio del 2014, en las 27 parcelas que monitorean cultivos de cacao híbrido, cacao clonado y café. Los datos agronómicos registrados han sido sometidos a diversas pruebas estadísticas, dando los resultados que se presentan a continuación.



2.4.1

Ciclo fenológico del cacao

El ciclo fenológico del cacao, en sus variedades híbrido y clonado, es temporalmente homogéneo a lo largo del año aunque tiene algunas expresiones particulares. Tras el análisis de datos se pudo establecer que para el cacao híbrido el inicio del ciclo, con los cojines florales activos, ocurre entre los meses de Febrero-Marzo-Abril y Agosto-Septiembre, mientras que para el cacao clonado se retrasa un poco y sucede principalmente entre Marzo-Abril y Agosto-Septiembre (figura 34). Con referencia a la variable de frutos formados, la figura 34 evidencia que las dos variedades de cacao poseen ciclos muy similares; la

única particularidad es que a finales del año 2013 las parcelas de cacao híbrido evidenciaron un mayor porcentaje de frutos formados.

Al analizar la variable de frutos marchitos se encontró igualmente una similitud en su comportamiento entre las dos variedades de cacao; sin embargo, las parcelas con cacao híbrido tienen un mayor porcentaje de frutos marchitos a inicios de cada año monitoreado, mientras que las de cacao clonado mostraron esa misma tendencia únicamente a inicios del año 2013 (figura 34).



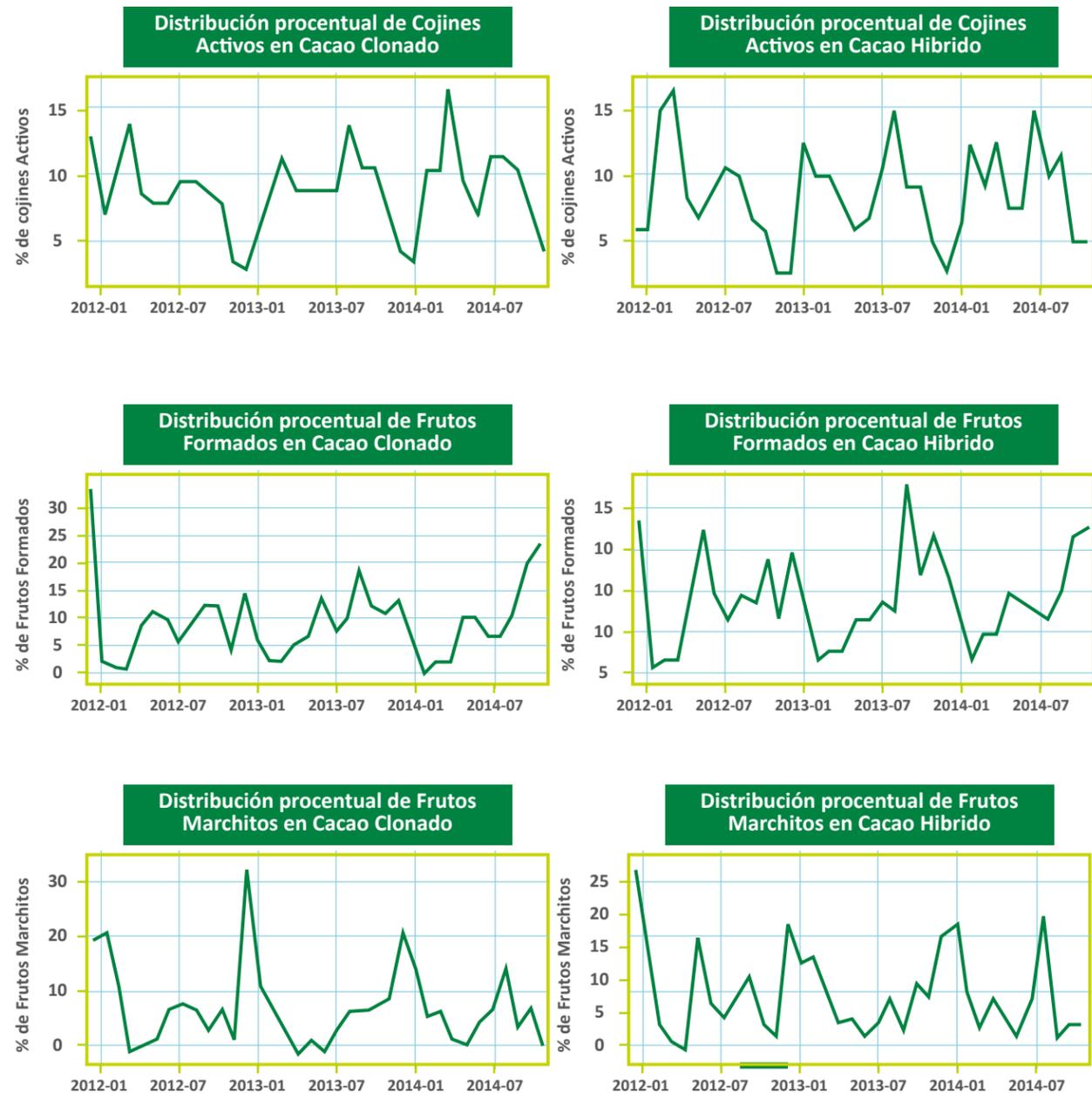


Figura 34. Distribución porcentual del comportamiento de las variables fenológicas del cacao clonado y cacao híbrido.

Con respecto a la variable de producción (calculada en Kg/ha acumulados por semestre), se pudo determinar que el cacao híbrido presentó sus más altos rendimientos para el primer semestre de los años 2013 y 2014, con valores de 280 y 320 kg/ha, respectivamente. El menor valor de producción registrado para esta variedad de cacao ocurrió para el segundo semestre del 2013, con 80 kg/ha (figura 35).

Para el cacao clonado se observó que su mayor periodo de productividad ocurrió, también, en el primer semestre de los años 2013 y 2014, con valores de 530 y 450 kg/ha; mientras que el menor valor de producción se registró para el segundo semestre del año 2014 con 210 kg/ha (figura 35).

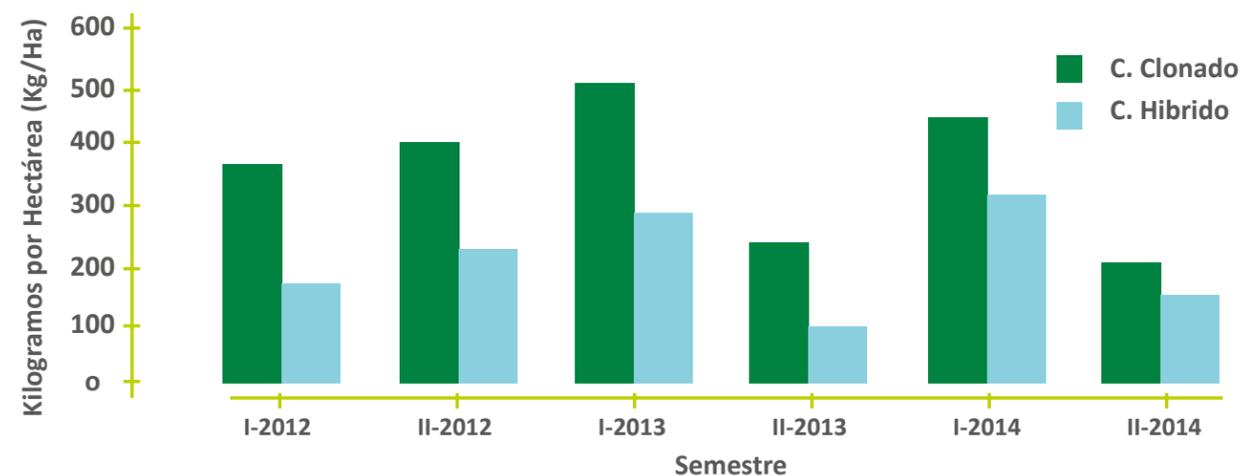


Figura 35. Comparación de la producción de cacao clonado y cacao híbrido entre 2012 y 2014.

De acuerdo a lo anterior puede verse que el cacao clonado presenta mayor rendimiento que el cacao híbrido. Otro factor importante para resaltar es que los picos productivos de cacao híbrido y clonado han ocurrido en las mismas temporadas y años. Teniendo como referencia los promedios de producción estándar para el cultivo de cacao (FEDECACAO, 2013), se puede establecer que el rendimiento de las dos variedades se ha mantenido constante desde el año 2012, pese a la ocurrencia de La Niña 2011, la cual tuvo un impacto importante en el comportamiento de las variables climáticas (especialmente precipitación) en la zona de estudio.

2.4.2

Aspectos fitosanitarios del cacao

Las variables fitosanitarias registradas durante el monitoreo corresponden a la incidencia de las principales enfermedades del cacao, Monilia y Fitóptora, cuyo valor se expresa en función del promedio porcentual de incidencia con respecto a la producción mensual.

La figura 36 muestra que en cacao híbrido el año con mayor incidencia de Monilia fue el 2012, ya que entre los meses de Enero y Marzo, Agosto y Septiem-

bre, se alcanzó a registrar un promedio de 86% de mazorcas (frutos maduros) infectadas con este hongo. Para los años 2013 y 2014, los meses de Agosto y Septiembre reportaron, nuevamente, una importante incidencia de Monilia con valores hasta el 30% (figura 36).

Con respecto a presencia de Fitóptora, el cacao híbrido exhibió para el mes de Agosto del 2012, 2013 y 2014, una incidencia del 30% (figura 36).

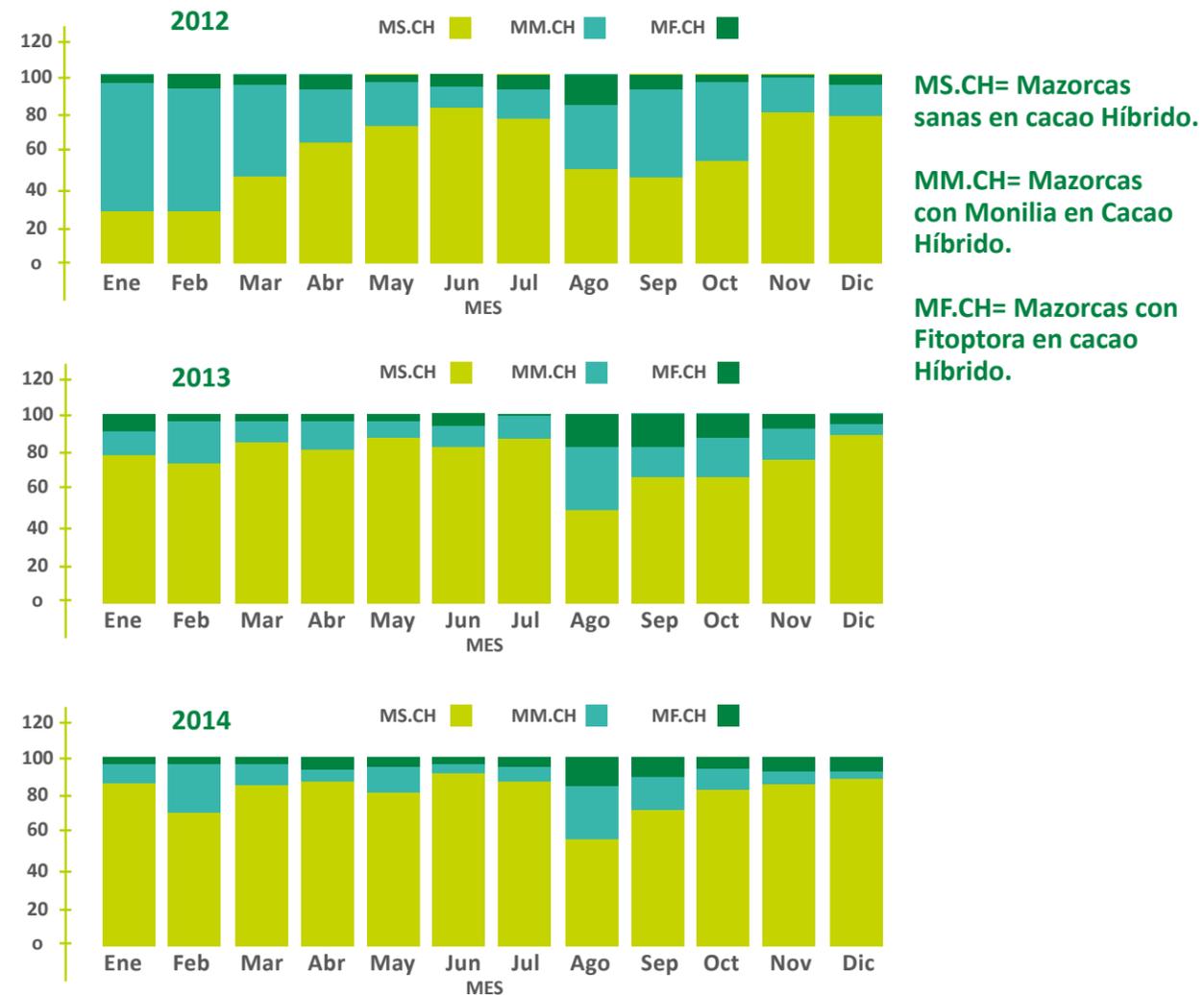


Figura 36. Porcentaje de incidencia de Monilia, y Fitóptora en cacao híbrido.

Con respecto a la incidencia de estas enfermedades en cacao clonado, se encontró que la mayor incidencia de Monilia fue registrada en los meses de enero y febrero del 2012 (45%), enero del 2013 (4%) y septiembre del 2014 (35%) (figura 37). La mayor incidencia de Fitóptora en esta variedad de cacao se registró en enero y febrero del 2012 (15%) y en agosto del 2014 (20%) (figura 37).

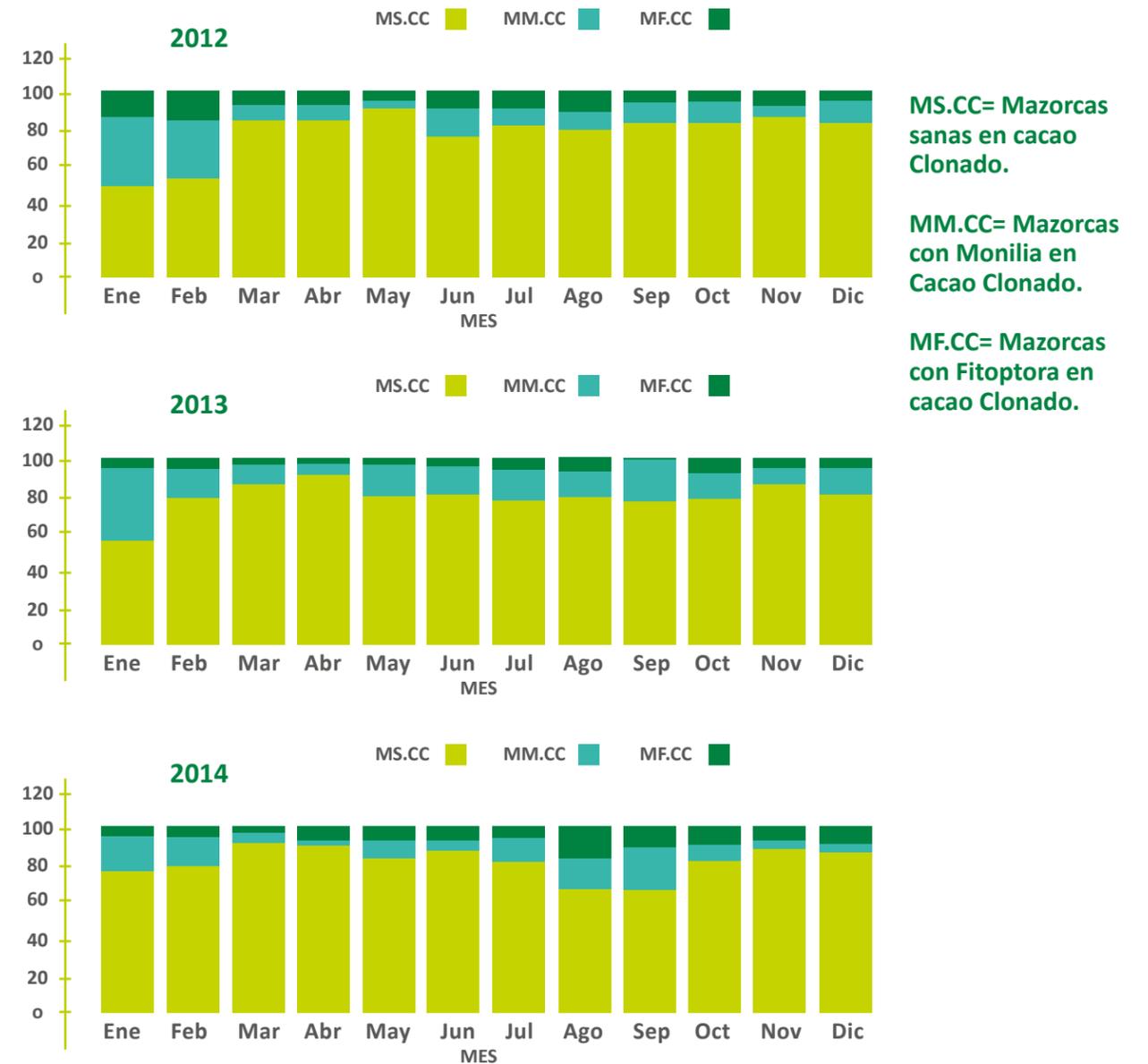


Figura 37. Porcentaje de incidencia de Monilia, y Fitóptora en cacao clonado.

Las altas pérdidas por Monilia y Fitóptora reportadas para el primer semestre del año 2012 tienen relación directa con el aumento significativo de la precipitación local por el fenómeno de La Niña del 2011. Así mismo se observa que las pérdidas por Monilia son mayores en cacao híbrido, mientras que las pérdidas por Fitóptora son mayores en cacao clonado.

Como se mencionó en la sección tres de la segunda parte de este libro, se realizó la selección de cuatro parcelas demostrativas para realizar las actividades de manejo convencional sugeridas por FEDECACAO (2013); esto con el fin de evaluar la efectividad de estas prácticas para aumentar la productividad y disminuir la incidencia de plagas y enfermedades en el cacao.

Durante los tres años de monitoreo agronómico, previos a la conformación del cuerpo de agua de la Central Hidroeléctrica Sogamoso, fue posible evaluar el comportamiento de las variables de producción y

fitosanitarias de estas cuatro parcelas (dos de cacao híbrido: parcelas 6 y 14; dos de cacao clonado: parcelas 3 y 23), encontrándose que la mejor respuesta en aumento de la producción la tuvo una parcela de cacao híbrido (14) y las dos parcelas de cacao clonado (figura 38).

En cuanto a la respuesta más eficaz en reducción fitosanitaria, las parcelas 6 y 14 (cacao híbrido) evidenciaron en el segundo semestre del 2013 y del 2012, respectivamente, una disminución total de la incidencia de Monilia y Fitóptora (0%). Las parcelas de cacao clonado presentaron también un importante descenso del porcentaje de incidencia, siendo la parcela 23 la de mejor respuesta al manejo convencional, ya que en el segundo semestre del 2013 y del 2014, presentó apenas un 5% de incidencia de Fitóptora (figura 38).

De acuerdo a lo anterior es posible establecer, de manera preliminar, que las prácticas de manejo pueden llegar a ser eficaces para controlar la incidencia de plagas en el cultivo de cacao (especialmente para el cacao híbrido). Sin embargo, al comparar el comportamiento de estas cuatro parcelas con respecto a las demás, es decir, con aquellas que no tienen un protocolo de manejo riguroso, se observó que las tendencias de productividad se mantienen dentro del promedio esperado de rendimiento para la zona agroecológica de la montaña Santanderana (FEDECACAO, 2013). Lo anterior se explica, en parte, por las características del suelo en esta región (figura 9, mapa de suelos), que imprimen ciertas restricciones en la disponibilidad de nutrientes y por ello, el aumento de productividad tras la aplicación de prácti-

cas de manejo convencional, no es el esperado (arriba de los 1.000 kg/ha en cacao clonado, FEDECACAO, 2013).

Pese a lo anterior, el aumento de la producción y la reducción en la incidencia de enfermedades son factores que varían entre las parcelas demostrativas que incorporan técnicas de manejo convencional y en las que no; por ello hacer una generalización no es lo más apropiado, máxime cuando hay otros factores biofísicos (como el microclima y las propiedades del suelo) y sociales (como la falta de mano de obra, la falta de medios económicos para solventar los gastos requeridos para el manejo convencional y la coyuntura del trabajo familiar en la finca, entre otros) que inciden en el desempeño del cultivo.

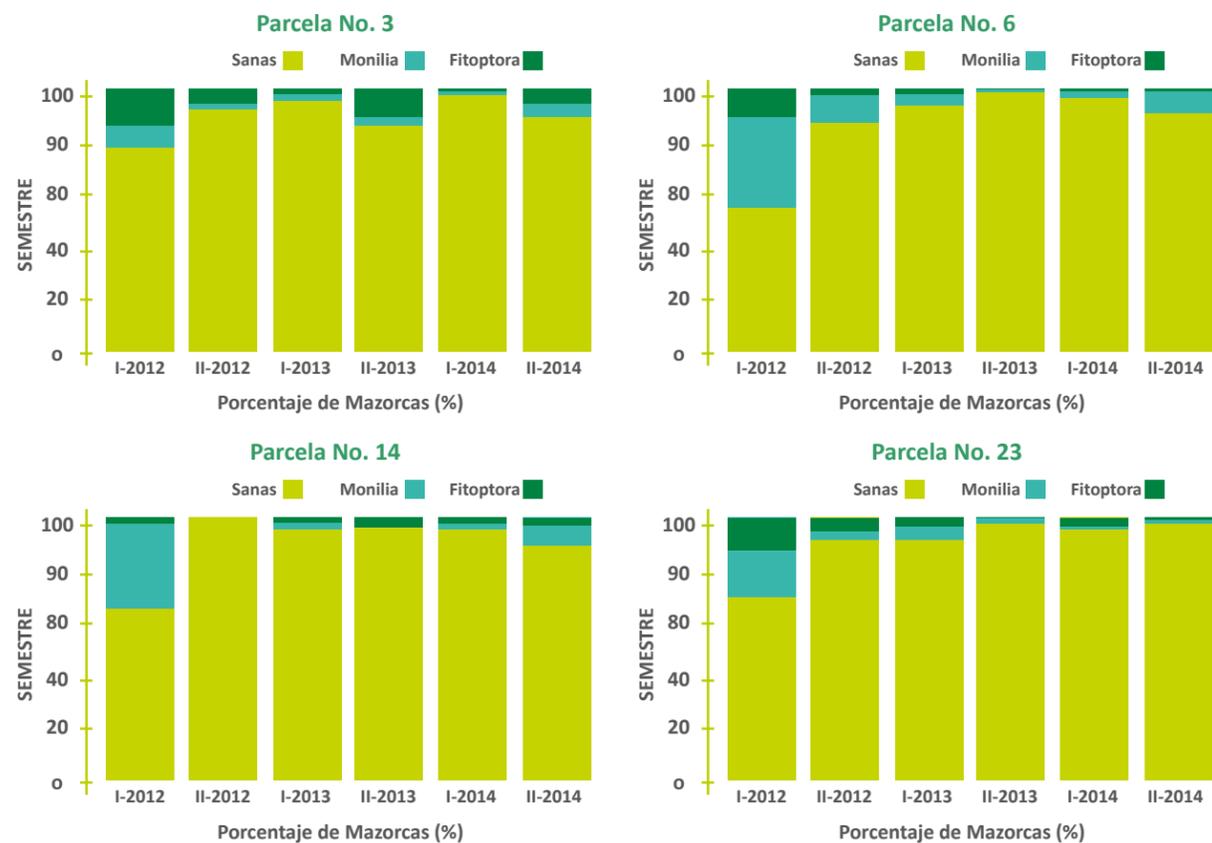


Figura 38. Comportamiento productivo y fitosanitario de las parcelas con manejo convencional.

2.4.3

Ciclo fonológico del café

El ciclo fenológico del café inicia con la formación de flores y de frutos en los meses de Enero, Febrero y Marzo, trimestre en el que cesan las lluvias y predomina el tiempo seco. Por su parte la maduración de frutos ocurre entre los meses de Agosto y Octubre. El proceso de marchitamiento, que ocurre principalmente por sobreproducción de frutos pequeños o

por déficit hídrico, ocurre en el mes de Mayo y luego, durante Octubre y Noviembre (figura 39). El mayor repunte de floración y por ende, de frutos formados se registró en el año 2013, mientras que en el año 2014 se presentó el menor porcentaje de frutos maduros durante el monitoreo (figura 39).

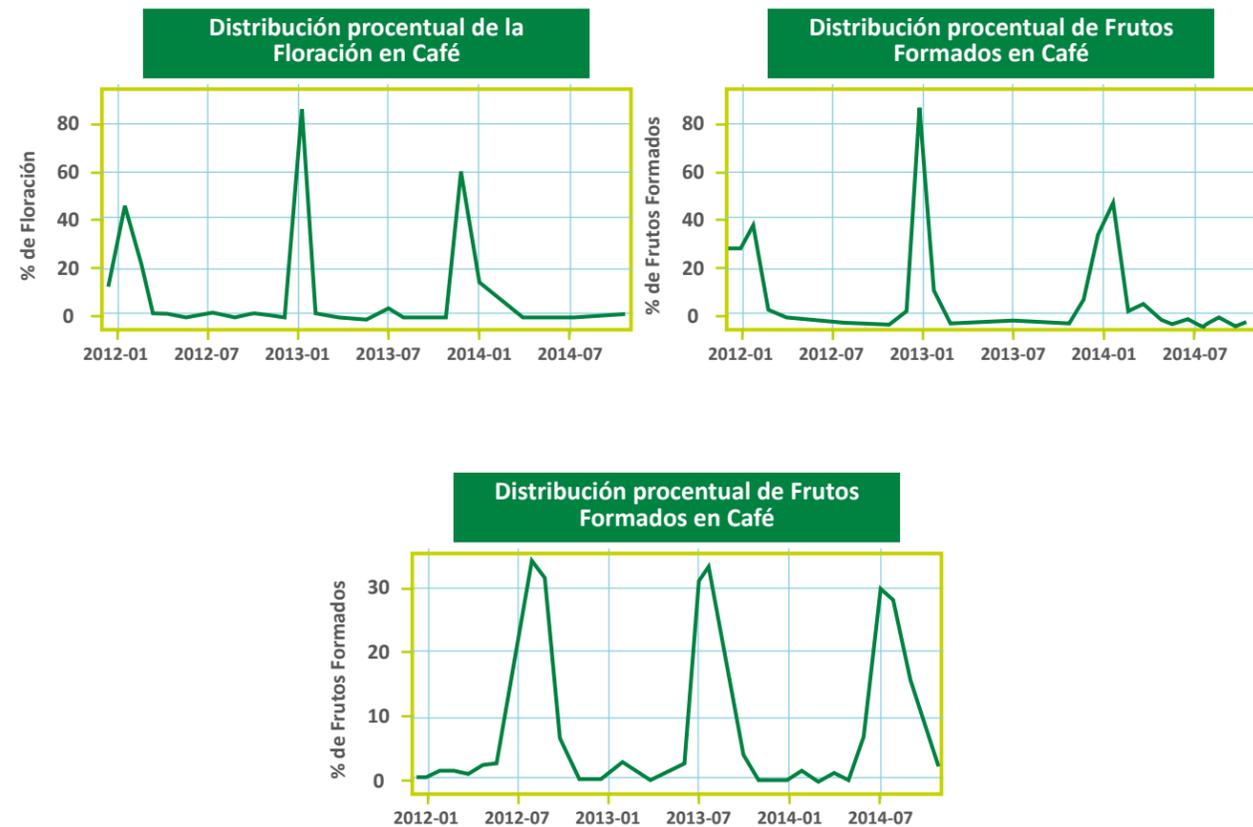


Figura 39. Distribución porcentual del comportamiento de las variables fenológicas del café.

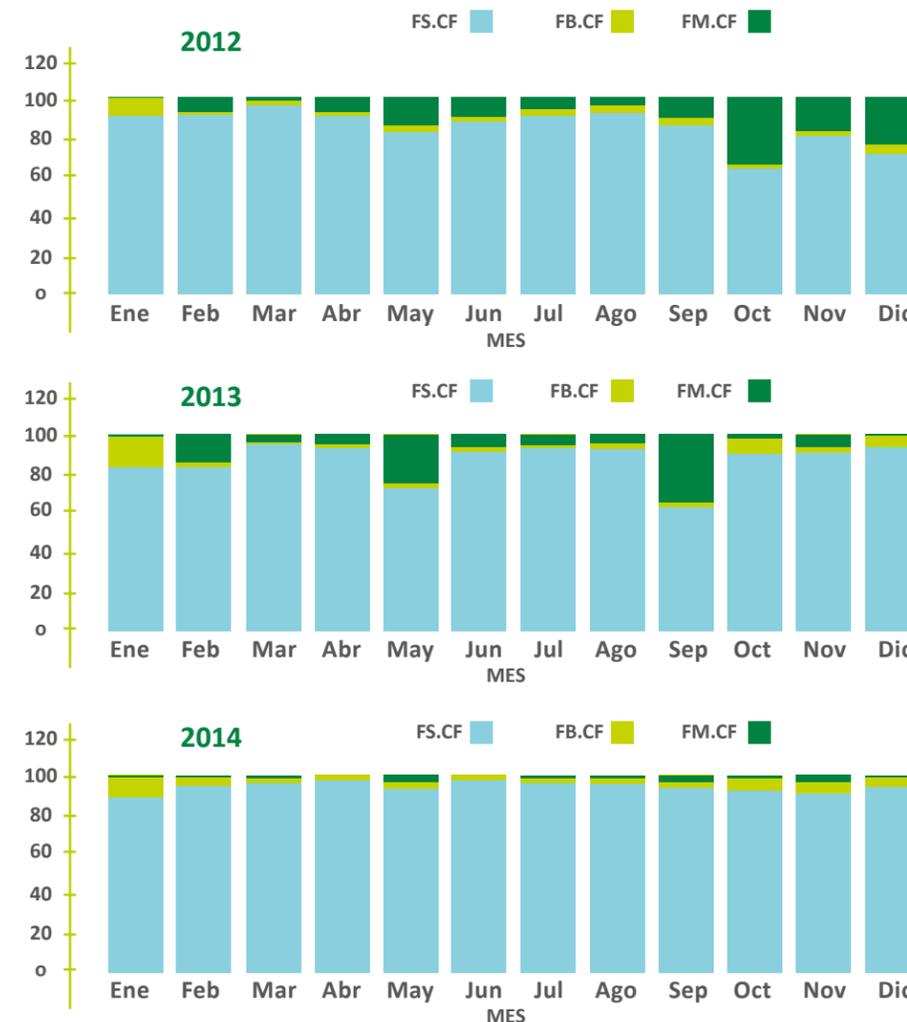
2.4.4

Aspectos fitosanitarios del café

En el área de estudio se registró la presencia de Broca como la principal enfermedad del café. La presencia de Broca en frutos de café es constante durante todo el año, acentuándose en Enero, Abril, Mayo, Junio, Julio, Agosto y Septiembre, que son meses en los cuales hay una disminución de la precipitación y un aumento de la temperatura, lo que acelera la maduración del fruto y facilita la fase de la oviposición

del coleóptero *Hypothenemus hampei*.

Las gráficas de la figura 40 muestran que el mayor porcentaje de frutos marchitos de café se registró en Octubre del 2012, Mayo y Septiembre del 2013; mientras que el mayor porcentaje de frutos con Broca se reportó en los meses de Enero en los tres años del monitoreo, esto es, 2012, 2013 y 2014.



De acuerdo a lo anterior, es posible determinar que para el cultivo del café se encontró un comportamiento homogéneo de la Broca, esto es, un porcentaje promedio bajo y constante a lo largo del año (Baldión y Guzmán, 1994), lo cual indica que las afectaciones al cultivo por efecto de esta plaga no son significativas ni implican grandes pérdidas económicas para los productores; esta situación puede explicarse, en parte, porque en la zona de estudio el café se localiza en una franja altitudinal marginal para el cultivo (1.100 y 1.400 msnm) y por ello, no hay las condiciones óptimas para la proliferación de la Broca, tal como ocurre por encima de los 2.000 msnm (Baldión y Guzmán, 1994).

Figura 40. Distribución porcentual del comportamiento de las variables fitosanitarias del café.



CUARTA PARTE. CONCLUSIONES

La primera fase del Proyecto de Monitoreo Climático tuvo una duración de cuatro años previos al llenado del embalse (Febrero de 2010 –Junio de 2014). Desde el inicio de la investigación se puso en evidencia la falta de información y de trabajos que sirvieran como referencia metodológica; de tal manera que, a partir del desarrollo teórico de investigaciones sobre cambio del uso del suelo, fue posible delinear las bases conceptuales para el diseño de un esquema metodológico riguroso, replicable, comparable y comprobable estadísticamente, que se perfilara como un elemento fundamental para realizar un análisis robusto de datos durante la segunda fase de la investigación, es decir, después del llenado del embalse.

La permanente capacitación e intercambio técnico con instituciones nacionales e internacionales líderes en temas agroclimáticos, al igual que la activa participación en eventos académicos especializados, puso de manifiesto la necesidad de mantener en el tiempo este trabajo pues, al no tener precedentes, el aporte conceptual y metodológico es de suma im-

portancia en términos de gestión social y ambiental empresarial, así como de generación de conocimiento y capacidades entre las comunidades locales.

Con los resultados obtenidos durante la primera fase de la investigación, se constató que la hipótesis principal sobre el cambio potencial y diferencial en el microclima puede ser comprobada en el mediano y largo plazo, ya que por un lado, los análisis estadísticos avalaron el diseño metodológico y por otro, el comportamiento climatológico en el área de estudio es en cierta medida heterogéneo, exhibiendo zonas con ciclos anuales de temporadas lluviosas/secas moderadas o muy acentuadas, lo cual facilitará evaluar las tendencias del comportamiento a lo largo del tiempo.

Una de las grandes ventajas del monitoreo agroclimático durante esta primera fase sin embalse, fue el poder sistematizar y analizar el comportamiento del clima y los cultivos bajo condiciones de estrés climático (como La Niña 2011) y bajo condiciones normales (desde el segundo semestre 2012 hasta diciembre 2014). Esta situación permitirá a futuro



Monitoreo agronómico en parcela de cacao, Villa Mónica, Santander

contrastar la dinámica normal de las variables monitoreadas frente a condiciones de fenómenos de variabilidad climática como el ENOS o por un cambio de uso del suelo como el cuerpo de agua de la Central Hidroeléctrica Sogamoso.

De esta manera fue posible establecer cómo, durante el monitoreo, los ciclos de los fenómenos El Niño 2010 y La Niña 2011, constituyeron un hito climático para la comunidad que influyó en las percepciones de los productores sobre la relación de sus sistemas productivos con el clima (en sus aspectos positivos y negativos). Es por ello que a partir de la ocurrencia de estos fenómenos, fue posible diferenciar y desmitificar entre la comunidad los probables impactos del embalse de los impactos de fenómenos de escala mundial que afectan al clima local.

También se determinó que la comprensión de los efectos de diferentes procesos atmosféricos dinámicos sobre los sistemas de producción, no debe analizarse de manera independiente con referencia a los posibles efectos locales que pueden presentarse por el establecimiento del embalse. Es por ello, que se requiere continuar la capacitación y formación en metodologías estadísticas que permitan evidenciar, esta necesaria diferenciación entre las escalas en las que operan los fenómenos climatológicos desde lo global, regional hasta lo local.

En cuanto a los resultados agronómicos, para el periodo entre 2012 y 2014 se puede determinar que: i) el cacao clonado presenta mayor rendimiento que el cacao híbrido; ii) las parcelas de cacao híbrido con manejo convencional tienen una buena respuesta en términos productivos y fitosanitarios, iii) la incidencia de Monilia es mayor en materiales híbridos, mientras que la incidencia de Fitóptora es mayor en clonados, iv) las prácticas de manejo resultan fundamentales para controlar la incidencia de las principales enfermedades del cacao; iv) para el mejoramiento del rendimiento del cultivo se requiere la articulación de prácticas de manejo y de la optimización de ciertas condiciones de disponibilidad de trabajo agrícola.

Los análisis y estudios del comportamiento de los cultivos de ciclo largo como el cacao (cuya edad en la zona de estudio oscila entre 15 y 20 años), implican un reto metodológico por la poca información que es posible obtener año tras año sobre estos cultivos (pues su ciclo de vida excede la temporalidad de este estudio). Esto es muy importante tenerlo en cuenta, pues la edad de los cultivos siempre será un factor definitivo en su capacidad de adaptación a las variables climáticas.

Con referencia al monitoreo de las variables agronómicas, es preciso mencionar que los seres vivos y sus ciclos biológicos son dinámicos en el tiempo y en el espacio y por lo tanto, no hay una homogeneidad ni estaticidad en la ocurrencia de fenómenos clima – agronomía. En este sentido los modelos generados y por generar a futuro, son aproximaciones para comprender de manera parcial el comportamiento de los sistemas ambientales, máxime cuando estos abarcan aspectos sociales de conocimientos, manejo y gestión. Es por ello que la información generada y por generar tenderá a presentar un grado de incertidumbre considerable a la hora de emitir valoraciones sobre las tendencias de cambio o de no cambio ante la llegada del embalse.

Tanto los resultados del monitoreo climático como agronómico, dejan abierta la posibilidad de explorar de manera más específica las características particulares de cada una de las variables agroclimáticas con el fin de poder comparar sus tendencias en el tiempo y el espacio, teniendo en cuenta la llegada del espejo de agua.

Además del componente técnico y metodológico, durante la primera fase del Convenio se pudo afianzar y perfeccionar el proceso logístico para la toma de datos de las diversas variables agroclimáticas, en las siete estaciones climatológicas, las cinco microestaciones meteorológicas y las 27 parcelas demostrativas. Con la información recolectada se consolidó una base de datos con registros de 36 meses para las variables climáticas y 30 meses para las variables

agronómicas; dicha base de datos constituye el principal insumo para continuar durante la segunda fase de la investigación en donde la presencia del embalse será el principal factor del diseño metodológico a evaluar. De la misma manera, los procesos asociados al manejo, mantenimiento y administración de la información y de la base de datos agroclimática, constituyen un reto para la gestión del conocimiento desde las perspectivas técnicas y participativas.

Con referencia a la participación de las comunidades locales y de instituciones técnicas, fue posible reconocer e incorporar el conocimiento y experiencia de los productores como un pilar para la toma de datos y el análisis de la información. Durante esta primera fase del monitoreo se capacitó y fortaleció a un grupo de agricultores para que tomen, sistemati-

cen y analicen datos climáticos; de manera que ellos tengan la capacidad de dialogar con técnicos y plantear sus propias propuestas con rigurosidad y argumentos. La generación de esta capacidad instalada, a través del monitoreo climático participativo, constituyó otro aporte fundamental de esta investigación al debate sobre la viabilidad de los procesos de monitoreo agroclimático a largo plazo, en donde la inclusión de las poblaciones locales es un mecanismo de gran relevancia para la continuidad de cualquier tipo de monitoreo.

La metodología y resultados de la línea base, presentados en esta publicación, permiten que la segunda fase del monitoreo pueda llevarse a cabo de manera sistemática y rigurosa; pues posibilitó la generación de información climática y agronómica en



Monitoreo agronómico en parcela de cacao, Villa Mónica, Santander

condiciones previas al llenado del embalse, información requerida para comparar a futuro con los datos del monitoreo con la presencia del embalse en los próximos cinco años. En este orden de ideas, el contraste de las hipótesis planteadas en la primera parte de este libro, así como los principales análisis estadísticos que las validarán o no, será posible gracias a los datos de esta línea base y a los datos que están siendo tomados durante la segunda fase del monitoreo, es decir, la fase con la presencia del embalse de la Central Hidroeléctrica Sogamoso.

Nuevamente, es relevante subrayar la importancia de este tipo de estudios en el país, ya que el

esfuerzo detrás de esta investigación va más allá de los recursos financieros y logísticos que son fundamentales en términos de recursos humanos, técnicos y operativos; sin embargo, en este caso también se le da valor a la generación de nuevas formas de intercambio y validación de diversos tipos de conocimiento, a la construcción de marcos conceptuales y métodos integrativos y a la gestión y divulgación de información bajo escenarios de cambio e incertidumbre, constituyendo nuevos modelos de investigación aplicada y orientada a resolver las problemáticas sociales del inevitable cambio ambiental que acontece en Colombia y el mundo.



Monitoreo fenológico en parcela de cacao, Sogamoso, Santander

BIBLIOGRAFÍA

Allan, R., Lindsey, J., y Parker, D. 1996. El Niño Southern Oscillation and climate variability. CSIRO Publishing, Australia.

Aldrich, M.A., Imberger, J. 2013. The effect of land clearing on rainfall and fresh water resources in Western Australia: a multi-functional sustainability analysis. *International Journal on Sustainability*. 20, 549-563.

Anyamba, A. y Tucker, C.J. 2005. Analysis of Sahelian vegetation dynamics using NOAA-AVHRR NDVI data from 1981–2003. *Journal of Arid Environments*. 63, 596–614.

Arnell, N., Hudson, A. y Jones, R. 2003. Climate change scenarios from a regional climate model: estimating change in runoff in southern Africa. *Journal of Geophysics*. 108 (v16), pp. 4519-4536.

Aspinall, R. 2004. Modelling land use change with generalized linear and generalized additive models - a multi-model analysis of change between 1860 and 2000 in Gallatin Valley, Montana. *Journal of Environmental Management*. 72, 91-103.

Baldion, J. y Guzman, O. 1994. "Condiciones climáticas en la zona cafetera en los años 1991, 1992 y 1993 y su influencia en las cosechas de café". *Cenicafe Avances Técnicos*: 1-8.

Ban-Weiss, G., Bala, G., Cao, L., Pongratz, J., Caldeira, K. 2011. Climate forcing and response to idealized changes in surface latent and sensible heat. *Environmental Research Letters*, 6, 34032-34051.

Bargués, A., Reese, H., Almaw, A., Bayala, J., Malmer, A., Laudon, H., Ilstedt, U. 2014. The effect of trees on preferential flow and soil infiltrability in an agroforestry parkland in semiarid Burkina Faso. *Water Resources Research*. 50, 3342-3354.

Bonan, G.B. 2008. Forests and climate change: forcings feedbacks, and the climate benefits of forests. *Science*, 320, 1444-1449.

Bounoua, L., Zhang, P., Mostovoy, G., Thome, K., Masek, J., Imhoff, M., Marshall, D., Quattrochi, J., Santanello, J., Silva, R., Wolfe, A. y Toure, .M. 2015. Impact of urbanization on US surface climate. *Environmental Research Letters*. 10, 84010-84025.

Bruijnzeel, L.A. 1989. (de)forestation and dry season flow in the tropics: a closer look. *Journal of Tropical Sciences*. 1, 229-243.

Buytaert, W., Celleri, R., De Bievre, B., Cisneros, F., Wyseure, G., Deckers, J. y Hofstede, R. 2006. Human impact on the hydrology of the Andean paramos. *Earth Science Reviews* 79, 53–72.

Cadena, M., Pabon, J.D., Devis, A., Malikov, I., Reyna, J., y Ortiz, J. 2006. Relationship Between the 1997/1998 El Niño and 1999/2001 La Niña Events and Oil Palm Tree Production in Tumaco, Southwestern Colombia. *Advances in Geophysics*, 6: 195-199.

Ceballos, J. 2009. Manifestación del Cambio Climático "Los glaciares en Colombia". *Calentamiento Global, más ciencia, mejores políticas*. Revista La Tadeo 63.

Comisión Económica para América Latina y el Caribe, CEPAL. 2012. Valoración de daños y pérdidas. Ola invernal en Colombia, 2010-2011. Misión BID – CEPAL, Bogotá.

Ellison, C., Morris, C., Locatelli, B., Sheil, D., Cohen, J., Murdiyarto, D., Gutierrez, V., van Noordwijk, M., Creed, I., Pokorny, J., Gaveau, D., Spracklen, D., Bargués, A., Ilstedt, U., Teuling, A., Gebreyohannis, S., Sands, D., Muyst, B., Verbist, B., Springgayu, E., Sugandiv, Y., Sullivan, C. 2017. Trees, forests and water: Cool insights for a hot world. *Global Environmental Change*. 43, 51–61.

Federación Nacional De Cacaoteros –FEDECACAO–. 2013. Guía técnica para el manejo del cultivo del cacao. Bogotá. D.C.

Feddema, J., Oleson, K., Bonan, G., Mearns, L., Buja, L., Meehl, G. y Washington, W. 2005. The Importance of Land-Cover Change in Simulating Future. *Climates Science*. 310, 1674-1678.

Foley, J.A., Heil, M., Delire, C., Ramankutty, N. y Snyder, P. 2003. Green surprise? How terrestrial ecosystems could affect earth's climate. *Frontiers on Ecology and Environment*. 1(1), 38-44.

Foster, P. 2001. The potential negative impacts of global climate change on tropical montane cloud forests. *Earth-Science Reviews*. 55, 73-106.

Hurtado, G. y González, O. 2012. Evaluación de la afectación territorial de los fenómenos El Niño/La Niña y análisis de la confiabilidad de la predicción climática basada en la presencia de un evento. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia.

IPCC. 2013. *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the IPCC*. Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds). Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA.

Jauregui, E. 2004. Impact of land-use changes on the climate of the Mexico City Region. *Investigaciones Geográficas*, 55, 46-60.

Hesslerová, P., Pokorný, J., Brom, J., Rejšková-Procházková, A. 2013. Daily dynamics of radiation surface temperature of different land cover types in a temperate cultural landscape: consequences for the local climate. *Ecology and engineering*. 54 145-154.

IDEAM, Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. 2017. www.ideam.gov.co/

Kalnay, E. y Cai, M. 2003. Impact of urbanization and land-use change on climate. *Nature*. 423, 528-531.

Lavado, W., Felipe, O., Silvestre, E., y Bourrel, L. 2013. ENSO impact on hydrology in Peru. *Advances in Geosciences*, 33: 33-39.

Mahfouf, J., Richard, E. y Mascart, P. 1987. The Influence of Soil and vegetation on the Development of Mesoscale Circulations. *Journal of Climate Applications and Meteorology*. 26, 1484-1495.

Makarieva, A., Gorshkov, V., Li, B. 2013. Revisiting forest impact on atmospheric water vapor transport and precipitation Theory and Applied Climatology. 111, 79-96.

Montealegre, J. 2009. Estudio de la variabilidad climática de la precipitación en Colombia asociada a procesos oceánicos y atmosféricos de meso y gran escala. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia.

Rodríguez, N., Pabón, J.D., Bernal, N. y J. Martínez. 2010. Cambio climático y su relación con el uso del suelo en los Andes colombianos. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, Universidad Nacional de Colombia y Departamento Administrativo de Ciencia, Tecnología e Innovación. Bogotá, D. C., Colombia.

Romero, R. 2015. Fenómenos climáticos y su relevancia para el cambio climático regional futuro. Gay, C. y Rueda, J. Reporte mexicano de cambio climático, volumen I. Universidad Nacional Autónoma de México: 261-293.

Ruiz, A. y Pabón, D. 2013. Efecto de los fenómenos de El Niño y La Niña en la precipitación y su impacto en la producción agrícola del departamento del Atlántico (Colombia). *Cuadernos de Geografía. Revista Colombiana de Geografía*. 22 (2), 35-54.

Spracklen, S., Arnold, S. y Taylor, C. 2013. Observations of increased tropical rainfall preceded by air passage over forests. *Nature*. 489, 282-285.

Valdivia, C., Seth, A., Gilles, J., García, M., Jiménez, E., Cusicanqui, J., Navia, F., y Yucra, E. 2010. Adapting to Climate Change in Andean Ecosystems: Landscapes, Capitals, and Perceptions Shaping Rural Livelihood Strategies and Linking Knowledge Systems. *Annals of Association of American Geographers*, 100: 818-834.

