

Descripción del comportamiento fitopatológico en parcelas de cacao híbrido mediante Análisis de Componentes Principales-ACP

Fabian Alberto Rangel Silva

Trabajo de grado para optar por el título de Especialista en Estadística

Directora

Marianela Luzardo Briceño

Lic. en Estadística - MSc. en Estadística aplicada - Dra. en Estadística.

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ciencias

Escuela de Matemáticas

Especialización en Estadística

Bucaramanga

2017

Dedicatoria.

Quiero dedicar este trabajo primeramente a Dios por haberme dado la sabiduría, el entendimiento, la paciencia, la fuerza y los medios para realizar esta especialización que me permitió crecer académica y profesionalmente.

A mi familia, especialmente a mi madre y mi tía, que en la distancia me apoyaron y motivaron constantemente para aprovechar esta gran oportunidad de formarme.

A Carmen Tequia, mi mejor amiga, que desde la distancia, siempre tuvo las palabras para motivarme y ayudarme a seguir adelante siempre.

A mis compañeros de la especialización, que se terminaron convirtiendo en una segunda familia los fines de semana e hicieron que esta experiencia fuese mucho más enriquecedora y amena.

Agradecimientos

A la Fundación Natura, por haberme dado la oportunidad de vincularme a la investigación, por permitirme utilizar la información en el transcurso de la carrera, así como por haberme dado el tiempo necesario para el desarrollo de la especialización.

A Andrés Rueda, Jefe de proyecto, por el apoyo constante y por haber inculcado el interés por la estadística.

A Omar Salamanca, Abel Merchan y Mitchel Hernández, quienes hacen parte del equipo del proyecto, y son los encargados día a día de estar en contacto constante con los productores.

A los productores que se vincularon a la investigación y durante estos años han facilitado el proceso de toma de información.

A todos los docentes de la VI Cohorte de la especialización en Estadística por todo el conocimiento que fue transmitido durante este proceso y por compartir de su experiencia con nosotros.

A Marianela Luzardo, por haber aceptado ser la directora de este trabajo. Gracias por el apoyo, los consejos y recomendaciones dadas para el adecuado desarrollo de este documento, así como por darme ánimos y buena energía durante estos meses de trabajo.

A la Universidad Industrial de Santander por haberme abierto las puertas para crecer y formarme académicamente.

Contenido

Introducción	13
1. Justificación	15
2. Antecedentes	16
3. Objetivos	19
3.1. Objetivo General	19
3.2. Objetivos específicos	19
4. Marco teórico	19
4.1. Cacao (<i>Theobroma cacao</i>)	19
4.1.1. Tipos de Cacao	21
4.2. Moniliasis del cacao (<i>Moniliophthora roreri</i>)	22
4.2.1. Síntomas y signos de la Moniliasis	22
4.3. Mazorca negra o fitóptora (<i>Phytophthora sp</i>)	23
4.3.1. Síntomas de la Mazorca negra	24
4.4. Escoba de Bruja (<i>Moniliophthora perniciosa</i>)	25
4.4.1. Síntomas de la Escoba de Bruja	25
4.5. Ataques de fauna en sistemas de producción cacaoteros.	26
4.6. Componentes Principales	27
4.6.1. Cálculo de los Componentes Principales	28
4.6.2. Proceso de extracción de los componentes	29

4.6.3. Porcentajes de variabilidad	32
4.6.4. Cálculo de los componentes principales a partir de la matriz de correlaciones	33
5. Metodología	33
5.1. Tipo de investigación.	33
5.2. Población y muestra.....	34
5.3. Variables.....	34
5.4. Fases de la investigación	36
5.4.1. Organización de la información	36
5.4.2. Análisis preliminar de la información mediante estadísticos descriptivos	36
5.4.3. Análisis gráfico preliminar	36
5.4.4. Análisis de componentes principales (ACP)	36
6. Resultados y discusiones	37
6.1. Organización de la información.....	37
6.2. Estadística Descriptiva de la información fitopatológica en cacao híbrido	37
6.3. Gráficos de caja de la información fitopatológica en cacao híbrido por parcela.	40
6.4. Gráficos de caja de la información fitopatológica en cacao híbrido por periodo.....	42
6.4. Análisis de componente principales (ACP)	44
7. Conclusiones	56
Bibliografía.....	59
Apéndices.....	62

Lista de tablas

Tabla 1. Estadísticos descriptivos para variables fitopatológicas en cacao híbrido.	37
Tabla 2. Matriz de correlación de las variables fitopatológicas.	44
Tabla 3. Prueba de Barlett.	45
Tabla 4. Importancia de los componentes.	46
Tabla 5. Componentes Principales obtenidos.	47
Tabla 6. Nomenclatura utilizada en las etiquetas de los gráficos del ACP.	50
Tabla 7. Resumen de resultados más relevantes del ACP para el comportamiento de las parcelas tras el llenado del embalse.	53

Lista de figuras

Figura 1. Árbol de cacao en producción.	20
Figura 2. Aspecto interno de un fruto de cacao con características del tipo criollo.	21
Figura 3. Evolución de síntomas de la moniliasis (A) frutos jóvenes con protuberancias o gibas; (B) y (D) síntomas de puntos aceitosos; (C) y (E) configuración de mancha; (F) crecimiento del área necrosada o mancha.	23
Figura 4. Síntomas de mazorca negra: (A) y (B) mancha chocolate; (C) pudrición del tejido interno y (D) pelusa blanquecina.	24
Figura 5. Síntomas de la Escoba de Bruja: (A) en brotes vegetativos y (B) en frutos.	26
Figura 6. Histogramas para variables fitopatológicas en cacao híbrido.	40
Figura 7. Boxplots para variables fitopatológicas en cacao híbrido en las 10 parcelas monitoreadas.	42
Figura 8. Boxplots para variables fitopatológicas en cacao híbrido antes (A) y después (D) del llenado del embalse.	43
Figura 9. Proporción de varianza de los componentes.	46
Figura 10. Grafico del ACP con etiqueta de periodo: Componentes 1 y 2.	48
Figura 11. Gráfico de ACP con etiqueta de periodo: Componentes 1 y 3.	49
Figura 12. Gráfico de ACP con etiqueta de parcela y semestre: Componentes 1 y 2.	51
Figura 13. Gráfico de ACP con etiqueta de parcela y semestre: Componentes 1 y 3.	52

Lista de apéndices

Apéndice A. Interpretación de coeficiente de correlación. 63

Apéndice B. Peso de las observaciones en cada uno de los componentes. 64

RESUMEN

TITULO: DESCRIPCIÓN DEL COMPORTAMIENTO FITOPATOLÓGICO EN PARCELAS DE CACAO HIBRIDO MEDIANTE ANÁLISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES-ACP*

AUTOR: FABIAN ALBERTO RANGEL SILVA**

PALABRAS CLAVES: ACP, Fitopatológico, RWizard. Moniliophthora, fitóptora, Ornitosisusceptibilidad.

DESCRIPCIÓN

El presente trabajo se centró en la descripción del comportamiento fitopatológico de 10 parcelas de cacao híbrido ubicadas en la zona de influencia directa del embalse Topocoro, utilizando un análisis de Componentes principales-ACP. Todos los análisis se realizaron a través de la interfaz RWizard Software (Guisande *et al*, 2014). Se establecieron tres indicadores para evaluar el estatus fitosanitario en las parcelas de cacao híbrido: el primer indicador, permite evaluar la “Susceptibilidad a Moniliophthora” de las parcelas de cacao híbrido; el segundo, está relacionado con la producción de mazorcas de cacao en la parte baja del árbol, las cuales son más susceptibles de ser infectadas por fitóptora así como de ser atacadas por mamíferos; finalmente, el tercero es un indicador de “Ornitosisusceptibilidad”. Adicionalmente se utilizó una variable ilustrativa denominada periodo (Antes/Después del llenado del embalse) la cual permitió categorizar los casos en el plano de componentes principales y comparar los dos periodos en estudio. A partir del ACP, se pudo evaluar de manera general el comportamiento fitopatológico en las parcelas de cacao híbrido, resaltando que los niveles de incidencia de enfermedades y de ataques por fauna encontrados tras el llenado del embalse son bastante similares a los encontrados antes, y no representan una limitante para los sistemas de producción cacaotero.

* Monografía

** Facultad de Ciencias. Escuela de Matemáticas. Directora: Marianela Luzardo

ABSTRACT

TITLE: DESCRIPTION OF PHYTOPATHOLOGICAL BEHAVIOR IN PATCHES OF HYBRID COCOA BY PRINCIPAL COMPONENT ANALYSIS-PCA*

AUTHOR: FABIAN ALBERTO RANGEL SILVA**

KEYWORDS: PCA, Phytopathological, RWizard, Moniliophthora, phytophthora, Ornithosusceptibility.

DESCRIPTION

The present work focused on the description of the phytopathological behavior of 10 hybrid cocoa patches located in the zone of direct influence of the Topocoro Reservoir, using a Principal Components Analysis-PCA. All analyzes were performed through the RWizard Software interface (Guisande *et al*, 2014). Three indicators were established to evaluate the phytosanitary status in the hybrid cacao patches: the first indicator, allows to evaluate the "Susceptibility to Moniliophthora" of the hybrid cacao patches; the second, is related to the production of cocoa cobs in the lower part of the tree, which are more susceptible to being infected by phytophthora as well as being attacked by mammals; finally, the third is an indicator of "Ornithosusceptibility". Additionally, an illustrative variable called period (Before / After filling of the reservoir) was used, which allowed to categorize the cases in the main components plane and to compare the two periods under study. From the PCA, it was possible to evaluate the phytopathogenic behavior in the hybrid cacao patches in general, noting that the levels of disease incidence and fauna attacks found after filling the reservoir are quite similar to those found before, and not represent a limitation for cocoa production systems.

* Monograph

** Science Faculty: Math School. Director: Marianela Luzardo

Introducción

Dentro de las obligaciones adquiridas por ISAGEN como desarrollador del Proyecto Hidroeléctrico Sogamoso –PHS- se estableció la elaboración de Estudio de Impacto Ambiental –EIA, así como las respectivas 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 desarrollo del PHS se identificaron las inquietudes y precepciones de la comunidad aledaña al embalse, especialmente la comunidad cacaotera, sobre cómo el clima local podría variar a causa de la presencia del espejo de agua que se establecería por el represamiento del río, y cómo esta variación podría causar efectos negativos sobre sus sistemas de producción, desde sus dinámicas productivas, fenológicas y fitopatológicas.

En el marco del PMA, ISAGEN en convenio con la Fundación Natura, establecieron el Proyecto de Monitoreo Agroclimático en el área de influencia de embalse Topocoro, el cual, desde el año 2011 ha venido monitoreando variables climáticas, y desde el 2012, las variables agronómicas en cultivos de cacao, café y tabaco en el área de influencia del espejo de agua. De acuerdo a la caracterización agroeconómica de la zona, el cultivo del cacao resultó ser el cultivo de mayor relevancia, por lo que dentro del contexto del proyecto de monitoreo agroclimático, se decidió establecer casi el 80% de las parcelas de monitoreo en este cultivo. No obstante, cabe resaltar que en la zona existen dos especies de cacao: clonado e híbrido. Este último, presenta una mayor susceptibilidad a las principales enfermedades, por lo que desde la investigación se generó la necesidad de evaluar si tras el llenado del embalse, en las parcelas con este tipo de cacao se han incrementado las principales enfermedades, así como los ataques por parte de la fauna.

Con cinco años de información agronómica recolectada desde el inicio de la investigación resulta de vital importancia evaluar la evolución del comportamiento de los sistemas de producción, especialmente, lo concerniente a las dinámicas fitopatológicas en el cacao híbrido, así como si después del llenado del

espejo de agua, se han evidenciado cambios importantes en las dinámicas fitosanitarias relacionadas con el incremento en las enfermedades, así como de ataques por algunas especies de aves y mamíferos.

Por consiguiente, resulta ideal generar indicadores que permitan evaluar de manera general la presencia de enfermedades y de fauna en los cultivos de cacao híbrido presentes en el área de estudio, así como identificar si existen zonas con mayor vulnerabilidad al ataque de estas. Es por esto, que el análisis de componentes principales (ACP), resulta una herramienta adecuada pues permite la generación de indicadores que facilitan el diagnóstico fitosanitario.

En el caso del cacao se monitorean cinco variables relacionadas con el estatus fitosanitario: número de mazorcas con monilia, número de mazorcas con fitóptora, número de árboles con escoba de bruja, número de mazorcas afectadas por aves y número de mazorcas afectadas por mamíferos. Para efectos de este trabajo, se tomará la información fitopatológica semestral recolectada en diez parcelas de cacao híbrido distribuidas alrededor de la zona de influencia del embalse Topocoro desde el 2012 hasta el 2014, para lo concerniente al periodo antes del llenado del embalse, y del 2015 al 2016 para el después.

1. Justificación

El análisis de información agronómica relacionada con los comportamientos productivos, fitopatológicos y fenológicos en diversos cultivos se ha desarrollado principalmente a través de la aplicación de metodologías tradicionales como la comparación de medias. Una de las desventajas de estos análisis univariados es que deben realizarse a cada una de las variables en estudio, y el análisis se debe interpretar de manera independiente en relación al conjunto total de variables, lo cual no permite dar una visión global acerca del comportamiento de un cultivo. En este punto, el Análisis de Componentes Principales- ACP resulta una herramienta que facilita el análisis conjunto de información multivariada. Desde el punto de vista agronómico, el ACP se ha utilizado especialmente en trabajos relacionados con la caracterización morfológica, fisicoquímica y/o genética de especies vegetales o de sus fitopatógenos.

Es por ello, que la utilización de una herramienta poco tradicional, como lo es el ACP, para la evaluación del comportamiento fitopatológico resulta ser una alternativa práctica, pues a través de las salidas gráficas del análisis, se puede describir de manera general el comportamiento de las diferentes parcelas en estudio con respecto a un conjunto de variables (en este caso fitopatológicas), de acuerdo a su ubicación en el plano de componentes. Asimismo, mediante el uso de una variable ilustrativa como lo es el periodo, se podría describir si han existido diferencias en el comportamiento de algunas variables en cada una de las parcelas antes y después del llenado del embalse, teniendo en cuenta la posición de los puntos en el plano de componentes principales.

Para efectos de este trabajo, se espera que a través del ACP, se puedan generar algunos indicadores que faciliten la evaluación del estatus fitosanitario general en las diferentes parcelas de cacao híbrido, antes y después del llenado del embalse. Del mismo modo, se buscar aprovechar las herramientas gráficas para facilitar la interpretación de la información de una manera sencilla, agilizando la descripción general del estatus fitosanitario.

2. Antecedentes

En el estudio de Ramos, Gómez y De Ascencao (2004) denominado *Caracteres morfológicos determinantes en dos poblaciones de cacao criollo del occidente de Venezuela* se realizó una evaluación de 40 caracteres morfológicos en flores, frutos y almendras de diez materiales de cacao criollo Guasare y seis materiales del piedemonte andino. Estos resultados fueron estudiados a través de un análisis de componentes principales, con el fin de seleccionar los descriptores que mayor peso aportaban a la caracterización morfológica del tipo criollo. Dentro de los resultados más relevantes se encontró que características como fuerte rugosidad de la corteza del fruto, la esfericidad o redondez de las almendras son característicos del cacao de Guasare, mientras en los materiales del piedemonte andino, los descriptores de mayor peso resultaron ser la longitud del estilo, la intensidad de pigmentación y ancho de los sépalos, el número de óvulos y la superficie lisa de los frutos.

Otro trabajo a resaltar es el de Grisales y Afanador (2007) titulado *Análisis de variabilidad genética en *Moniliophthora roreri* con AP-PCR y RAPD en Antioquia, Colombia*, en el cuál, mediante un análisis por componentes principales logró evaluar la similitud genética entre 170 aislamientos de *M. roreri* colectados en doce municipios de Antioquia, encontrando una baja variabilidad genética, exceptuando los aislamientos encontrados Apartadó y Dabeiba.

Moreno, Melgarejo, Hernández, Quintero y Vargas (2004), en su trabajo *Caracterización molecular de un banco de germoplasma del género *Theobroma* mediante la técnica RAPD* (Random Amplified Polymorphic DNA), analizaron 128 de *T. grandiflorum* y 17 de *T. bicolor*, del banco de germoplasma ex situ del género *Theobroma* del Instituto Sinchi, en San José del Guaviare. Mediante el análisis de componentes principales, se determinó un alto grado de semejanza genética intraespecífica en los materiales analizados, particularmente en *T. bicolor*. Adicionalmente, en la valoración de características

morfológicas y agronómicas de algunos materiales de *T. grandiflorum*, se encontró gran heterogeneidad a nivel molecular.

En la *Evaluación agronómica de tomate (Lycopersicon esculentum M) en invernadero*, realizada por Borrego, López, Murillo, Rodríguez, Reyes y Martínez (2001), con la ejecución de un análisis de componentes principales (ACP) para evaluar diversos genotipos de tomate en condiciones de invernadero, se encontró que el 72% de la varianza total era explicada por los tres primeros componentes. Las características de rendimiento fueron explicadas por el primer componente, representando el 36% de la variación total; por otra parte, el segundo componente, relacionado con las características de regulación interna de temperatura explico el 23% de la varianza total; finalmente, el quinto componente estuvo ligado a la producción eficiente de fotosintatos, explicando solo el 7,4 % de la variación.

Parga, Zamora, Borrego, Covarrubias, López y Almeyda (2010) en su trabajo denominado *Evaluación, Selección y Caracterización de Genotipos de Papa Tolerantes al Síndrome de Punta Morada*, llevaron a cabo un análisis de componentes principales para la selección de genotipos de papa con mayor tolerancia al síndrome de Punta Morada. En el mismo, se establecieron 214 genotipos y se evaluaron parámetros como altura, cobertura del follaje, días a inicio de síntomas, días a muerte de la planta, inicio de síntomas a muerte de la planta, número de tubérculos por planta, entre otros. El ACP estableció que el 76.8% de la varianza total era explicada por los primeros tres componentes. Por una parte, el análisis ayudo a diferenciar entre los genotipos productores de los no productores y, por otra parte, a los genotipos más tardíos, con cobertura sobresaliente y un bajo brote de hilo de aquellos con características opuestas.

Otra investigación realizada por Vera *et al.* (2014), es *Atributos físicos-químicos y sensoriales de las almendras de quince clones de cacao nacional (Theobroma cacao L.) en el Ecuador* cuyo objetivo fue caracterizar los atributos físico-químicos de las almendras, así como las características organolépticas de los licores de quince clones de cacao, doce de tipo Nacional y tres testigos (CCN-51, EET-103 e IMC-67). Se realizó el análisis de Componentes Principales, el cual, permitió destacar al clon nacional, el DIRCYT-C129, como el cacao con el mayor índice de mazorca. Del mismo modo, el clon DIRCYT-C103 sobresalió

por tener el mayor índice de semilla. Los clones EET-103, CCN-51 y IMC-67 fueron superiores en lo concerniente a los atributos físicos. En cuanto a las características químicas, todos los clones presentaron atributos similares. Finalmente, el mejor perfil sensorial se encontró en el clon DIRCYT-C225, el cual presentó gran potencial en la industria chocolatera por sus características de sabor floral sobresaliente.

En el trabajo de Martínez *et al.* (2009), denominado *Estudio de factores que influyen en la epifitología del complejo mosca blanca-geminivirus en la región oriental de Cuba*, se recolectó información en 28 campos de producción de tomate con el objetivo de evaluar los principales factores que provocan severas pérdidas en este cultivo. Mediante un análisis de componentes principales, se logró determinar que los altos niveles de severidad de la infección están asociados a la siembra continua de tomate, así como de otros cultivos hospedantes de mosca blanca o de begomovirus. Del mismo modo, esta alta severidad, se encuentra ligada fundamentalmente a grandes densidades de *Bemisia tabaci*. Por otra parte, factores asociados a las buenas prácticas culturales, el nivel altitudinal y la fecha de trasplante, estuvieron relacionados con la baja incidencia.

Finalmente, en el trabajo de Cárdenas, Ortiz, Echevarria y Shagarodsky (2012) titulado *“Caracterización y selección agroproductiva de líneas de garbanzo (*Cicer arietinum L.*) introducidas en Cuba”*, se evaluaron diferentes variedades de germoplasma de garbanzo. Para ello se efectuó un análisis de componentes principales, en el cual, los tres primeros componentes explicaron el 64 % de la varianza total. El primero de estos componentes explicó el 25,7% de la variación total y se relacionó con el ciclo del cultivo. El segundo explicó el 21.82 % de la varianza y se relacionó con cantidad de ramas. Finalmente, el tercer componente se muestra, a pesar de su baja contribución (16.87 %), debido a que se asocia con el hábito de crecimiento y además con el rendimiento.

3. Objetivos

3.1. Objetivo General

Evaluar el comportamiento fitopatológico en parcelas de cacao híbrido mediante un análisis de componentes principales-ACP.

3.2. Objetivos específicos

- Realizar un análisis descriptivo de la información agronómica relacionada con el componente fitopatológico en las parcelas de cacao híbrido.
- Describir el comportamiento fitopatológico antes y después del llenado de embalse en las parcelas de cacao híbrido en base a los resultados obtenidos en el análisis de componentes principales (ACP).
- Establecer características ecológicas y biofísicas relacionados con las dinámicas fitosanitarias en cada una de las parcelas monitoreadas.

4. Marco teórico

4.1. Cacao (*Theobroma cacao*)

El cacao es un cultivo de gran importancia a nivel económico, social y ambiental para Colombia, constituyéndose en una especie primordial del sistema agroforestal campesino de muchas regiones (Jaimes y Aranzazu, 2010).

El cacao es una planta que se encuentra de manera natural en los bosques de Suramérica, especialmente en las regiones del Amazonas y Orinoco. Carl Lineo fue quien clasificó por primera en 1735

al cacao, dándole el nombre de *Theobroma cacao*, que significa fruto de los dioses. Se sabe que muchas tribus indígenas de Centro y Suramérica ya conocían el cacao, incluso antes de la llegada de los españoles. Algunas civilizaciones como los Chichimecas, Toltecas y Aztecas consideran de gran valor el cacao, el cual era utilizado en diversas actividades, incluso como moneda (Rojas y Sacristán, 2013)

Se tiene la teoría que debido a que la mayoría de las tribus americanas eran nómadas, el cacao se diseminó en Centro y Suramérica, siendo utilizada por varias tribus. Tras la llegada de los españoles a tierras americanas y observar los diversos usos que los indígenas le daban al cacao, este fue llevado a tierras africanas donde se cultivó de manera masiva, aprovechando la mano de obra de los esclavos. En la actualidad, es el continente con la producción más alta de cacao a nivel mundial (Rojas y Sacristán, 2013).

Para el año de 1914, el botánico Pérez Arbeláez, clasificó el cacao como una planta hidromegaterma, es decir que requiere de altos valores de humedad relativa, así como de altas temperaturas para su óptima productividad, con oscilaciones mínimas en ambos factores (Rojas y Sacristán, 2013).



Figura 1. Árbol de cacao en producción. En “GUÍA AMBIENTAL PARA EL CULTIVO DEL CACAO” (p.24), por F. Rojas y E. Sacristán, 2013. Recuperado de:

https://www.fedecacao.com.co/site/images/recourses/pub_doctecnicos/fedecacao-pub-doc_05B.pdf

Según Mojica y Paredes (2006), en Colombia el cacao se cultiva a escala comercial desde la época de la Colonia, constituyéndose en artículo de exportación hasta casi el primer cuarto del siglo XX. Inicialmente, los cultivos de cacao se dieron en la parte oriental del país a ambos lados de la cordillera oriental, y poco a poco se fueron extendiendo hacia el occidente. Santander es el departamento con el primer puesto en producción de cacao a nivel nacional, destacándose los municipios de El Carmen y San Vicente de Chucurí, no solo por los grandes niveles de productividad, sino también por su excelente calidad.

4.1.1. Tipos de Cacao: De acuerdo a Rojas y Sacristán (2013), Del *Thebroma cacao* L. se han descrito dos subespecies:

- *T. Cacao* ssp. *Cacao*: Este tipo de cacao se caracteriza por tener frutos alargados con surcos pronunciados y semillas blancas. A esta variedad se le conoce como cacao criollo.
- *T. Cacao* ssp. *Sphaerocarpum*: Este cacao, presenta frutos redondeados con surcos escasamente evidentes y las semillas son de color púrpura. A esta variedad se le conoce como cacao Forastero.



Figura 2. Aspecto interno de un fruto de cacao con características del tipo criollo. En “GUÍA AMBIENTAL PARA EL CULTIVO DEL CACAO” (p.24), por F. Rojas y E. Sacristán, 2013. Recuperado de:

https://www.fedecacao.com.co/site/images/recourses/pub_doctecnicos/fedecacao-pub-doc_05B.pdf

El cruzamiento artificial de estos dos tipos de cacao dio origen a un tercer tipo denominado *cacao trinitario* el cual se caracteriza por una amplia variabilidad de formas, tamaños y comportamiento. El denominado *cacao común* o *cacao híbrido* es el proveniente de las hibridaciones naturales. El *cacao clonado* es aquel cacao seleccionado por entidades como Fedecacao, debido a sus características sobresalientes, el cual se ha venido propagando y popularizando a través de la injertación (Rojas y Sacristán, 2013).

4.2. Moniliasis del cacao (*Moniliophthora roreri*)

La moniliasis del cacao es producida por el hongo *Moniliophthora roreri*, el cual ataca directamente los frutos de cacao en cualquiera de sus estados, desde su formación hasta su maduración. De acuerdo con el ICA (2012), en las regiones de Colombia donde se desarrolla el cultivo de cacao, se presentan las condiciones adecuadas para que el hongo realice su ciclo de vida; adicionalmente, durante todo el año se presentan precipitaciones, lo cual, genera las condiciones ambientales necesarias para que el desarrollo hongo, por lo cual, es importante realizar rondas fitosanitarias constantemente durante con el fin de evitar daños y pérdidas en la productividad. En zonas donde se presentan altos niveles de humedad, se pueden presentar pérdidas de hasta el 80% de la cosecha.

4.2.1. Síntomas y signos de la Moniliasis: En frutos jóvenes (menos de 90 días), se evidencian deformaciones o abultamientos sobre la superficie del fruto; posteriormente se presenta un manchado negro que recubre la totalidad del fruto.

En mazorcas de más de 90 días, se pueden presentar puntos aceitosos, seguidos de un manchado color café de forma irregular, es decir, sin unos límites definidos. Con el transcurrir de los días, se forma un polvillo de color blanco grisáceo, el cual, presenta esporas maduras para la propagación de la enfermedad.



Figura 3. Evolución de síntomas de la moniliasis (A) frutos jóvenes con protuberancias o gibas; (B) y (D) síntomas de puntos aceitosos; (C) y (E) configuración de mancha; (F) crecimiento del área necrosada o mancha. En “Manejo de las enfermedades del cacao (*Theobroma cacao* L) en Colombia, con énfasis en monilia (*Moniliophthora roreri*)” (p.47), por Y. Jaimes y F. Aranzazu, 2010. Recuperado de:

http://www.fedecacao.com.co/site/images/recourses/pub_doctecnicos/fedecacao-pub-doc_04A.pdf

4.3. Mazorca negra o fitóptora (*Phytophthora sp*)

Es una enfermedad causada por el hongo *Phytophthora sp*, el cual se encuentra distribuido en todo el mundo como un hospedero natural del suelo, especialmente en la materia orgánica en descomposición. Las altas condiciones de humedad relativa en el cultivo favorecen el desarrollo del hongo. Puede atacar diferentes tipos de cultivos, entre ellos, el cacao. Puede afectar no solo los frutos, sino también raíces, hojas, tallos y ramas. De acuerdo al ICA (2012), se han reportado diversas especies del patógeno en cacao tales *P. palmivora*, *P. megakarya*, *P. capsici*, *P. citrophthora*, *P. nicotianae* var. *Parasitica*, *P. megasperma* y *P. arecae*.

4.3.1. Síntomas de la Mazorca negra: Uno de los síntomas iniciales es la formación de una mancha descolorida sobre la superficie de la mazorca, sobre la cual, posteriormente, se desarrolla una mancha de color negro o café, que a diferencia de la monilia, presenta mayor homogeneidad. Principalmente, el machado del fruto se puede dar en los extremos o en la parte central del fruto; las lesiones van creciendo de afuera hacia la parte interna del fruto, donde el daño se manifiesta a través de una pudrición acuosa.

Según Jaimes y Aranzazu (2010), cuando la enfermedad ya ha avanzado, la mazorca se vuelve totalmente negra y el patógeno aparece sobre la superficie de la mazorca como una pelusa blanquecina, sobre la que se forma la masa de esporas. Algunas especies del hongo, como *P. palmivora* pueden provocar el marchitamiento de frutos recién formados, así como de mazorcas jóvenes.



Figura 4. Síntomas de mazorca negra: (A) y (B) mancha chocolate; (C) pudrición del tejido interno y (D) pelusa blanquecina. En “Manejo de las enfermedades del cacao (*Theobroma cacao* L) en Colombia, con énfasis en monilia (*Moniliophthora roreri*)” (p.47), por Y. Jaimes y F. Aranzazu, 2010. Recuperado de:

http://www.fedecacao.com.co/site/images/recourses/pub_doctecnicos/fedecacao-pub-doc_04A.pdf

4.4. Escoba de Bruja (*Moniliophthora perniciosa*)

La Escoba de Bruja es una de las principales enfermedades que ataca el cultivo de cacao. Su agente causal es el hongo *Moniliophthora perniciosa*, el cual, ataca principalmente los tejidos en crecimiento de la planta (ICA, 2012).

4.4.1. Síntomas de la Escoba de Bruja: Debido a que el hongo ataca tejidos en crecimiento, los síntomas de la enfermedad se pueden manifestar de diversas formas. Por una parte, cuando el hongo infecta ramas y brotes vegetativos, se manifiesta a través de una hinchazón en la parte afectada, acompañada de la proliferación de pequeños brotes vegetativos con crecimiento irregular y descontrolado, donde se forman las hojas con apariencia de una escoba de bruja.

Según el ICA (2012), las escobas de bruja presentes en ramas son las más importantes, pues constituyen la mayor fuente de diseminación de la enfermedad. En el caso de que el hongo haya afectado brotes florales, la infección se evidencia a través de la formación de brotes vegetativos con crecimiento irregular. En el caso de atacar frutos en formación, estos manifiestan deformaciones y pueden tomar forma de chirimoyas, fresas o zanahorias.

Cuando no se realiza un control de la enfermedad, esta puede avanzar a un estado de mayor virulencia, generando estructuras reproductivas, con forma de pequeños paraguas, que producen millones de esporas, las cuales se dispersan a través de las corrientes de aire y de las lluvias (Rojas y Sancristán, 2013).



Figura 5. Síntomas de la Escoba de Bruja: (A) en brotes vegetativos y (B) en frutos. En “Manejo fitosanitario del cultivo cacao (*Theobroma cacao* L) - Medidas para la temporada invernal” (p.9), por ICA, 2010. Recuperado de: <http://www.ica.gov.co/getattachment/c01fa43b-cf48-497a-aa7f-51e6da3f7e96/-nbsp;M;anejo-fitosanitario-del-cultivo-de-Cacao.aspx>

4.5. Ataques de fauna en sistemas de producción cacaoteros.

La biodiversidad animal puede constituir una amenaza importante para el sector cacaotero, particularmente, cuando se introduce este cultivo por primera vez, o cerca a zonas de reserva biológica donde la población de animales es mucho mayor. El ataque por parte de la fauna sobre un sistema de producción agrícola es inevitable, especialmente, cuando se introduce un cultivo de buen sabor para las especies de mamíferos y aves. El problema radica cuando las poblaciones animales son tan grandes que pueden constituir una plaga para el cultivo, ocasionando grandes pérdidas económicas.

Las pérdidas ocasionadas por la fauna pueden ser directas, y en el caso del cacao, se presentan mediante la destrucción real del alimento por consumo o por contaminación (Elias y Valencia, 1984). Algunos mamíferos como el ñeque, los monos y las ardillas constituyen una molestia constante para el cacao. Urquhart (1963) reporta que durante épocas de sequías prolongadas, se puede ver un incremento en los ataques de fauna sobre los cultivos de cacao, especialmente por parte de mamíferos.

Por otra parte, las aves también pueden constituir un factor limitante en la producción de cacao. Urquhart (1963) afirma que aves como el carpintero, cuando existen grandes poblaciones, pueden incidir de manera negativa sobre la cosecha debido al picoteo de frutos maduros; del mismo modo, las loras pueden generar graves daños sobre el cultivo. El efecto de las aves sobre los frutos, muchas veces es propiciar heridas, haciendo vulnerables a las mazorcas a ser contaminadas por agentes fitopatógenos como hongos.

4.6. Componentes Principales¹

A finales del siglo XIX, estas técnicas fueron inicialmente desarrolladas por *Pearson* y posteriormente estudiadas por *Hotelling* en la década de los 30's. Sin embargo, se empezaron a popularizar tras la aparición de los computadores.

El objetivo del análisis de componentes principales (ACP) es transformar un conjunto original de variables (p) en otro conjunto de nuevas variables no correlacionadas entre sí denominadas componentes principales (m). Las nuevas variables son combinaciones lineales de las anteriores y se van construyendo según el orden de importancia de acuerdo a la variabilidad total que recogen de la muestra.

Otro de los objetivos del ACP es encontrar el menor número de componentes que expliquen la mayor variabilidad de los datos, de tal forma que $m < p$. Si las variables originales presentan una correlación nula, no tiene sentido realizar un análisis de componentes principales.

El análisis de componentes principales es una técnica matemática que no requiere la suposición de normalidad multivariante de los datos, aunque si esto último se cumple se puede dar una interpretación más profunda de dichos componentes.

¹ El capítulo 4.6 es una adaptación propia basada en Marin (2007).

4.6.1. Cálculo de los Componentes Principales: Teniendo en cuenta un conjunto de variables (x_1, x_2, \dots, x_p) sobre un grupo de individuos, se trata de calcular, a partir de ellas, un nuevo conjunto de variables y_1, y_2, \dots, y_p , no correlacionadas entre sí, cuyas varianzas vayan decreciendo de forma gradual.

Cada nueva variable obtenida y_j (donde $j = 1, \dots, p$) es el resultado de una combinación lineal de las variables originales (x_1, x_2, \dots, x_p), es decir:

$$y_i = a_{j1}x_1 + a_{j2}x_2 + \dots + a_{jp}x_p$$

$$y_i = \mathbf{a}'_j \mathbf{X}$$

siendo $\mathbf{a}'_j = (a_{1j}, a_{2j}, \dots, a_{pj})$ un vector fila de constantes, y $\mathbf{X} = \begin{bmatrix} x_1 \\ \vdots \\ x_p \end{bmatrix}$ un vector columna.

Con el objetivo es maximizar la varianza, se debe aumentar los coeficientes a_{ij} manteniendo la ortogonalidad de la transformación, por lo que es necesario imponer que el módulo del vector $\mathbf{a}'_j = (a_{1j}, a_{2j}, \dots, a_{pj})$ sea 1.

Es decir,

$$\mathbf{a}'_j \mathbf{a}_j = \sum_{k=1}^p a_{kj}^2 = 1$$

El primer componente se calcula eligiendo a_i de modo que y_1 tenga la mayor varianza posible, sujeta a la restricción de que $\mathbf{a}'_j \mathbf{a}_j = 1$. Así mismo, el segundo componente principal se calcula obteniendo a_2 de modo que la variable obtenida y_2 no esté correlacionada con y_1 , del mismo modo que la varianza de y_1 sea mayor a la de y_2 . Así sucesivamente, se eligen y_1, y_2, \dots, y_p , no correlacionadas entre sí, de manera que las variables aleatorias obtenidas vayan teniendo cada vez menor varianza de tal forma que:

$$Var(y_1) > Var(y_2) > \dots > Var(y_p)$$

4.6.2. Proceso de extracción de los componentes: Para la variable y_1 se busca elegir a_1 de tal forma que se maximice su varianza sujeta a la restricción de que $a_1' a_1 = 1$

$$\text{Var}(y_1) = \text{Var}(a_1' X) = a_1' \Sigma a_1$$

El método de los *multiplicadores de Lagrange* es el método utilizado habitualmente para maximizar una función de varias variables sujeta a restricciones.

Uno de los problemas consiste en maximizar la función $a_1' \Sigma a_1$ sujeta a la restricción $a_1' a_1 = 1$.

Posteriormente, se debe construir una función L de a_1 , de tal forma que se pueda obtener un vector para a_1 , el cual sea una combinación lineal óptima:

$$L(a_1) = a_1' \Sigma a_1 - \lambda(a_1' a_1 - 1)$$

Del mismo modo se busca el valor máximo, derivando e igualando a 0:

$$\frac{\partial L}{\partial a_1} = 2\Sigma a_1 - 2\lambda a_1 = 0 \Rightarrow (\Sigma - \lambda I) a_1 = 0$$

Con esto, se obtiene un sistema lineal de ecuaciones, y utilizando el *teorema de Roché-Frobenius*, para que el sistema tenga una solución distinta de 0 la matriz $(\Sigma - \lambda I)$ tiene que ser singular. Esto implica que el determinante debe ser igual a cero:

$$|\Sigma - \lambda I| = 0$$

De esta forma, cada λ es un autovalor de Σ . La matriz de covarianzas Σ es de orden p y si además es definida positiva, tendrá p autovalores distintos, $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_p$ tales que, por ejemplo, $\lambda_1 > \lambda_2 > \dots > \lambda_p$. Se tiene que, desarrollando la expresión anterior,

$$(\Sigma - \lambda I) a_1 = 0$$

$$\Sigma a_1 - \lambda a_1 = 0$$

$$\Sigma a_1 = \lambda a_1$$

Por lo tanto,

$$\text{Var}(y_1) = \text{Var}(a_1' X) = a_1' \Sigma a_1 = a_1' \lambda a_1 = \lambda a_1' a_1 \Rightarrow \lambda \cdot 1 = \lambda$$

Para poder maximizar la varianza de y_1 se tiene que tomar el mayor autovalor, digamos λ_1 , y el correspondiente autovector a_1 . Teniendo en cuenta que a_1 es un vector que da la combinación de las variables originales que tiene mayor varianza, esto es, si $a_1' = (a_{11}, a_{12}, \dots, a_{1p})$, entonces

$$y_1 = a_1' X = a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \dots + a_{1p}x_p$$

El segundo componente principal, digamos $y_2 = a_2' X$, se obtiene mediante un argumento parecido. Además, se quiere que y_2 no esté relacionado con el anterior componente y_1 , es decir, $\text{Cov}(y_2, y_1) = 0$. Por lo tanto:

$$\text{Cov}(y_2, y_1) = \text{Cov}(a_2' X, a_1' X)$$

$$\text{Cov}(y_2, y_1) = a_2' \cdot E[(x - \mu)(x - \mu)'] \cdot a_1$$

$$\text{Cov}(y_2, y_1) = a_2' \cdot \Sigma a_1$$

Teniendo en cuenta que lo anterior, $a_2' \Sigma a_1 = 0$ y sabiendo que $\Sigma a_1 = \lambda a_1$, se procede a realizar una sustitución en la formula obteniéndose que:

$$a_2' \cdot \Sigma a_1 = a_2' \lambda a_1 = \lambda a_2' a_1 = 0$$

Esto equivale a que $a_2' a_1 = 0$, es decir, que los vectores sean ortogonales. De este modo, tendremos que maximizar la varianza de y_2 , es decir, $a_2' \Sigma a_2$ sujeta a las siguientes restricciones:

$$a_2' a_2 = 1$$

$$a_2' a_1 = 0$$

Se toma la función L de a_2 , de tal forma que se pueda obtener un vector para a_2 , el cual sea una combinación lineal óptima:

$$L(a_2) = a_2' \Sigma a_2 - \lambda(a_2' a_2 - 1) - \delta a_2' a_1$$

Del mismo modo se busca el valor máximo, derivando e igualando a 0 la función:

$$\frac{\partial L(\mathbf{a}_2)}{\partial \mathbf{a}_2} = 2\Sigma\mathbf{a}_2 - 2\lambda\mathbf{a}_2 - \delta\mathbf{a}_1 = \mathbf{0}$$

Teniendo en cuenta que $\mathbf{a}'_1\mathbf{a}_2 = 0$ y que $\mathbf{a}'_1\mathbf{a}_1 = 1$, y que $\text{Cov}(y_2, y_1) = 0$, el resultado obtenido de la derivación se multiplica por \mathbf{a}'_1 , se obtiene que:

$$2\mathbf{a}'_1\Sigma\mathbf{a}_2 - \delta = \mathbf{0} \Rightarrow \delta = 2\mathbf{a}'_1\Sigma\mathbf{a}_2 = \mathbf{a}'_2\Sigma\mathbf{a}_1 = \mathbf{0}$$

De este modo:

$$\frac{\partial L(\mathbf{a}_2)}{\partial \mathbf{a}_2} = 2\Sigma\mathbf{a}_2 - 2\lambda\mathbf{a}_2 - \delta\mathbf{a}_1 = 2\Sigma\mathbf{a}_2 - 2\lambda\mathbf{a}_2 \Rightarrow (\Sigma - \lambda I)\mathbf{a}_2 = \mathbf{0}$$

Utilizando los mismos criterios, se elige el λ como el segundo mayor autovalor de la matriz Σ con su autovector asociado \mathbf{a}_2 . Los razonamientos anteriores se pueden extender, de modo que al j -ésimo componente le correspondería el j -ésimo autovalor. Entonces todos los componentes y (en total p) se pueden expresar como el producto de una matriz A formada por los autovectores, multiplicada por el vector X que contiene las variables originales x_1, \dots, x_p

$$\mathbf{y} = A\mathbf{X}$$

Donde:

$$\mathbf{y} = \begin{pmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \vdots \\ y_p \end{pmatrix}, \quad A = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1p} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2p} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{p1} & a_{p2} & \dots & a_{pp} \end{pmatrix}, \quad \mathbf{x} = \begin{pmatrix} x_1 \\ y_2 \\ \vdots \\ y_p \end{pmatrix}$$

Como:

$$\text{Var}(y_1) = \lambda_1$$

$$\text{Var}(y_2) = \lambda_2$$

...

$$\text{Var}(y_p) = \lambda_p$$

Teniendo en cuenta que y_1, y_2, \dots, y_p no están correlacionadas entre sí, la matriz de covarianzas de y será:

$$\Lambda = \begin{pmatrix} \lambda_1 & \mathbf{0} & \dots & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & \lambda_2 & \dots & \mathbf{0} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \mathbf{0} & \mathbf{0} & \dots & \lambda_p \end{pmatrix}$$

Siendo la matriz A formada por los autovectores, una matriz ortogonal (porque $a_i' a_i = 1$ para todas sus columnas) se tiene que:

$$\Lambda = \text{Var}(Y) = A' \text{Var}(X) A = A' \Sigma A \Rightarrow \Sigma = A \Lambda A'$$

Por lo tanto, $AA' = I$

4.6.3. Porcentajes de variabilidad: Teniendo en cuenta que el autovalor corresponde a la varianza del componente y_i definido por medio del autovector a_i , se puede establecer que $\text{Var}(y_i) = \lambda_i$.

Al sumar todos los autovalores, y teniendo en cuenta que la matriz Λ es diagonal, se obtiene lo siguiente:

$$\sum_{i=1}^p \text{Var}(y_i) = \sum_{i=1}^p \lambda_i = \text{traza}(\Lambda)$$

Considerando las propiedades del operador traza, se tiene que:

$$\text{traza}(\Lambda) = \text{traza}(A' \Sigma A) = \text{traza}(\Sigma A' A) = \text{traza}(\Sigma),$$

Como $AA' = I$ al ser A ortogonal, con lo cual

$$\text{traza}(\Lambda) = \text{traza}(\Sigma) = \sum_{i=1}^p \text{Var}(x_i)$$

Por lo tanto, la suma de las varianzas de las variables originales es igual a la suma de las varianzas de los componentes. Con esto, se puede establecer un porcentaje de varianza total que acumula un componente principal:

$$\frac{\lambda_i}{\sum_{i=1}^p \lambda_i} = \frac{\lambda_i}{\sum_{i=1}^p \text{Var}(x_i)}$$

Al multiplicar el valor obtenido por 100, se obtiene el porcentaje (%).

Del mismo modo, el porcentaje de variabilidad recogido por los primeros m componentes:

$$\frac{\sum_{i=1}^m \lambda_i}{\sum_{i=1}^p \text{Var}(x_i)}$$

donde $m < p$.

Habitualmente, al tener en principio p variables, nos quedaremos con un número mucho menor de componentes que recoja un porcentaje amplio de la variabilidad total. Es recomendable no escoger más de tres componentes principales, con el objetivo de representarlos gráficamente

4.6.4. Cálculo de los componentes principales a partir de la matriz de correlaciones:

Normalmente, los componentes se calculan a partir de las variables originales estandarizadas, es decir, variables con media 0 y varianza 1. Esto equivale a tomar los componentes principales, no de la matriz de covarianzas sino de la matriz de correlaciones. De esta forma, las covarianzas coinciden con las correlaciones en las variables estandarizadas.

De esta forma, los componentes son los autovectores de la matriz de correlaciones y son distintos de los de la matriz de covarianzas. De esta forma, se da igual importancia a todas las variables originales. En la matriz de correlaciones todos los elementos de la diagonal son iguales a 1. Si las variables originales están tipificadas, esto implica que su matriz de covarianzas es igual a la de correlaciones, con lo que la variabilidad total es igual al número total de variables que hay en la muestra. La suma total de todos los autovalores es p y la proporción de varianza recogida por el autovector j -ésimo viene dada por

$$\frac{\lambda_j}{p}$$

5. Metodología

5.1. Tipo de investigación.

La investigación es de tipo descriptiva, pues busca representar el comportamiento de las variables fitopatológicas en las parcelas de cacao híbrido seleccionadas en el proyecto de monitoreo agroclimático en la zona de influencia antes y después del llenado del embalse Topocoro.

5.2. Población y muestra

La población corresponde a las parcelas de cacao híbrido presentes en la zona de influencia del embalse Topocoro en los municipios de San Vicente de Chucuri, Zapatoca y Betulia.

Dentro del proyecto de monitoreo agroclimático, se cuenta con diez (10) parcelas de cacao híbrido, distribuidas en la zona de influencia del embalse Topocoro en los municipios de San Vicente de Chucuri, Zapatoca y Betulia. Estas parcelas se tomarán como la muestra para este estudio.

5.3. Variables

Las variables en estudio corresponden a las principales enfermedades y plagas que afectan directamente la productividad en los sistemas de cacao híbrido en la zona de influencia del embalse Topocoro. La matriz de datos cuenta con información de diez (10) parcelas de monitoreo durante diez (10) semestres comprendidos entre el 2012 y 2016, por lo que cada variable, posee cien (100) datos. Cabe resaltar, que la información es recolectada en 20 árboles marcados y distribuidos en media hectárea en forma de ele (L) en cada una de las parcelas monitoreadas. Del mismo modo, cabe destacar que, aunque la información se recolecta mensualmente, debido a las dinámicas bimodales del ciclo productivo del cacao, se optó por trabajar con información semestral.

A continuación, se describen cada una de las variables en estudio y sus respectivas abreviaturas:

- **Mazorcas con monilia (MM):** Corresponde a la suma total de mazorcas con monilia presentes en la parcela durante el semestre. Esta enfermedad es causada por el hongo *Moniliophthora roreri*, el cual, es el principal agente causal de pérdidas en el cultivo de cacao.
- **Mazorcas con fitóptora (MF):** Corresponde a la suma total de mazorcas con fitóptora presentes en la parcela durante el semestre. Esta enfermedad es causada por el hongo *Phytophthora spp.*
- **Escoba de bruja (EB):** Corresponde al promedio semestral de árboles con presencia de escoba de bruja en sus diferentes manifestaciones: ramas, frutos chirimoyas y sombrillas. Esta enfermedad es causada por el hongo *Moniliophthora perniciosa*.

- **Mazorcas atacadas por aves (AV):** Corresponde a la suma total de mazorcas afectadas por aves durante el semestre. Se evidencia generalmente afecciones ocasionadas por el picoteo en los frutos por parte de aves como el carpintero, así como raspados de frutos por parte de loros y churicas.
- **Mazorcas atacadas por mamíferos (RO):** Corresponde a la suma total de mazorcas afectadas por mamíferos durante el semestre. Se evidencia con frutos mordidos especialmente por ardillas y ñeques.

Adicionalmente se tendrá una variable ilustrativa denominada periodo, la cual, es una variable cualitativa nominal con dos posibles valores:

- **Antes:** Corresponde a la información recolectada desde el primer semestre de 2012 hasta el segundo semestre de 2014. Este valor hace referencia al periodo antes del llenado del embalse.
- **Después:** Corresponde a la información recolectada desde el primer semestre de 2015 hasta el segundo semestre de 2016. Este valor hace referencia al periodo posterior al llenado del espejo de agua.

La variable periodo permitirá categorizar los casos en el plano de componentes principales y del mismo modo, ayudará a comparar los dos periodos en estudio.

5.4. Fases de la investigación

5.4.1. Organización de la información: Antes de iniciar con los análisis previos, se procederá a organizar la información fitopatológica de las diez parcelas de cacao híbrido en estudio. Para esto, se tendrán en cuenta las variables fitopatológicas recolectadas por el equipo técnico del proyecto de monitoreo agroclimático en las parcelas de cacao híbrido. Del mismo modo se seleccionarán algunas variables categóricas para facilitar el análisis de la información, tales como el número de la parcela, el semestre y el periodo.

5.4.2. Análisis preliminar de la información mediante estadísticos descriptivos: Con el fin de describir las características básicas de las variables en estudio, se llevará a cabo un análisis de la información utilizando estadísticos descriptivos de tendencia central, de dispersión y de forma. Los cálculos se realizarán utilizando la interfaz RWizard Software (Guisande *et al*, 2014).

5.4.3. Análisis gráfico preliminar: Del mismo modo, se elaborarán gráficos básicos como histogramas y gráficos de cajas con el fin de visualizar el comportamiento general de las variables en estudio. Los gráficos se desarrollarán utilizando la interfaz RWizard Software (Guisande *et al*, 2014).

5.4.4. Análisis de componentes principales (ACP): Se efectuará un análisis de componentes principales (ACP) con la información fitopatológica semestral de las diez parcelas de cacao híbrido. Inicialmente, se procederá a hacer una interpretación de la matriz de correlaciones. Posteriormente, se realizará un análisis de los componentes más importantes.

El análisis gráfico, se desarrollará de dos formas: primero, categorizando los datos por parcelas, y segundo, categorizando los datos por el periodo. Los análisis y los gráficos se obtendrán mediante la interfaz RWizard Software (Guisande *et al*, 2014). Teniendo en cuenta los resultados obtenidos, se definirán características ecológicas y biofísicas relacionados con las dinámicas fitosanitarias en cada una de las parcelas monitoreadas.

6. Resultados y discusiones

6.1. Organización de la información.

Se organizó la información fitopatológica de las diez parcelas de cacao híbrido en estudio. Esta información procede de registros mensuales desde enero de 2012 hasta diciembre de 2016. Teniendo como base la información fitopatológica mensual recolectada por el equipo técnico del proyecto de monitoreo agroclimático, se optó por trabajar con información semestral teniendo en cuenta los dos picos de cosecha anuales del cacao. Para el caso de las mazorcas con monilia (MM), mazorcas con fitóptora (MF), mazorcas afectadas por aves (AV) y mazorcas afectadas por mamíferos (RO), la información del primer semestre, corresponde a la sumatoria de los registros mensuales del periodo enero-junio de cada año, mientras que la información del segundo semestre, corresponde a la sumatoria de los registros mensuales del periodo julio-diciembre. Para el caso de la escoba de bruja (EB), se trabajó con el promedio semestral de árboles afectados por esta enfermedad. Del mismo modo, se agregó una columna adicional, especificando el periodo antes (A) o después (D) del llenado del embalse con el objetivo de categorizar los datos.

6.2. Estadística Descriptiva de la información fitopatológica en cacao híbrido

Tabla 1.

Estadísticos descriptivos para variables fitopatológicas en cacao híbrido.

Variabes	MM	MF	EB	AV	RO
N	100	100	100	100	100
Mínimo	0	0	0	0	0
Máximo	654	33	20	35	18
Suma	3278	581	202	369	175
Media	32,78	5,81	2,02	3,69	1,75
Media acotada al 5%	20,1556	5,0556	1,5222	2,7	1,2889
Moda	0	2	1	0	0
Tipo de moda	Moda única	Moda única	Moda única	Moda única	Moda única

Mediana	10,5	3	1	1	1
Amplitud	654	33	20	35	18
Varianza	5900,5916	44,3139	10,1196	38,1339	8,2275
Desviación Estándar	76,8153	6,6569	3,1811	6,1753	2,8684
Error. Estándar	7,7202	0,6690	0,3197	0,6206	0,2882
CV	235,5164	115,1533	158,2751	168,1944	164,7321
Asimetría	5,8573	1,81277	3,1068	2,7034	2,9776
Curtosis	40,9673	2,9839	11,1154	7,9902	11,1079

En la tabla 1 se presentan los estadísticos descriptivos básicos para las cinco variables fitopatológicas en estudio. Para las mazorcas con monilia, durante los diez semestres monitoreados, la media ha sido de casi 33 mazorcas afectadas por esta enfermedad, siendo esta, la de mayor limitación para el cultivo del cacao. Del mismo modo, las mazorcas con fitóptora, presentó una media de aproximadamente 6 mazorcas afectadas semestralmente en las parcelas en estudio, siendo la segunda enfermedad de mayor importancia sobre el cultivo. En cuanto a los ataques por fauna, el promedio de registros semestrales en las parcelas evidenció que el ataque por aves es casi el doble en comparación a los ataques por parte de mamíferos. En lo que respecta a la presencia de escoba de bruja en los cultivos, en promedio, semestralmente solo se presentan 2 de 20 árboles afectados por esta enfermedad, siendo de baja incidencia en la zona. Con relación a los ataques por aves y mamíferos semestralmente, en promedio se ha mantenido bajo en las parcelas de cacao híbrido, sin llegar a representar una causa de pérdidas considerables en los cultivos.

En cuanto a la desviación estándar de los datos, se evidenció que las mazorcas con monilia es la variable que presenta el valor más alto (76,8), debido a la gran dispersión que presentan los datos, especialmente, por los registros del 2012, donde la incidencia de la enfermedad fue muy alta, debido a las fuertes precipitaciones presentadas durante este año, dándose las condiciones medio ambientales óptimas para el desarrollo y proliferación del fitopatógeno.

Sin embargo, al observar el coeficiente de variación, se puede ver que todas las variables presentan un alto valor, especialmente, las mazorcas con monilia (MM). Esta fuerte variación, se debe a la fuerte dispersión que poseen los datos en las diferentes parcelas. En la figura 6 se presentan los histogramas para las cinco variables en estudio. Para el caso de variables como mazorcas con monilia (MM), mazorcas con fitóptora (MF) y escoba de bruja (EB), los datos se concentran especialmente a la izquierda del histograma, del mismo modo se evidencia que existen datos extremos que sesgan la información a la derecha. Este comportamiento de datos extremos se debe a dos factores especialmente: en primera instancia, como se dijo anteriormente, durante el 2012, las fuertes precipitaciones elevaron los niveles de monilia en las diferentes parcelas; y en segunda instancia, existen parcelas donde el control fitosanitario no es el adecuado, propiciando la diseminación de enfermedades.

Para lo relacionado a las mazorcas afectadas por aves (AV) y mamíferos (RO), también se evidencia el mismo comportamiento, de un sesgo hacia la derecha, comportamiento que se da especialmente, por el registro considerable de ataques de fauna en algunas parcelas cercanas a zonas de reservas y bosques.

De manera general, se puede decir que el comportamiento de las parcelas en el componente fitopatológico, es similar entre la mayoría de las parcelas. Sin embargo, el comportamiento de cada parcela es particular, y algunas de ellas evidencian una mayor susceptibilidad al ataque de fitopatógenos, así como por parte de la fauna circundante. Es por eso que se hace necesario abordar el análisis particular, es decir, para cada una de las parcelas en estudio.

Finalmente, tanto los valores de curtosis y asimetría como los histogramas evidencian que los datos presentan un fuerte sesgo hacia la derecha, lo cual es evidencia de la falta de normalidad. Sin embargo, la falta de normalidad no es un obstáculo para el desarrollo del trabajo, debido a que el análisis de componentes principales es una técnica matemática que no requiere la suposición de normalidad (Peña, 2002).

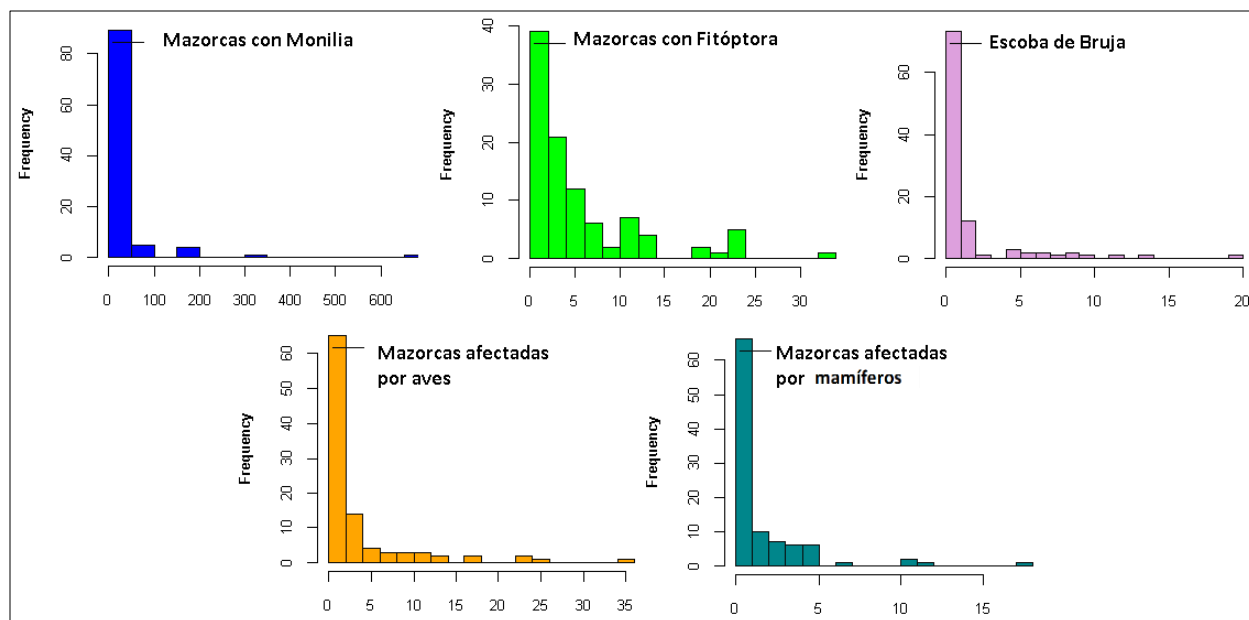


Figura 6. Histogramas para variables fitopatológicas en cacao híbrido.

6.3. Gráficos de caja de la información fitopatológica en cacao híbrido por parcela.

Al hacer un análisis exploratorio más detallado de las variables y ver el comportamiento individual de cada una de las parcelas, se evidenció que para el caso de las mazorcas con monilia, en términos generales, la mayoría de las parcelas se ha mantenido por debajo del promedio general que es de aproximadamente 33 mazorcas. La parcela 12, evidenció los mayores registros de esta enfermedad, arrojando outliers por encima de las 300 mazorcas afectadas por esta enfermedad. Parcelas como la 9 y la 21, han evidenciado tener una considerable incidencia de esta enfermedad en comparación con las demás.

En relación a las mazorcas afectadas por fitóptora, la mayoría de parcelas tienen su media cercana al valor general que es de 6 mazorcas afectadas por esta enfermedad. Sin embargo, parcelas como la 19 y la 21, han presentado mayores ataques por parte de este patógeno. Cabe resaltar que, en más de la mitad de las parcelas evaluadas, existen registros extremos, lo cual indica que durante el monitoreo, ha habido semestres donde las parcelas han evidenciado altos niveles de incidencia de fitóptora.

La escoba de bruja por su parte, es una enfermedad que se ha presentado con mayor fuerza en la parcela 1, y durante algunos semestres, también en la parcela 12. No obstante, cabe resaltar que, aunque esta enfermedad no es la mayor limitante para el cacao, si es un indicador de un bajo control fitosanitario.

Los ataques por aves en los sistemas de producción de cacao híbrido, han evidenciado una baja incidencia, manteniéndose en promedio en la mayoría de las parcelas por debajo de la media general. No obstante, la parcela 19 evidencia un ataque considerable de aves, en comparación con las demás parcelas en estudio.

Finalmente, los ataques por mamíferos, aunque en su mayoría se han mantenido sobre el promedio general, existen casos específicos como en la parcela 14 y la parcela 20, donde los registros de ataques por parte de este tipo de fauna, son más altos en relación a los registros de las demás parcelas.

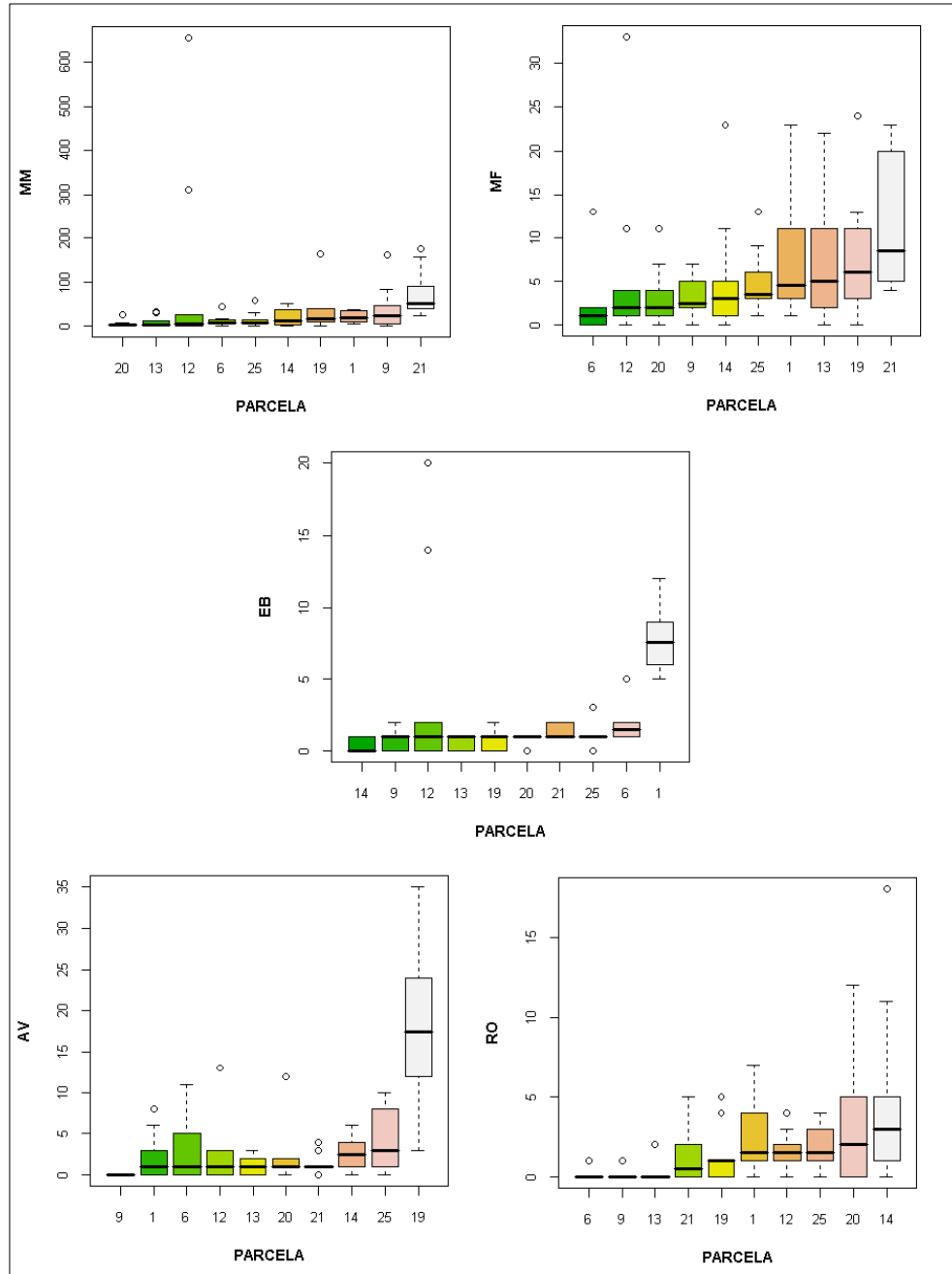


Figura 7. Boxplots para variables fitopatológicas en cacao híbrido en las 10 parcelas monitoreadas.

6.4. Gráficos de caja de la información fitopatológica en cacao híbrido por periodo.

El análisis de la información teniendo en cuenta el periodo (Antes y Después del llenado del embalse), resulta ser importante, pues permite establecer que la tendencia de las variables tras el llenado del espejo de agua.

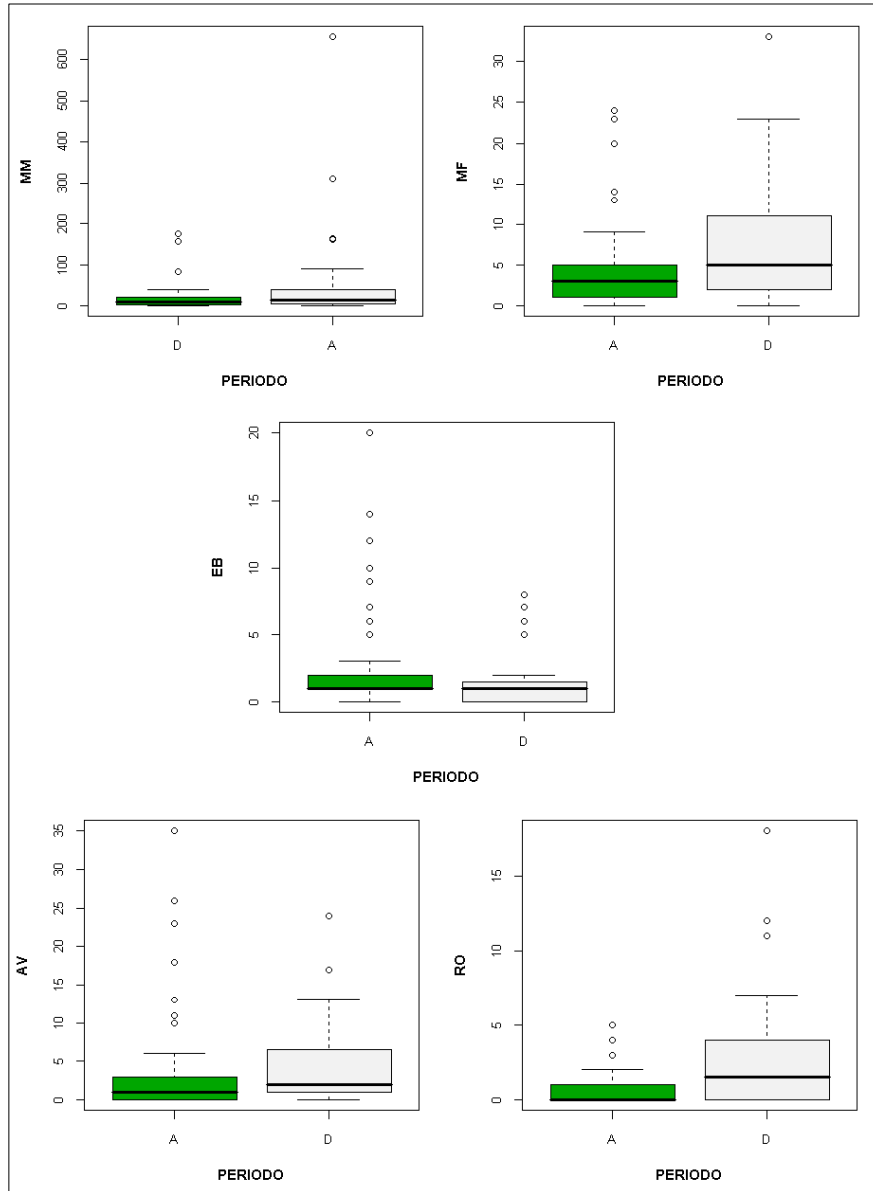


Figura 8. Boxplots para variables fitopatológicas en cacao híbrido antes (A) y después (D) del llenado del embalse.

En la figura 8, se presentan los gráficos de caja para las cinco variables en estudio antes (A) y después (D) del llenado de la represa. Por una parte, se evidencia que enfermedades como monilia y escoba de bruja han disminuido su incidencia. Sin embargo, en relación a las mazorcas afectadas por fitóptora y atacadas por fauna, se ha evidenciado un ligero aumento.

No obstante, es importante determinar si el comportamiento es general, o si es específico para algunas parcelas, pues como se evidencio en el numeral anterior (Ver sección 6.3), existen parcelas con mayor susceptibilidad al ataque de algunos fitopatógenos, así como al ataque de especies de aves y mamíferos.

6.4. Análisis de componente principales (ACP)

Como paso inicial, se realizó la matriz de correlación de las variables fitopatológicas (Tabla 2). Teniendo en cuenta la interpretación del coeficiente de correlación (Ver Apéndice 1), el número de mazorcas con monilia (MM) tiene una relación positiva moderada con el número de árboles afectados por escoba de bruja (EB). Esto puede ser debido a la estrecha relación genética existente entre los hongos causantes de estas enfermedades, pues ambas pertenecen al género *Moniliophthora*. Por otra parte, se puede destacar la relación entre mazorcas afectadas por mamíferos y mazorcas con fitóptora, la cual fue baja y positiva. En cuanto al grado de las demás correlaciones, fue muy baja entre las demás variables.

Tabla 2.

Matriz de correlación de las variables fitopatológicas.

	MM	MF	EB	AV	RO
MM	*****	0.053	0.548	-0.109	-0.081
MF		*****	0.049	0.056	0.263
EB			*****	-0.162	-0.078
AV				*****	0.144
RO					*****

De acuerdo a Peña (2002), si las variables originales presentan una correlación nula de partida, entonces no se recomienda realizar un análisis de componentes principales. Cabe resaltar que, aunque las correlaciones en su mayoría fueron bajas, en ningún caso, fue nula.

Teniendo en cuenta los valores obtenidos en la matriz de correlaciones, se realizó la prueba de Kaiser-Meyer-Olkin (KMO). La prueba de KMO relaciona los coeficientes de correlación observados entre las variables; cuanto más cerca de 1 sea el valor del KMO implica que la correlación entre las variables es alta. Para los datos en estudio, el valor KMO fue de 0.5322775, aunque es bajo, se acepta, porque el valor de KMO mínimo es de 0.5.

Con el fin de validar la realización del ACP, se efectuó la prueba de esfericidad de Bartlett. Esta prueba evalúa la aplicabilidad del análisis frente a variables en estudio. El modelo es significativo (aceptamos la hipótesis nula, H_0) cuando se puede aplicar el ACP. En la tabla 3 se presentan los resultados obtenidos para la esta prueba. El valor de p fue de $2.2e^{-16}$, lo cual permitió aceptar la hipótesis nula ($p < 0.05$) y, por ende, poder proseguir con la aplicación del Análisis de Componentes Principales.

Tabla 3.

Prueba de Barlett.

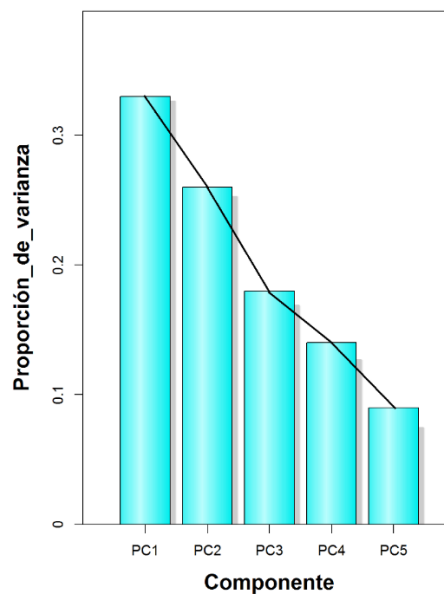
Barlett's K-squared	df	p-value
1470.6	4	$<2.2e^{-16}$

Al realizar el análisis por componentes principales, se evidenció que el primer componente explica sólo el 32,89% de la varianza total. De acuerdo a la tabla 4, con los tres primeros componentes se logró explicar casi el 77% de la varianza total, por lo tanto, estos fueron los seleccionados para el posterior análisis de resultados.

Tabla 4.*Importancia de los componentes.*

Número de componente	Eigenvalor	Porcentaje de Varianza	Porcentaje acumulado
1	1,64472	32,894	32,894
2	1,29348	25,870	58,764
3	0,900573	18,011	76,776
4	0,712173	14,243	91,019
5	0,449051	8,981	100,000

En la figura 9 se presenta la proporción de la varianza de los componentes obtenidos. En el gráfico se puede observar la disminución progresiva del porcentaje de varianza explicado por cada uno de los componentes obtenidos, sin embargo, en el tercer componente se evidencia el quiebre. Por lo tanto, se optó por trabajar con los tres primeros componentes para los análisis de resultados. En el apéndice 3, se encuentra el valor de los pesos de cada una de las observaciones en cada una de las componentes.

**Figura 9.** Proporción de varianza de los componentes.

En la tabla 5, se describen los componentes principales obtenidos en el análisis. En cuanto al primer componente, será denominado “Susceptibilidad a *Moniliophthora - ISM*”, pues entre más negativo mayores niveles de incidencia de enfermedades causadas por los hongos *Moniliophthora roreri* (monilia) y *Moniliophthora perniciosa* (escoba de bruja).

El segundo componente está relacionado con la alta incidencia de fitóptora, así como de ataques por mamíferos. Teniendo en cuenta que las mazorcas bajas son las más afectadas por mamíferos, así como por fitóptora por estar cerca al suelo, este componente podría generar un “Índice de mazorcas bajas- *IMB*”, el cual, entre más positivo sea el valor, mayor susceptibilidad a los ataques por parte del hongo Fitóptora, así como por parte de mamíferos.

Finalmente, el tercer componente, se encuentra fuertemente relacionado con los ataques por aves, por lo podría denominarse “Ornitosusceptibilidad - *IOS*”, entre más negativo sea este valor, significa que existe una mayor susceptibilidad en la parcela a ser atacada por aves.

Tabla 5.

Componentes Principales obtenidos.

	CP1	CP2	CP3	CP4	CP5
MM	-0,63801983	0,20652399	-0,24553653	-0,06133733	0,69730057
MF	0,02587585	0,67943869	0,31644402	0,66143293	-0,00794778
EB	-0,65231204	0,18856237	-0,1413491	-0,10910821	-0,71207377
AV	0,32811867	0,25813597	-0,89311935	0,14835528	-0,07766918
RO	0,2430808	0,62731249	0,1480988	-0,72445174	0,02504375

Inicialmente, se realizó un análisis gráfico utilizando como etiqueta de los valores, el Periodo, variable que también fue usada como variable ilustrativa con el fin de diferenciar la información recolectada antes y después del llenado del embalse a través de un color diferenciador. Para el caso de los datos tomados previos a la presencia del espejo de agua, el Software etiquetó a los datos con la letra “A” y el color naranja;

mientras que para los datos recolectados posterior al llenado de la represa, se etiquetaron con la letra “D” y el color azul. En la figura 10 se presentan los resultados gráficos obtenidos en relación solo al periodo para las componentes 1 y 2. Teniendo en cuenta que el ACP realiza una estandarización de las variables, los puntos cercanos al eje central (0,0) del plano de las componentes 1 y 2, son puntos que se encuentran con valores muy cercanos al promedio general. Considerando lo anterior, la mayor parte de la información, tanto antes como después del llenado del embalse, se encuentran cercanos al promedio general y no tienen un peso importante para realizar diferenciación entre los datos del antes con los datos del después. No obstante, se puede evidenciar que antes del llenado del embalse, existen algunos datos relacionados con altos niveles de incidencia en enfermedades como Escoba de Bruja (EB) y Monilia (MM). Por otra parte, tras el llenado del embalse, se pueden observar algunos datos asociados a incrementos en los ataques por parte de mamíferos (RO) así como de aumentos en la incidencia de fitóptora (MF).

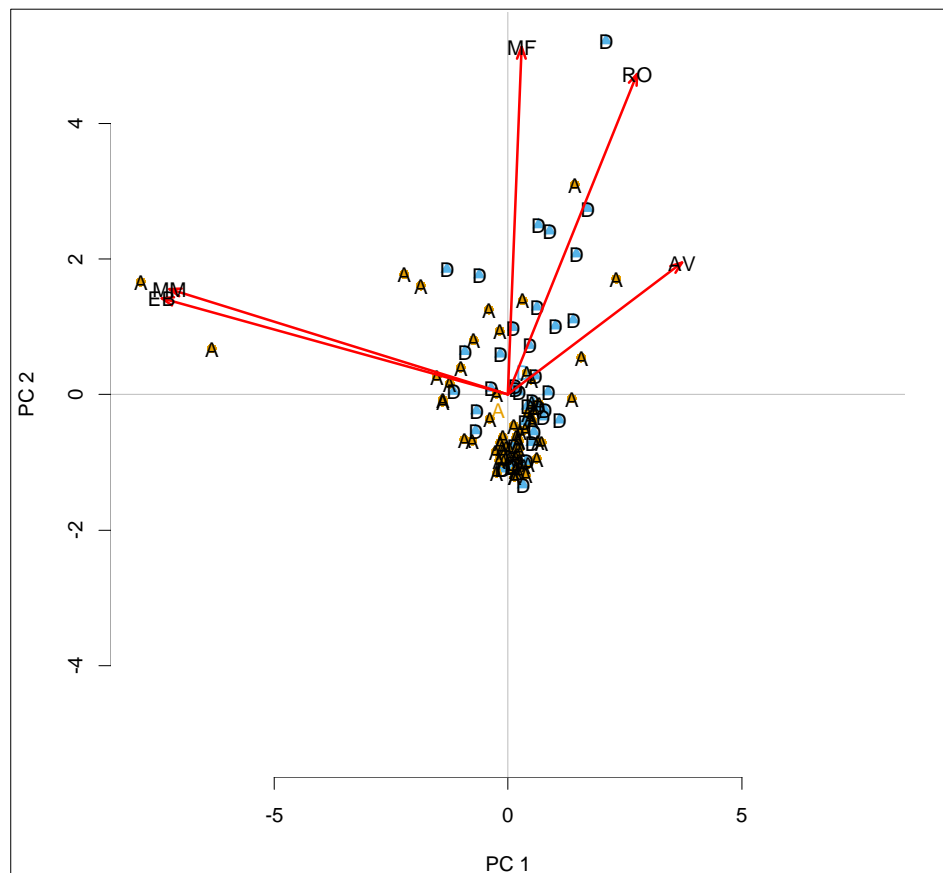


Figura 10. Grafico del ACP con etiqueta de periodo: Componentes 1 y 2.

Continuando con la evaluación de los datos fitopatológicos de las parcelas de cacao híbrido antes y después del llenado del espejo de agua, se analizó el gráfico de las componentes 1 y 3 (Figura 11). Similar a lo encontrado con las componentes 1 y 2, gran parte de los datos se encuentran cercanos al promedio general al estar cercanos al eje central del plano (0,0). En cuanto a la componente 3, aunque se presentan altos valores de incidencia de aves en los dos periodos comparados, durante el antes, se registraron los ataques más fuertes.

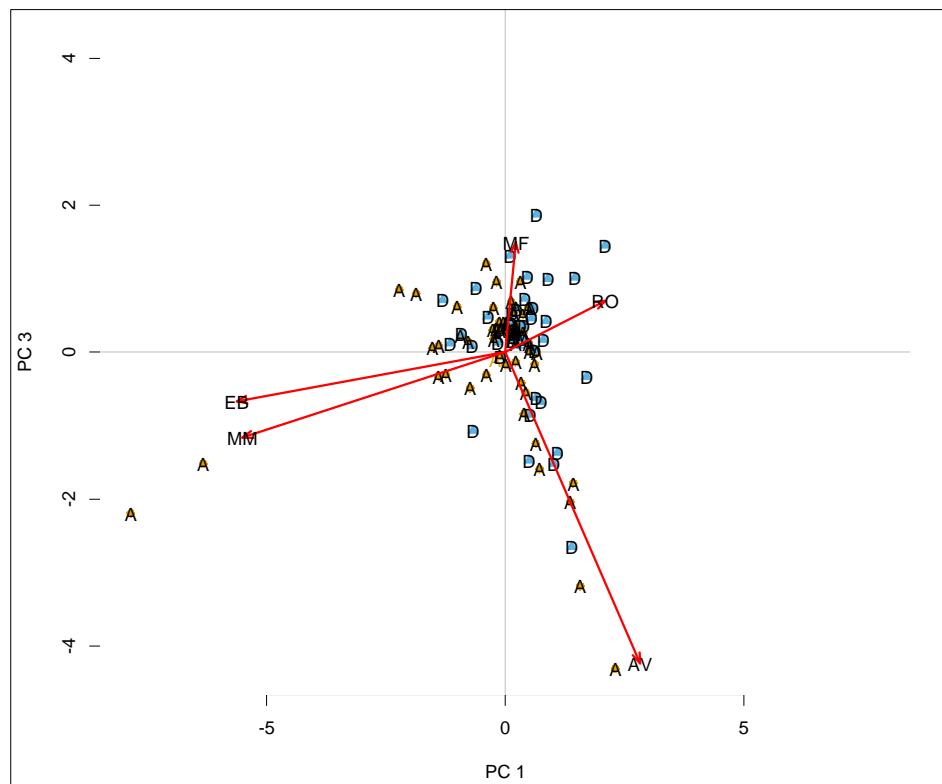




Figura 11. Gráfico de ACP con etiqueta de periodo: Componentes 1 y 3.

Teniendo en cuenta que los cambios encontrados son puntuales, se realizó nuevamente el análisis gráfico utilizando como etiquetas el número de la parcela de cacao híbrido monitoreada. Del mismo modo, se continuó utilizando el periodo como variable ilustrativa, a través de la diferenciación cromática entre los datos del antes, con el color naranja, y los datos del después, con el color azul. En la figura 12, se presenta el gráfico de las componentes 1 y 2, con la etiqueta del número de la parcela y el número del semestre del periodo. El objetivo de estas etiquetas es ayudar a identificar no solo la parcela, sino el semestre en el cual

se tomó la información. En la tabla 6 se presenta con detalle la nomenclatura utilizadas en el etiquetado de la información.

Tabla 6.

Nomenclatura utilizada en las etiquetas de los gráficos del ACP.

		<i>PERIODO</i>	
		ANTES	DESPUES
			
<i>SEMESTRE</i>	S1	I-2012	I-2015
	S2	II-2012	II-2015
	S3	I-2013	I-2016
	S4	II-2013	II-2016
	S5	I-2014	
	S6	II-2014	

En lo concerniente a la primera componente, cabe resaltar que la parcela 12, evidenció los valores más altos de incidencia de monilia (MM) y escoba de bruja (EB) antes del llenado del embalse durante el 2012. Solo la parcela 21 evidenció un ligero aumento en los ataques por monilia después del llenado del embalse, especialmente durante el primer semestre de 2015 y el primer semestre de 2016. Del mismo modo, la parcela 1, presentó algunos valores altos relacionados con altos niveles de monilia (MM) y escoba de bruja (EB) durante los dos periodos contrastados. Para la segunda componente, se destacó que en la parcela 14 durante el primer semestre de 2016 se presentó un aumento considerable en la incidencia de fitóptora tras el llenado del embalse, así como de ataques por mamíferos, comportamiento similar al encontrado en la parcela 12 durante el segundo semestre de 2016. Finalmente, la parcela 20, aunque presentó un aumento en el número de mazorcas afectadas por fitóptora (MF), el incremento más importante en los ataques por mamíferos (RO) durante todo el 2016. Asimismo, la parcela 19, presentó algunos valores importantes relacionados con altos niveles de incidencia de mamíferos (RO) tanto antes como después del llenado del

espejo de agua, observándose los valores más altos durante el segundo semestre de 2013 y primer semestre de 2014.

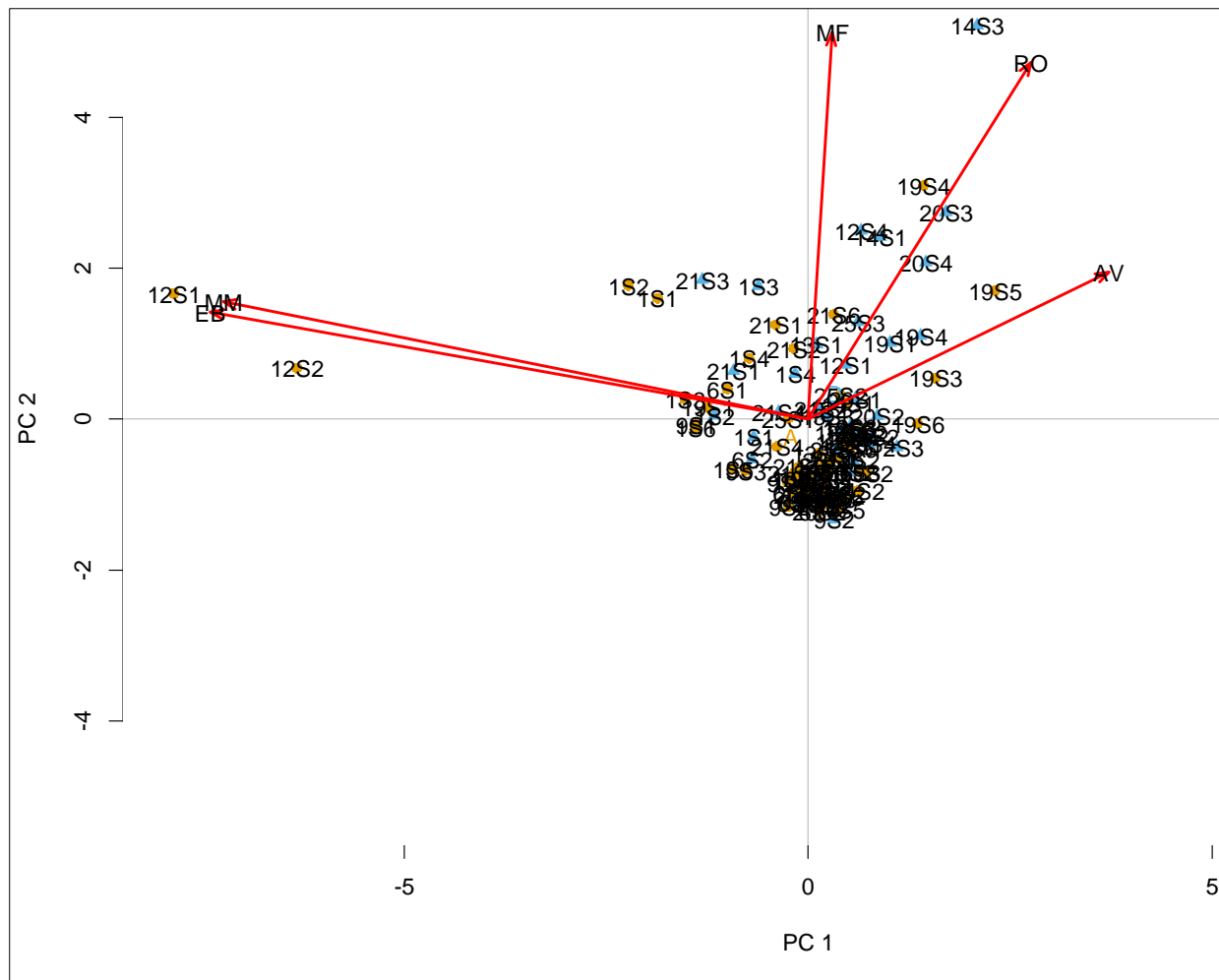


Figura 12. Gráfico de ACP con etiqueta de parcela y semestre: Componentes 1 y 2.

En la figura 13, se presenta el gráfico de las componentes 1 y 3, con la etiqueta del número de la parcela. Se siguió usando el periodo como variable ilustrativa, a través de la diferenciación por colores entre los datos del antes (color naranja) y los datos del después (color azul). En primera instancia, cabe resaltar la parcela 19, por sus altos ataques de aves durante todo el transcurso del monitoreo exceptuando el primer semestre de 2012, el segundo semestre de 2014 y el primer semestre de 2016. Del mismo modo, la parcela 12 se ha destacado por evidenciar algunos ataques fuertes por parte de aves (AV), especialmente, durante

el transcurso del 2012. En las parcelas 1 y 20 se presentaron algunos ataques de aves por encima del promedio general durante el primer semestre de 2015 y primer semestre de 2016 respectivamente.

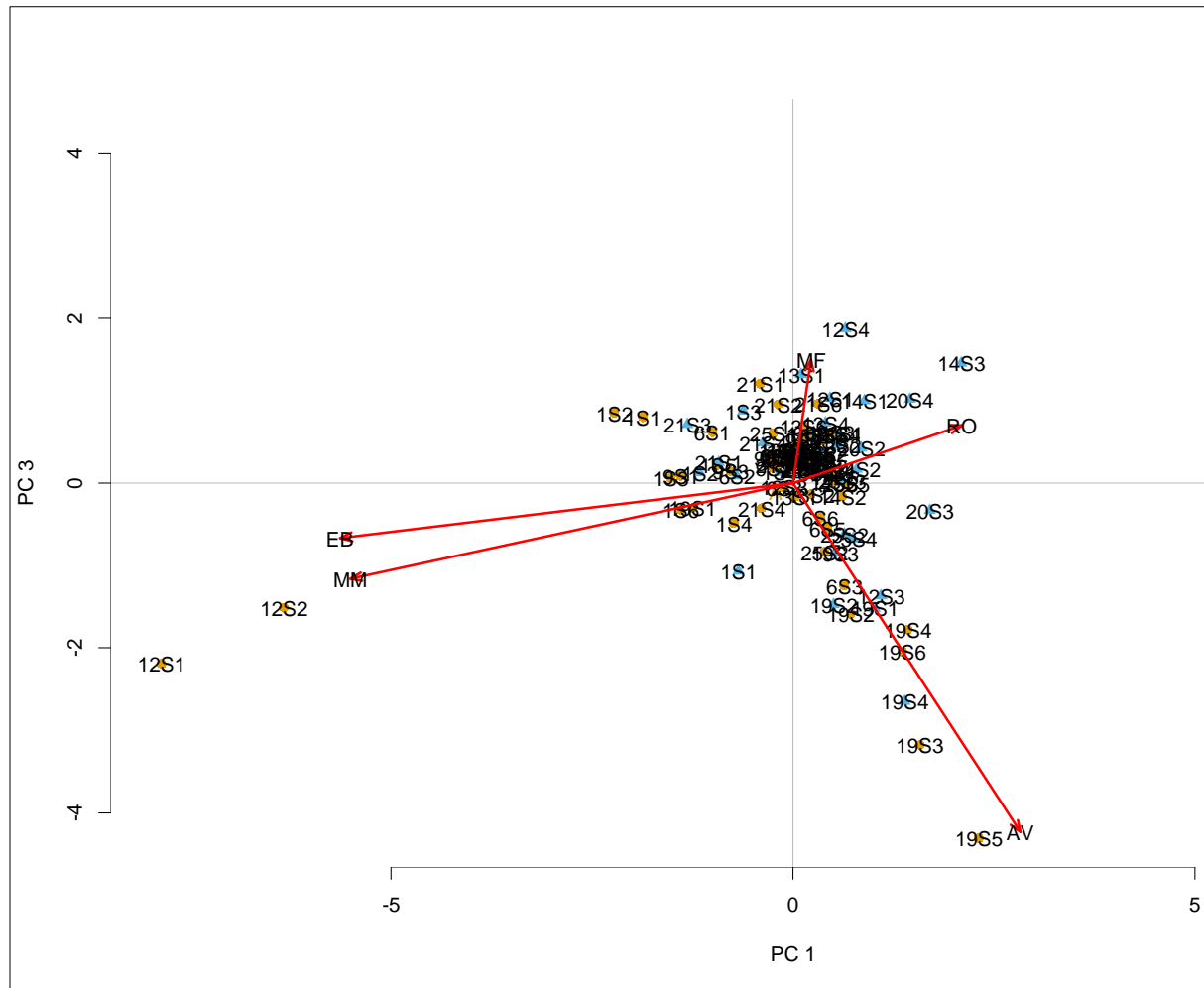


Figura 13. Gráfico de ACP con etiqueta de parcela y semestre: Componentes 1 y 3.

A partir del ACP, se pudo realizar una descripción general del comportamiento de las parcelas tras el llenado del embalse. En términos generales los cambios puntuales se han concentrado especialmente en un ligero aumento en el ataque por parte de la fauna, así como de un pequeño incremento en la incidencia de fitóptora sobre los sistemas de producción de cacao híbrido. Del mismo modo, se ha evidenciado una disminución en la presencia de mazorcas afectadas por monilia. No obstante, es importante resaltar que estos cambios no son generalizados, sino que se encuentran localizados en parcelas específicas. En la tabla

7, se presenta un resumen con los resultados más relevantes encontrados a partir del análisis de los gráficos del ACP en las diez parcelas de cacao híbrido.

Tabla 7.

Resumen de resultados más relevantes del ACP para el comportamiento de las parcelas tras el llenado del embalse.

P	MM	MF	EB	AV	RO
1	Disminución	-	Similar al antes	Ligero aumento	-
6	Disminución	Disminución	-	Ligera disminución	-
9	Disminución	-	-	-	-
12	Gran Disminución	Aumento	Disminución	Similar al antes	Ligero aumento
13	Disminución	Ligero aumento	-	-	-
14	Similar al antes	Aumento	-	Ligera disminución	Ligero aumento
19	-	-	-	Similar al antes	Similar al antes
20	Disminución	Aumento	Disminución	Aumento	Aumento
21	Ligero aumento	Similar al antes	-	-	-
25	Similar al antes	Ligero aumento	-	Ligero aumento	-

Teniendo en cuenta que los comportamientos no son generales, sino que cada parcela ha presentado comportamientos específicos, cabe resaltar características ecológicas y biofísicas relacionados con las dinámicas de las enfermedades, así como de la fauna en los sistemas de producción. Para el caso de la parcela 21, ha evidenciado una alta presencia de monilia. Esto se debe al poco control fitosanitario realizado en esta parcela, lo cual, favorece la diseminación del hongo en la parcela. Rojas y Sacristán (2013) consideran que la implementación de actividades de manejo dentro de las parcelas de cacao, tales como las rondas fitosanitarias, resultan importantes para mantener la incidencia de enfermedades en bajos niveles, sin que lleguen a representar pérdidas económicas significativas.

Una de las variables que se destacan por sus cambios, es el número de mazorcas afectadas por fitóptora (MF). No obstante, los cambios observados después del llenado del embalse, se presentaron particularmente en las parcelas 12, 14 y 20. Estas parcelas, no solo se caracterizan por sus grandes pendientes, sino también por sus altos niveles de humedad. Adicionalmente, se encuentran en alturas superiores a los 800 msnm lo cual las hace más susceptibles al ataque de este fitopatógeno. De acuerdo a los reportes de Rojas y Sacristán (2013), entre mayor sea el nivel altitudinal, mayor es la susceptibilidad del cultivo del cacao a ser atacado por fitóptora, debido a que a estos niveles altitudinales, los niveles de humedad relativa en el ambiente son más altos, propiciando unas mejores condiciones para el óptimo desarrollo del hongo, así como sus procesos de esporulación y germinación.

En lo referente a los ataques por mamíferos, se evidenció un aumento en las parcelas 12, 14, y con mayor fuerza en la parcela 20. Estos ataques pueden asociarse especialmente a los ecosistemas circundantes. La presencia de rastrojos, así como de pequeñas formaciones boscosas, propician las condiciones adecuadas para que especies de fauna se establezcan. Del mismo modo, estos ataques se pueden intensificar debido a las condiciones ambientales. Urquhart (1963) reporta que durante épocas de sequías prolongadas, como las reportadas en el 2015 (IDEAM, 2015) y primer trimestre de 2016 (IDEAM, 2016), se puede ver un incremento en los ataques de fauna sobre los cultivos de cacao, especialmente por parte de mamíferos.

Finalmente, los ataques por aves se presentaron con mayor fuerza en las parcelas 12, 19 y 20. Cabe resaltar que en la zona de estudio se encuentra la reserva de aves Reinita Azul, la cual se encuentra ubicada sobre la vertiente occidental de la Cordillera Oriental colombiana en el municipio de San Vicente de Chucurí, departamento de Santander, junto a la serranía de los Yariguíes. Este podría ser uno de los factores de mayor influencia sobre la presencia de aves en los sistemas de producción de la zona de estudio, teniendo en cuenta que las aves tienen comportamientos migratorios y tienden a desplazarse por todo el territorio. Sin embargo, así como con los mamíferos, la presencia de pequeños bosques en zonas cercanas a las

parcelas de monitoreo, pueden favorecer el establecimiento de diferentes especies de aves como loras y churicas en la zona.

Es importante dejar claro que, aunque se han evidenciado cambios específicos en el comportamiento de las variables fitopatológicas en algunas parcelas, los niveles de incidencia de enfermedades y de ataques por fauna siguen manteniéndose bajos, sin representar una limitante para el sistema de producción. Cabe resaltar que los comportamientos encontrados no son generales, sino que se encuentran focalizados en algunas parcelas, cuyas características ecológicas, las hacen más susceptibles al ataque de fitopatógenos y de algunas especies de fauna

Del mismo modo, a corte de diciembre de 2016, los niveles de incidencia de las enfermedades y de ataques por parte de aves y mamíferos encontrados después del llenado del espejo de agua son muy similares a los encontrados antes del llenado en los sistemas de producción de cacao híbrido en estudio, tal como lo dejó en evidencia los gráficos del ACP, mostrando gran parte de los puntos, tanto del antes como del después, cercanos al promedio general.

7. Conclusiones

El análisis descriptivo previo dejó en evidencia que las variables presentan un sesgo a la derecha, así como altos valores de variación. Del mismo modo, se observó que la monilia, es la enfermedad que presenta en promedio los valores más altos de incidencia en las parcelas de cacao híbrido. Del mismo modo, el análisis gráfico preliminar a través de boxplots, permitió visualizar que tras el llenado del embalse, se presentó una disminución en la incidencia de enfermedades como monilia (MM) y escoba de bruja (EB). En contraste, se pudo ver un ligero aumento en la incidencia de fitóptora (MF) así como de los ataques por parte de la fauna (AV y RO).

Aunque el valor del test de KMO fue bajo (0.53), el valor se encuentra dentro de los límites para la realización del ACP. Así mismo, la prueba de esfericidad de Bartlett arrojó un valor de $p < 0.05$, por lo que el modelo es significativo y se pudo aplicar el Análisis de Componentes Principales. Con los tres primeros componentes del ACP se logró explicar el 77% de la varianza total.

Se logró generar tres indicadores para la evaluación fitopatológica del cacao híbrido. El primer indicador permite evaluar la “Susceptibilidad a *Moniliophthora*” de las parcelas de cacao híbrido, permitiendo localizar los mayores niveles de incidencia tanto es escoba de bruja (EB) como de monilia (MM). El segundo indicador está relacionado con la producción de mazorcas bajas, es decir, aquellas mazorcas cercanas al suelo, las cuales son más propensas a ser atacadas por algunos mamíferos, así como por fitóptora, un hongo presente naturalmente en el suelo. Finalmente, el tercero es un indicador de “Ornitosusceptibilidad”, permitiendo destacar las parcelas con mayor vulnerabilidad al ataque de aves. A partir del ACP, se pudo evaluar de manera general el comportamiento fitopatológico en las parcelas de cacao híbrido, permitiendo destacar las parcelas con mayores cambios.

La aplicación del ACP para el análisis de información fitopatológica en cacao, es una técnica estadística pionera en Colombia, teniendo en cuenta que este tipo de análisis se han aplicado en el campo de la agronomía para la realización de caracterizaciones morfológicas, fisicoquímicas y genéticas. Adicionalmente, los indicadores encontrados en esta investigación poseen una gran coherencia en relación al componente teórico y empírico pertinente a los sistemas de producción cacaotero y sus dinámicas fitosanitarias y ecológicas.

Teniendo en cuenta que los resultados obtenidos por el ACP son similares a los obtenidos en la descripción a través de gráficos de caja e histogramas, para el Proyecto de Monitoreo Agroclimático, resulta eficiente esta herramienta, pues facilita el análisis en conjunto de las variables fitopatológicas, teniendo en cuenta no solo la parcela, sino el periodo donde se registró la información. Adicionalmente, facilita la presentación de resultados durante la realización de informes técnicos debido a la reducción de las salidas gráficas.

De acuerdo a los gráficos del ACP, gran parte de los datos tanto del antes como del después del llenado del espejo de agua, se encuentran concentrados cerca al promedio general. De esta forma, se puede decir que los niveles de incidencia de enfermedades y de ataques por fauna encontrados tras el llenado del embalse a corte de diciembre de 2016, son bastante similares a los encontrados antes, y no representan una limitante para los sistemas de producción cacaotero. Los cambios encontrados no son generales, sino que se encuentran localizados en parcelas específicas.

A través del análisis gráfico del ACP, se pudo revelar que la parcela 21 ha presentado un ligero aumento en la incidencia de monilia tras el llenado del embalse, causado por el bajo control fitosanitario realizado en esta parcela. Así mismo, se evidenció un aumento en tanto en la incidencia de fitóptora como de los ataques por parte de mamíferos, en las parcelas 12, 14, y 20. Para el caso de la fitóptora, características como la pendiente y el nivel altitudinal de estas parcelas (> 800 msnm) las hace más susceptibles al ataque de este fitopatógeno. En cuanto a los mamíferos, la presencia de zonas boscosas y de mazorcas bajas en estas parcelas, las hace vulnerables al ataque por parte de mamíferos.

Finalmente, las parcelas 12, 19 y 20 evidenciaron los ataques por aves más fuertes. Cabe destacar que en la zona de estudio se encuentra rodeada de una zona de reserva de aves, lo que favorece la presencia de estos animales en los sistemas de producción.

Bibliografía

- Borrego, F., López, A., Fernández, J. M., Murillo, M., Rodríguez, S. A., Reyes, A., y Martínez, J. (2001). Evaluación agronómica de tomate (*Lycopersicon esculentum* M) en invernadero. *Agronomía Mesoamericana*, 12(1), 49-56.
- Cárdenas, R., Ortiz, R., Echevarria, A., y Shagarodsky, T. (2012). Caracterización y selección agroproductiva de líneas de garbanzo (*Cicer arietinum* L.) introducidas en Cuba. *Cultivos Tropicales*, 69-74.
- Eliás, D., y Valencia, D. (1984). La agricultura latinoamericana y los vertebrados plagas. *Interciencia*, 9, 223-229.
- Grisales, S., y Afanador, L. (2007). Análisis de variabilidad genética en *Moniliophthora roreri* con AP-PCR y RAPD en Antioquia, Colombia. *Revista Colombiana de Biotecnología*, 9(2), 15-32.
- Guisande, C., y et al. (2014). RWizard Software. University of Vigo, Spain. Disponible en <http://www.ipez.es/RWizard>.
- ICA. (2012). Manejo fitosanitario del cultivo cacao (*Theobroma cacao* L) - Medidas para la temporada invernal. Bogotá, Colombia: Produmedios. Disponible en <http://www.ica.gov.co/getattachment/c01fa43b-cf48-497a-aa7f-51e6da3f7e96/-nbsp;M;anejo-fitosanitario-del-cultivo-de-Cacao.aspx>
- IDEAM. (2015). Anuario Climatológico 2015. Bogotá D.C. Disponible en <http://www.ideam.gov.co/>
- IDEAM. (Marzo de 2016). Boletín Climatológico Mensual- Marzo 2016. Bogotá D.C. Disponible en <http://www.ideam.gov.co/>

- Jaimes, Y., y Aranzazu, F. (2010). *Manejo de las enfermedades del cacao (Theobroma cacao L) en Colombia, con énfasis en monilia (Moniliophthora roreri)*. Colombia. Corpoica: Editorial Produmedios.
- Marin, J. (2007). Tema 3: Análisis de Componentes Principales. Madrid, España. Disponible en <http://halweb.uc3m.es/esp/Personal/personas/jmmarin/esp/AMult/tema3am.pdf>
- Martínez, Y., Martínez, M., Quiñones, M., Miranda, I., Holt, J., y Chancellor, T. (2009). Estudio de factores que influyen en la epifitología del complejo mosca blanca-geminivirus en la región oriental de Cuba. *Revista de Protección Vegetal*, 24(1).
- Mojica, A., y Paredes, J. (2006). Características del cultivo del cacao en Santander. *Ensayos sobre economía regional*. Bucaramanga, Colombia.
- Moreno, Y., Melgarejo, L., Hernández, M., Quintero, L., y Vargas, G. (2004). Caracterización molecular de un banco de germoplasma del género Theobroma mediante la técnica RAPD. *Revista Colombiana de Biotecnología*, 6(2), 15-24.
- Nieves, A., y Dominguez, F. (2009). *Probabilidad y Estadística para Ingeniería: Un enfoque moderno*. McGraw Hill Interamericana.
- Parga, V., Zamora, V., Borrego, F., Covarrubias, J., López, A., y Almeyda, I. (2010). Evaluación, Selección y Caracterización de Genotipos de Papa Tolerantes al Síndrome de Punta Morada. *Revista Mexicana de Fitopatología*, 29(1), 15-23.
- Peña, D. (2002). ANÁLISIS DE DATOS MULTIVARIANTES- Capitulo 7. 137-171. Madrid, España. Disponible en http://www.academia.edu/6134000/An%C3%A1lisis_de_Datos_Multivariantes_-_Daniel_Pe%C3%B1a

- Ramos, G., Gómez, Á., y De Ascencao, A. (2001). Caracteres morfológicos determinantes en dos poblaciones de cacao criollo del occidente de Venezuela. *Agricultura Tropical*, 54(1), 45-62.
- Rojas, F., y Sancristán, E. (2013). GUIA AMBIENTAL PARA EL CULTIVO DEL CACAO. *Segunda Edición*. Bogotá, D.C., Colombia. Fedecacao. Disponible en https://www.fedecacao.com.co/site/images/recourses/pub_doctecnicos/fedecacao-pub-doc_05B.pdf
- Urquhart, D. (1963). *CACAO*. (J. Valerio, Trad.) Turrialba, Costa Rica.
- Vera, J., Vallejo, C., Párraga, D., Morales, W., Macías, J., y Ramos, R. (2014). Atributos físicos-químicos y sensoriales de las almendras de quince clones de cacao nacional (*Theobroma cacao* L.) en el Ecuador. *Revista de Ciencia y Tecnología*, 21-34.

Apéndices

Apéndice A. Interpretación de coeficiente de correlación según Nieves y Domínguez (2009).

Valor de r	Grado de correlación	Valor de r	Tipo de correlación
1	Perfecta	+	Positiva
0,9 a 0,99	Muy alta	-	Negativa
0,7 a 0,89	Alta		
0,4 a 0,69	Moderada		
0,2 a 0,39	Baja		
0,01 a 0,19	Muy Baja		
0	Nula		

Apéndice B. *Peso de las observaciones en cada uno de los componentes.*

ID	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5
1	-1,8664666	1,60631043	0,7974115	1,22745217	-1,716391
2	-2,223278	1,77119839	0,84721777	1,71900555	-2,3095657
3	-1,5254134	0,26449004	0,06188203	-0,4432001	-1,5429031
4	-0,9359654	-0,6592311	0,22058649	-0,0399865	-1,1030278
5	-0,73396	0,80575346	-0,4855505	-0,7627961	-1,0884662
6	-1,3960337	-0,11049	-0,3273684	-0,3306952	-1,7006931
7	-0,6760994	-0,2344206	-1,0660977	-0,3208237	-0,9301485
8	-1,1599671	0,05045568	0,12240332	-0,4920464	-1,4996368
9	-0,6179793	1,76751237	0,87620718	-1,0518463	-1,1660559
10	-0,1643899	0,60149321	0,13088921	-1,0933767	-0,8575376
11	-1,0073025	0,39898668	0,61692287	0,95257823	-0,5489657
12	-0,1898321	-0,9752969	0,3246883	-0,0086989	-0,1386994
13	0,64146261	-0,6943671	-1,2422554	0,19427239	-0,106642
14	0,4311048	-1,0226074	-0,5477729	-0,0185475	-0,1061068
15	0,13370773	-1,2198673	0,15902312	-0,1412439	-0,0074062
16	0,33691549	-1,0508239	-0,4197715	-0,0464237	-0,0484318
17	-0,1358499	-1,0955768	0,29965313	-0,1020003	-0,2007364
18	-0,6977866	-0,5284657	0,08680348	-0,3416535	-0,7745607
19	-0,1083599	-1,089871	-0,064076	-0,1602064	-0,1432882
20	0,11665016	-1,0087336	0,24407821	0,05409839	0,01731428
21	-1,3936047	-0,0716109	0,09047551	0,36802944	1,19211507
22	-0,2414664	-1,1571304	0,17888987	-0,1961332	0,35736099
23	-0,772727	-0,6838105	0,14617592	0,03375438	0,50139335
24	0,03240323	-0,7952699	0,39482875	-0,2322287	0,16496568
25	-0,2629207	-0,8417674	0,30806271	0,09727756	0,38992567
26	0,22543149	-0,6843613	0,59912235	0,45421148	0,31102268
27	0,07204642	-1,0530008	0,39116218	0,0309892	0,02079657
28	0,3179255	-1,3311379	0,35985925	-0,127843	0,19170058
29	0,10510346	-1,0637012	0,4038839	0,03416721	-0,0153319
30	0,13065702	-0,7564894	0,51683942	0,34660905	0,41156397
31	-7,8512471	1,66478522	-2,1931251	-1,1787942	2,98692814
32	-6,3328341	0,68038125	-1,5134719	-1,0574655	-1,4537266
33	-0,114946	-0,8428405	-0,0476877	-0,4202463	-0,0352475
34	-0,0393973	-0,7790934	0,40150478	-0,2536433	-0,2022692
35	0,41529135	-0,2925826	0,15997442	-0,2013801	-0,0107802
36	0,52106629	-0,3903412	0,08217461	-0,7460912	-0,0346576
37	0,46066628	0,72605424	1,02869886	-0,082857	0,02678995
38	0,55103776	-0,5496745	0,46059633	-0,3099513	0,19299688

39	1,09726549	-0,3697283	-1,3649174	0,12933047	0,03532451
40	0,65053742	2,50230165	1,87318113	2,65434724	0,17542302
41	0,01191206	-0,9602261	-0,1705378	-0,0168197	0,21927645
42	0,22291522	-1,131333	-0,1351448	-0,0950256	-0,0143708
43	-0,1268249	-0,7830148	0,40624779	0,2088525	0,24422377
44	0,21910373	-0,9831921	0,11925725	0,08276909	-0,0493929
45	0,5378478	-0,2369866	0,59294961	-0,015746	0,21652944
46	0,1283091	-0,454376	0,68767303	0,62734471	-0,0224595
47	0,09981298	0,99413382	1,31804337	2,00348054	0,05123058
48	0,38239632	-0,9848832	0,35785027	0,19264944	0,17562235
49	0,23298701	0,04037515	0,58269784	1,06901476	-0,0341759
50	0,40507291	-0,1697745	0,73305535	0,98275828	0,17515098
51	0,4926553	0,21852358	0,12058862	-1,154633	0,64682391
52	0,61371824	-0,9471653	-0,1643819	-0,2835286	0,15033017
53	0,47505509	-0,3388859	0,61452731	-0,5954838	0,33161616
54	0,37466111	-1,1879916	0,26325389	-0,0050764	0,17799822
55	0,16410235	-0,632288	0,53713159	-0,0225853	0,02710796
56	0,50729116	-0,1215648	0,00424357	-0,5316122	0,03174124
57	0,89219099	2,41807214	0,99872921	-1,8195762	0,35159989
58	0,79288722	-0,2263648	0,17139764	-0,964854	0,21481481
59	2,09310474	5,21919134	1,45176313	-2,2482813	0,40824047
60	0,16136255	0,0786125	0,29123411	-0,4055288	0,32535789
61	-1,2476616	0,16006975	-0,3002978	0,53701443	1,17144812
62	0,71853823	-0,7047119	-1,586902	0,14083336	-0,1033865
63	1,57301734	0,54785898	-3,1796405	0,71521568	0,11294057
64	2,3104441	1,70722731	-4,3099024	-0,1951301	-0,3309871
65	1,42939589	3,09918007	-1,7807017	1,72354381	0,04867155
66	1,35720887	-0,0575386	-2,0403173	0,34691735	-0,0194034
67	1,01502428	1,01551596	-1,5153492	1,26559868	-0,1060074
68	0,5029628	-0,7007013	-1,4713071	0,08677554	-0,3587536
69	0,52089337	-0,0972079	-0,8495475	0,75480669	-0,0019018
70	1,39131584	1,10610126	-2,6462094	1,25105178	0,23922726
71	-0,0932388	-0,9994987	0,32755357	0,01509917	0,20143903
72	0,13370773	-1,2198673	0,15902312	-0,1412439	-0,0074062
73	0,19710328	-0,8926834	0,24815305	-0,2960649	0,02718948
74	0,15410386	-1,1236633	0,21268217	-0,040792	-0,0266584
75	0,22576367	-0,7991545	0,30499253	-0,1948185	-0,0010948
76	0,36246228	-0,5151174	0,51388524	-0,8178023	0,00288569
77	0,57904602	0,27169617	0,60826146	-1,0014996	0,02224623
78	0,85300032	0,04317642	0,42351369	-1,1388116	0,20773219
79	1,7018559	2,74303936	-0,3321716	-1,5535262	-0,0806365

80	1,45431913	2,07685301	1,01643542	-2,404394	0,27163547
81	-0,4061258	1,25364491	1,20345476	2,03882028	0,16151032
82	-0,1856246	0,93962157	0,95232622	1,79787834	0,40237695
83	-0,173128	-0,7093215	0,22417908	0,22322217	0,34009483
84	-0,1114106	-0,626493	0,29374028	0,3276466	0,27568203
85	-0,3908124	-0,3599364	-0,3065332	0,3572491	0,71684128
86	0,31194444	1,38621693	0,96356741	-0,0422669	0,34455541
87	-0,9234066	0,64017399	0,24814518	0,22322579	1,38000374
88	0,15069426	0,13370596	0,15718703	-0,4022452	-0,0634235
89	-1,3102339	1,84990418	0,71018999	1,71131643	1,29573064
90	-0,3680579	0,09328668	0,48868645	-0,037679	0,71867276
91	-0,2463012	0,01458828	0,60824014	0,43041519	0,49083867
92	0,3933094	0,31695147	-0,8379953	0,09621282	-0,5552308
93	0,15357481	-0,9178798	0,30409812	0,15613931	-0,0200022
94	0,65825502	-0,1311448	-0,0103559	-0,9734879	-0,0384847
95	0,25330984	-0,5437537	0,24296364	0,02363306	0,02014337
96	0,22136701	-0,6949252	0,34911029	-0,09675	0,00674936
97	0,35249864	-0,3944818	0,18155212	-0,7811179	0,10430657
98	0,64270672	-0,175476	-0,6195632	-0,1839026	-0,0360358
99	0,61534249	1,29253487	0,03009882	0,26074316	0,18068046
100	0,7508291	-0,3260833	-0,6769269	0,67411172	0,14420017