

**Análisis De Los Efectos Del Cambio Climático Sobre El Comportamiento De La
Producción De Cultivos De Café Castillo (*Coffea Castillo*) En El Departamento De
Santander Municipio De Socorro Finca Majavita.**



Fabián Ricardo Moreno Bustos

**Universidad Libre De Colombia
Facultad De Ingeniería
Departamento de Ingeniería Ambiental
Bogotá. D.C**

2017

Análisis De Los Efectos Del Cambio Climático Sobre El Comportamiento De La Producción
De Cultivos De Café Castillo (*Coffea Castillo*) En El Departamento De Santander Municipio
De Socorro Finca Majavita.

Fabián Ricardo Moreno Bustos.

Director: Ing. Msc. Juan Antonio Aragón Moreno.

Trabajo de Grado para obtener el título de Ingeniero Ambiental

Universidad Libre De Colombia
Facultad De Ingeniería
Departamento de Ingeniería Ambiental
Bogotá D.C
29/08/2017

Declaratoria de Originalidad:

“La presente propuesta de trabajo de grado para optar al título de Ingeniero Ambiental de la Universidad Libre no ha sido aceptado o empleado para el otorgamiento de calificación alguna, ni de título, o grado diferente o adicional al actual. La propuesta de tesis es resultado de las investigaciones del autor (es), excepto donde se indican las fuentes de Información consultadas”.

Fabián Ricardo Moreno Bustos 64121064. CC. 1015452856.

A handwritten signature in black ink, written over a horizontal line. The signature is stylized and appears to read 'Fabián Ricardo Moreno Bustos'.

Fabián Ricardo Moreno Bustos

Dedicatoria

Dedico esta Tesis al creador de la vida, a mi abuelita Ofelia mis padres Néstor y Doris y a mi hermano Diego; así como a mis amigos por escucharme cuando los necesitaba.

Agradecimientos

Agradezco a Dios por darme la oportunidad de culminar esta etapa y proceso de aprendizaje, a mi abuelita y a mis padres. A los ingenieros y licenciados de la Universidad Libre de Colombia Sede Bogotá y Socorro en especial al Ingeniero Juan Antonio Aragón Moreno por guiarme durante este proceso de formación y a los ingenieros Hugo Ballesteros y Mauricio Sanmiguel y demás profesores de la seccional Socorro que me apoyaron y dieron su consejo y apoyo durante la elaboración de este proyecto así como los jornaleros de la Hacienda Majavita en especial a Don Ramiro por mostrarme el proceso de cosecha y beneficio de café en la hacienda. Al IDEAM por suministrar los datos climatológicos necesarios para la realización de este proyecto y sin los cuales no se hubiera podido desarrollar, de igual forma a Cenicafé por sus publicaciones y su plataforma Agroclima que me sirvieron de base para poder desarrollar este proyecto. A la Federación nacional de cafeteros de Colombia por suministrar la información de volúmenes de producción. Y a las otras muchas personas que me apoyaron durante la elaboración de este proyecto y que no puedo nombrar por que nunca acabaría. Gracias a todos ustedes.

Resumen

El presente proyecto fue desarrollado en Santander Colombia, Municipio de Socorro, Vereda el Líbano, Hacienda Majavita, con el fin de determinar cómo se ve afectada la producción del café tipo castillo con el cambio climático, que es un fenómeno de carácter mundial del cual Colombia no es ajeno y del cual también otras actividades son susceptibles a verse afectadas.

Se buscó establecer una correlación estadística de datos de producción de sacos en cada uno de los años propuestos para el estudio (1970 a 2010, 40 años) versus los parámetros climáticos escogidos para este proyecto que son temperatura, evaporación y precipitación, utilizando la agro-meteorología como ciencia para abordar el problema de la correlación, así como de la estadística inferencial y descriptiva para el tratamiento de datos climáticos. De igual forma, de un SIG específicamente Qgis© para la generación de cartografía, así como del software Aquacrop® para realizar la respectiva simulación de los modelos futuros.

La correlación que se encontró al realizar el análisis estadístico es de hipótesis alternativa: “Si hay una correlación entre el cambio climático y la producción”, ¿De qué tipo?, positivo en la fase de crecimiento, y en la fase de producción, afectando principalmente a la madurez del fruto. Pero siempre y cuando la disponibilidad hídrica de la planta no se viera afectada, lo cual repercutiría completamente en la planta y por ende a la producción.

Debido a que la ecología productiva de una planta es un tema enorme y difícil de tratar en un solo proyecto, este no contempla el factor suelo de una manera profunda sino referencial. El enfoque del presente proyecto es agro-meteorológico y climatológico. Estas ciencias permiten dar mayor profundidad al tema escogido, y dar respuestas a los objetivos tratados sobre el tema del cambio climático. Sin embargo, se invita a la comunidad científica e investigativa a que, tomando como referencia el presente proyecto, realice otro con un enfoque edafológico en vez

del climático, para así dar una visión más holística al presente estudio de la ecología productiva del café variedad *Castillo* en Colombia.

Palabras Clave: Cambio Climático, Producción, Café variedad *Castillo*, Socorro- Santander- Colombia.

Abstract

This project was developed in Santander Colombia, municipality of Socorro, Vereda Libano Hacienda Majavita, to determine how they affected the production of the Castillo type coffee with climate change is a global phenomenon which Colombia is not others and other activities which are likely to be affected.

A statistical correlation data production of sacks in each of the years versus climatic parameters chosen for this project is temperature, evaporation and precipitation occurs. Use of agro-meteorology to address the problem of correlation and inferential statistics, similarly, use GIS specifically Qgis© and Aquacrop® well as for elevation maps, location of stations as land cover present and the performance of climate models, respectively.

Because the productive ecology of a plant is a huge and difficult to treat in a single project theme, this factor does not cover the soils of a deep but referentially. The focus of this project is agro-meteorological and climatological. These sciences allow giving depth to the chosen topic, and giving answers to treaties objectives on the subject of climate change. However, the scientific and research community is invited, with reference to this project, do another with different approach such as edaphology approach instead of climate, thus complementing the present study that is proposed, and have a more global approach but concise productive ecology in Colombia coffee *Castillo* variety.

Key words: Climate Change, Production, Coffee *Castillo* variety, Socorro-Santander-Colombia.

Contenido

Agradecimientos	4
Resumen	5
Abstract	7
Lista de imágenes.....	10
Lista de tablas	13
Introducción.....	14
1. Descripción del problema.....	15
2. Justificación.....	18
3. Objetivos	21
PRIMERA PARTE MARCOS REFERENCIALES.....	22
4. Marcos referenciales	22
4.1 Marco Teórico.....	22
4.1.1 El clima.....	22
4.1.2 El clima y datos.....	25
4.1.3 Factores Que Afectan El Clima	27
4.1.3.1 La Deriva Continental.....	28
4.1.3.2 Cambios en la constitución atmosférica por actividad volcánica.....	31
4.1.3.3 Cambios en la Órbita de nuestro planeta.....	32
4.1.3.4 Impacto de cuerpos celestes	35
4.1.3.5 Variaciones de la actividad Solar.....	35
4.1.4 Efectos Periódicos (El Niño y La Niña).....	36
4.1.5 Cambio Climático, causas y consecuencias.....	37
4.1.6 Generalidades Café Castillo.....	42
4.1.6.1 Fenología del café castillo o variedad Colombia.	46
4.1.7 Consideraciones de calidad y productivas.....	50
4.2 Marco Conceptual	52
4.2.1 Balance energético de la tierra, radiación y efecto invernadero.....	52
4.2.2 Estaciones meteorológicas	56
4.2.3 Equipos de las estaciones Meteorológicas	56
4.2.4 Sistemas de información geográfica	58
4.2.5 Conceptos de estadística	60

4.2.5.1 Softwares estadísticos.....	66
4.2.6 Cambio climático concepto.....	67
4.2.7 Concepto de cps (café pergamino seco).....	69
4.2.8 Softwares de modelamiento agrícola.....	69
4.2.9 Consideraciones generales de la producción de café para consumo	70
4.2.10 Sistema Becolsub.....	72
4.2.11 Escenarios de cambio climático.....	73
4.2.11.1 Escenarios de cambio climático para Colombia	75
4.2.11.1 Escenarios de cambio climático para el Departamento de Santander	75
4.3 Marco geográfico e histórico.....	77
4.4 Marco legal	86
4.5. Antecedentes	89
SEGUNDA PARTE METODOLOGÍA.....	95
5. Metodología.....	95
5.1 Resumen Descriptivo.....	95
5.2 Desarrollo de métodos y materiales usados	99
TERCERA PARTE RESULTADOS Y ANÁLISIS.....	108
6. Resultados meteorológicos y climatológicos.....	108
7. Resultados geofísicos de campo	126
8. Resultados Productivos y Gestión del cultivo	130
8.1 Gestión del Cultivo en Hacienda Majavita	130
8.2 Producción de la Hacienda Majavita	139
9. Análisis multivariado de “clima variable representativas” contra “producción de hacienda”	143
10. Modelos de Aquacrop© y análisis	150
Conclusiones.....	161
Recomendaciones	162
Referencias	164
Anexos.....	168
Anexo 1.....	168
Anexo 2.....	169
Anexo 3.....	170

Lista de imágenes

	Pág.
Ilustración 1 Fuente: (NOAA, 2017).	24
Ilustración 2 Fuente: (Tomada del Libro Unidad Didáctica Meteorología y Climatología)...	24
Ilustración 3 Fuente:(Tomada de Addison Wesley)	33
Ilustración 4 Ejemplo de meteoro impactando en la Tierra Fuente:Science.net.	35
Ilustración 5 . Fuente: Autor.....	38
Ilustración 6 Fuente: Autor.....	39
Ilustración 7 Fuente: Autor.....	40
Ilustración 8 Fuente: Autor.....	44
Ilustración 9.. Fuente: Autor.....	47
Ilustración 10 Fuente: Autor.....	48
Ilustración 11 (Cenicafé, 2015).	51
Ilustración 12. Fuente: Autor.....	52
Ilustración 13. Fuente: (IGAC, 2017).	60
Ilustración 14. Fuente : Autor.....	62
Ilustración 15. Fuente: Autor.....	66
Ilustración 16 Fuente: Autor.....	71
Ilustración 17 Fuente: Autor.....	71
Ilustración 18 (Cenicafé, 2015)	72
Ilustración 19 Fuente: (PUND & IDEAM, 2015).....	74
Ilustración 20 Fuente: (PUND & IDEAM, 2015).....	74
Ilustración 21 . Fuente: Autor.....	76
Ilustración 22. Fuente: Autor.....	76
Ilustración 23 Fuente: (Alcaldía de Socorro - Santander, 2015).	79
Ilustración 24 . Fuente: Autor.....	81
Ilustración 25 Fuente : Autor.....	83
Ilustración 26 Fuente: Autor.....	83
Ilustración 27 Fuente: Autor.....	84
Ilustración 28. Fuente: Autor.....	84
Ilustración 29 Fuente: Autor.	85
Ilustración 30. Fuente: Autor.....	85
Ilustración 31Fuente: Autor.....	98
Ilustración 32 Fuente: Autor.....	98
Ilustración 33 Fuente: Autor.....	107
Ilustración 34 Fuente: Autor.....	109
Ilustración 35 Fuente: Autor.....	110
Ilustración 36 Fuente: Autor.....	110
Ilustración 37 Fuente: Autor.....	111
Ilustración 38 Fuente: Autor.....	111
Ilustración 39 Fuente: Autor.....	112

Ilustración 40 Fuente: Autor.....	112
Ilustración 41. Fuente: Agroclima Federación Nacional de Cafeteros.....	124
Ilustración 42 Fuente: Autor.....	124
Ilustración 43 Fuente: autor.....	125
Ilustración 44 Fuente: Autor.....	127
Ilustración 45 Fuente: Autor.....	129
Ilustración 46 Fuente: Autor.....	133
Ilustración 47 Fuente: Autor.....	134
Ilustración 48 Fuente: Autor.....	134
Ilustración 49 Fuente: Autor.....	135
Ilustración 50 Fuente: Autor.....	135
Ilustración 51 Fuente: Autor.....	135
Ilustración 52 Fuente: Autor.....	136
Ilustración 53 Fuente: Autor.....	136
Ilustración 54 Fuente: Autor.....	137
Ilustración 55 Fuente: Autor.....	137
Ilustración 56 Fuente: Autor.....	138
Ilustración 57 Fuente: Autor.....	138
Ilustración 58. Fuente gráfico: Autor Fuente de datos: (Federación Nacional de Cafeteros, 2010).....	139
Ilustración 59. Fuente: Autor.....	140
Ilustración 60 Fuente: Autor.....	140
Ilustración 61 Fuente: Autor.....	141
Ilustración 62 Fuente: Autor.....	145
Ilustración 63 Fuente: Autor.....	145
Ilustración 64.....	146
Ilustración 65 (NOAA, 2017).....	148
Ilustración 66 imagen muestra un análisis sencillo de aumento de temperatura en un periodo niño en donde la producción nacional aumenta. Fuente: Autor. A partir de datos de (NOAA, 2017) y (Federación Nacional de Cafeteros, 2013).....	148
Ilustración 67 (NOAA, 2017).....	149
Ilustración 68 Fuente. Autor.....	150
Ilustración 69.....	151
Ilustración 70 En esta imagen se está diseñando el cultivo Coffee Castillo según la fenología estudiada.....	151
Ilustración 71 Fuente: Autor.....	152
Ilustración 72 Fuente: (IDEAM, 2016).....	153
Ilustración 73 Fuente: Autor.....	154
Ilustración 74 Fuente: Autor.....	154
Ilustración 75 Fuente: Autor.....	155
Ilustración 76 Fuente: Autor.....	155
Ilustración 77 Fuente: Autor.....	156
Ilustración 78 Fuente: Autor.....	157
Ilustración 79 Fuente: Autor.....	157

Ilustración 80 Fuente: Autor.....	158
Ilustración 81 Fuente: Autor.....	158
Ilustración 82 Fuente: Autor.....	159

Lista de tablas

	Pág.
Tabla 1 Fuente: (FMJ, 2009).....	46
Tabla 2 Fuente: (Cenicafe, 2008).....	46
Tabla 3 Propiedades Fisicoquímicas de las variedades de café colombianas, cultivo y preparación de tasa. Tomada de (Cenicafe, 2008).....	47
Tabla 4 que muestra los factores que influyen en la formación de la planta. Factores Fenológicos. (Federación Nacional de Cafeteros, 2013)	49
Tabla 5 nutrientes que influyen en la formación de la planta del cafeto fuente: (Federación Nacional de Cafeteros, 2013)	49
Tabla 6 Yara Colombia Datos de macronutrientes y micronutrientes requeridos para el crecimiento de la planta de cafeto. Tomado de Yara Colombia. (Yara Colombia, 2016).....	50
Tabla 7 que muestra como los fenómenos interanuales pueden afectar la presencia de plagas y enfermedades en el cultivo de café. Fuente: (Cenicafé, 2015).....	50
Tabla 8 tomada del libro Estadística Mario F Triola pág. 230.	61
Tabla 9 Conteo de plantas de Café por lotes Fuente: (Amaya, 2013).	82
Tabla 10 Inventario de flora y fauna hacienda majavita Fuente: (Amaya, 2013)	82
Tabla 11Tabla 4.11 inventario de reptiles comunes en la Hacienda Majavita. (Silva, 2012).83	83
Tabla 12 En esta tabla se presenta las distintas normas que sirven de sustento para la presente obra la mayoría. El lector se puede remitir si lo desea a (ICA, 2015) (Cenicafé, 2016).	88
Tabla 13 Análisis de varianza producción vs precipitación. Fuente: Autor.....	143
Tabla 14 Análisis de varianza producción vs evaporación. Fuente: Autor.....	143
Tabla 15 Análisis de varianza producción vs temperatura. Fuente: Autor	144
Tabla 16. Fuente: Autor.....	144
Tabla 17. De la cual parte la ecuación que se muestra en la figura que se ve a continuación, información extraída de la tabla 67 Fuente de la tabla: Autor.....	146
Tabla 18 coeficiente de correlación entre datos reales y datos teóricos. Fuente: Autor.	152

}

Introducción

Este proyecto se desarrolló en el departamento de Santander en el municipio de Socorro, Hacienda Majavita. Su enfoque fue agroclimático y buscaba encontrar los efectos negativos o positivos en la producción de café castillo de la región ya mencionada. Lo que se analizó fue la correlación de los datos de producción de café respecto al registro de variables de temperatura, precipitación y evaporación en un periodo de 40 años, que se encuentra dentro del rango de la normal climatológica para realizar estudios de cambio climático. Se interrelacionaron estas variables con la producción, para plantear que efectos de este fenómeno han podido repercutir sobre la producción de café castillo. Lo que se analizó básicamente fue la correlación de estos dos fenómenos a través del tiempo de 1970 a 2010. La metodología propuesta para el desarrollo de este proyecto buscó básicamente responder a estas preguntas: ¿Qué variables climatológicas han cambiado en el lapso de tiempo especificado?, ¿Cómo ha sido la producción de sacos de café durante ese lapso de tiempo?, ¿Influyen estas variables en la producción de café?, si influyen, ¿Cuál o cuáles de estas son más representativas a la hora de afectar la producción del café en la zona?, ¿Están interrelacionadas?, como también probar la hipótesis que plantea la existencia de una relación entre la producción de café y el cambio climático a partir de los datos recolectados o en caso contrario falsearla; se identificó una hipótesis nula y una hipótesis alternativa como lo establece la estadística y dependiendo de ello se sustentó qué relación existía entre las variables de producción y clima de la región. Los pasos metodológicos utilizados, así como los resultados que se obtuvieron se podrán encontrar en los siguientes capítulos del presente informe.

1. Descripción del problema

El problema del cambio climático y como tratarlo en diversos aspectos de la vida de la humanidad ha sido en estas últimas décadas tema de estudio central de muchas investigaciones alrededor del mundo. Al investigar acerca del cambio climático en distintas fuentes disponibles y en la red se pueden encontrar miles de artículos, libros y tesis sobre el tema enfocado a sus causas. Sin embargo, las diversas consecuencias e impactos que genera este fenómeno especializado en algún problema de interés han sido poco estudiadas.

Tanto en Colombia como en otros países se han realizado investigaciones acerca del cambio climático con relación a diversas actividades. Dentro de las diversas actividades que se ven afectadas producto del cambio climático como por ejemplo economía y natalidad (Leskien, 2012). Existe una que ha sido innata a la humanidad desde los estados de la barbarie y que nos ha acompañado hasta la civilización actual y es la agricultura.

Entre los indios...existía...cierto cultivo hortense del maíz y quizá de la calabaza, del melón y otras plantas de huerta que les suministraban una parte muy esencial de su alimentación. (Engels, 1891)

Desde que el ser humano cobró razón ha tratado de luchar, adaptándose al clima que lo rodea y que afecta sus actividades cotidianas una de ellas y muy importante la agricultura, ya que la agricultura como lo podemos ver representa el sustento energético para realizar las labores cotidianas y lo fue y seguirá siendo en épocas, posteriores. Es por ello que la calidad de los productos es indispensable. *Actualmente el afán por predecir lo que puede suceder ha echado mano a la ciencia y más aun con respecto a la producción.* (Meadows & Randers, 1972).

Colombia un país agrícola por excelencia, se ve enfrentado constantemente a la pérdida de sus cultivos por la presencia de fenómenos meteorológicos como por ejemplo sequias e

inundaciones que se pueden presentar antes, durante y después de la cosecha de cualquier producto; estos factores pueden afectar la producción (Seonaez, 2006) Dependiendo de la clase de cultivo. Dentro de los productos que se encuentran en el país uno que ha sido emblema de este y sustento de muchas familias campesinos es el café (Nieto Arteta, 2009) Desde un comienzo el café es el producto tratado en esta investigación.

El grano acompañó el amanecer del siglo XX...Al asentarse en las regiones de mayor densidad demográfica, la vertiente andina, a diferencia del pasado, no fue un fenómeno de zonas aisladas (Nieto Arteta, 2009).

Actualmente el café sigue siendo un producto representativo, aún después de la bonanza cafetera ya que sostiene a una gran cantidad de familias en el interior del país. Y hoy como en tiempos remotos aún se investiga cómo combatir los males en la producción que con el cambio climático se han venido fortaleciendo más (Leskinen, 2012)

El problema que trata esta investigación es, el de encontrar qué relación existe entre el cambio climático, fenómeno que acontece en todo el mundo y del cual Colombia no es ajeno, y la producción del cultivo de café castillo que como otros cultivos se ve afectado por este fenómeno, lo que ocasiona pérdidas en el rendimiento y en la calidad del producto como también pérdidas de beneficio – costo del agricultor (FAO, 2015); todo esto particularmente en el departamento de Santander – municipio de Socorro. Donde antes no se había estudiado este fenómeno aplicado a una actividad de la región. La pregunta central a resolver en este problema es, Que efecto ha tenido y puede llegar a tener el cambio climático sobre el rendimiento del cultivo de café castillo (*Coffea Castillo*) en el municipio de Socorro - Santander?, ¿Ha aumentado o disminuido? , esto es lo que básicamente pretende responder la investigación, pero existen otras preguntas más específicas que están implícitas dentro de la pregunta central ya presentada, y que también pretenden ser respondidas en el transcurso de

esta investigación, como por ejemplo: ¿Qué variables climatológicas (temperatura, pluviometría, entre otras) han cambiado en el lapso de tiempo especificado?, ¿Cómo ha sido la producción de sacos de café durante ese lapso de tiempo?, ¿Influyen estas variables en la producción de café?, Si influyen, ¿Cuál o cuáles de estas son más representativas a la hora de afectar la producción del café en la zona?, ¿Están interrelacionadas?.

2. Justificación

El ¿para qué? se debió realizar esta investigación tiene muchas razones, una de ellas es la importancia de identificar si existen relaciones entre las señales del cambio climático que acontece en el municipio de Socorro- Santander, y la producción del café variedad castillo que se cultiva en ese lugar. El departamento de Santander posee un total de 32053 caficultores con un promedio aproximado de 1.41 hm² de igual forma de los 32053 caficultores 7200 se dedican al cultivo de cafés especiales con un promedio por ha de 16000 del área total (CCI, 2012), son estos campesinos y agricultores los que se verían beneficiados además de otros campesinos de otros municipios y departamentos del país. Cabe destacar que en promedio el departamento de Santander:

Cuenta con un área cafetera de 45.322 hectáreas, de las cuales 35.000 de ellas son tecnificadas y sembradas con variedades castillo y caturra resistentes a la roya del cafeto (71,23%) (CCI, 2012).

Además de los 12,3 millones de sacos producidos 10,9 millones de estos fueron exportados solo durante estos últimos 12 meses (durante los meses de abril del 2014 y abril de 2015), de los cuales 7,5 millones de sacos son de la variedad entre castillo y caturro y aproximadamente 1 millón de sacos, sale del departamento de Santander incluyendo los diferentes municipios donde se cultiva, en promedio el 70% de este millón de sacos es para exportación (FNCR, 2015).

También esta investigación fue beneficiosa en el sentido que genera nuevas inquietudes con respecto de otros cultivos u otras labores cotidianas de la humanidad independientemente de la agricultura, es decir cómo afecta el cambio climático a “x” o “y” actividad.

En general, la silvicultura podría ser uno de los sectores que se beneficiaría del cambio climático, mientras que la ganadería, la agricultura, la pesca y el transporte tendrían pérdidas agregadas en su producción (DNP-BID, 2014).

Esta investigación ha sido relevante debido a que el conocimiento del clima por parte de un agricultor puede crecer aún más si se entiende aspectos como: ¿Por qué sus cultivos están cambiando? O ¿Qué sucede con las lluvias que no son como antes?

Este proyecto dio a conocer lo que puede estar pasando, para que la comunidad que vive del cultivo del café y entienda que quizás el cambio climático no es una variable ajena que afecta sus cultivos y la tengan presente.

La variable que más se tiene presente por parte del agricultor son las plagas sin embargo estas ya han sido controladas en la región y están estrechamente correlacionadas con las variables climatológicas (CCI, 2012), específicamente en los municipios de El Socorro, Palmas del Socorro, Valle de San José y Páramo que recibieron por parte de la CIPF, Convención Internacional De Protección Fitosanitaria el reconocimiento de “área libre de roya”. De manera que esto convierte a Colombia en el primer país que ha logrado erradicar la enfermedad de la roya (*Hemelia Vaxtaris*) en las variedades castillo y caturro en un 98% (CCI, 2012). Este hecho dio la oportunidad para que se concentrará la investigación en otras variables que pudieran afectar el cultivo como la que se toma en cuenta en este proyecto y es el cambio climático.

Colombia además produjo 12,3 millones de sacos de café durante el año 2014 y:

Durante lo corrido del año 2015 (enero-marzo) la cosecha creció en un 8% (FNCR, 2015).

Por lo que se hizo indispensable investigar sobre los efectos que tiene el cambio climático ya que la producción ha empezado a aumentar.

De igual forma esta investigación ayuda a contribuir con el conocimiento del cambio climático y a tomar conciencia de este fenómeno, lo que podría mejorar la producción. Ayuda también a entender las causas de una problemática real, que es la pérdida o ganancia en exceso de producción de cultivo de esta clase tomando en cuenta un factor principal que influye sobre las demás variables que es el cambio climático (Leskien, 2012). Por último, esta investigación también contribuye de alguna manera a la Universidad Libre y más específicamente a la Finca Majavita donde se cultiva el café tipo castillo.

Sirve también para informar a la comunidad científica, productores y demás sectores interesados acerca de cómo, los impactos generados por la humanidad al medio ambiente dan como consecuencia el cambio climático y pueden generar un impacto en otras actividades.

Se estima que el impacto agregado del cambio climático en la economía del país sería negativo... En promedio habría pérdidas anuales del PIB del 0,49%... los impactos por sectores y regiones son heterogéneos (DNP-BID, 2014).

3. Objetivos

3.1 Objetivo general.

Analizar posibles correlaciones de los efectos asociados al cambio climático con el comportamiento de la producción de café (*Coffea Castillo*) de Majavita – Socorro – Santander, desde las décadas de 1970 a 2010.

3.2 Objetivos específicos.

- Evaluar parámetros climáticos (Temperatura, Pluviometría, Evaporación) asociados al cultivo de café castillo en el municipio de Socorro, Santander Hacienda Majavita, correspondientes al periodo de análisis climático, de mínimo 3 décadas.
- Analizar los cambios en la producción de café en el municipio de Socorro, Hacienda Majavita a lo largo del tiempo de producción disponible.
- Analizar cuál o cuáles de las variables tiene mayor influencia en la producción de café en el municipio de Socorro Santander Hacienda Majavita, establecer correlación y ver si las variables estas están correlacionadas unas con las otras.

PRIMERA PARTE MARCOS REFERENCIALES.

4. Marcos referenciales

Debido a que el presente trabajo busca responder la relación entre los efectos del cambio climático sobre el comportamiento productivo del café en el municipio de Socorro, es preciso ubicar el planteamiento del problema dentro de una perspectiva teórica que permita entender las diversas posiciones o alternativas de análisis que se tienen, los conceptos fundamentales que de allí surgen para poder comprender el alcance de esta investigación así como los diversos estudios que se han realizado posteriormente, no solo en Colombia sino también en todo el mundo.

4.1 Marco Teórico

4.1.1 El clima

Para poder entender los conceptos sobre cambio climático primero debemos entender que es el clima. El clima lo podemos definir como las condiciones promedio de un lugar en un espacio geográfico determinado generalmente durante un promedio de 30 años. Las condiciones promedio deben ser lo suficientemente grandes como para poder observar unos valores que posean cambios. Según (Seonaez, 2006) podemos decir “Que *el clima es un sistema complejo formado por las interrelaciones de la atmósfera, la hidrosfera, la biosfera, y una serie de factores complementarios como la radiación solar, la rotación de la tierra alrededor del sol y las corrientes oceánicas.*” El campo de la ciencia que se ocupa del estudio del clima es la climatología y “*Trata de establecer la probabilidad de que tenga cada uno de los estados o parámetros meteorológicos (temperatura, lluvia, precipitación humedad del aire, entre otros) en función de sus coordenadas geográficas, y temporales concretos.* (Seonaez, 2006).

También que las variaciones climáticas hacen parte del funcionamiento normal de nuestro planeta. Lo que no podemos decir que es normal, es que esta variabilidad se vea afectada por la intrusión antropogénica de gases efecto invernadero que generan un desbalance energético en el interior del planeta,¹ esto independientemente de los fenómenos astronómicos que también influyen en este balance como factores internos de la Tierra que también producen gases de efecto invernadero pero que la tierra al ser un sistema, puede controlar en su autodepuración, es decir recomponer , más no la carga adicional del ser humano. Dentro de los diversos contaminantes atmosféricos que existen y que pueden tener un origen tanto natural como antropogénico, tendremos solamente en cuenta durante la explicación de esta investigación a los gases que poseen la facultad de absorber el calor y mantenerlo para no dejarlo irradiar al espacio en forma de radiación infrarroja como lo comenta (Mihelic & Zimmerman, 2013) “*sin ellos, la Tierra no sería habitable*”. A estos gases se les conoce como gases de efecto invernadero, esta afirmación se basa en el hecho de que parte de la radiación infrarroja emitida por la superficie de la tierra, durante su camino al espacio es absorbida por las moléculas de estos gases que las reenvían a todas partes lo que provoca el calentamiento de la superficie terrestre, pero a su vez de la parte baja de la atmosfera que es su ubicación. A esta ubicación se lo conoce con el nombre de la troposfera que es la parte más baja² donde absorben el calor y lo mantienen, lo que permite la formación de la vida en nuestro planeta, ejemplos de ellos son el famosos dióxido de carbono, el metano, el vapor de agua, los óxidos de nitrógeno y en forma de contaminantes los CFC’S y el ozono.

¹ sobre este desbalance comentaremos más adelante en el marco conceptual. Ver imagen 1.

² Ver Imagen 2

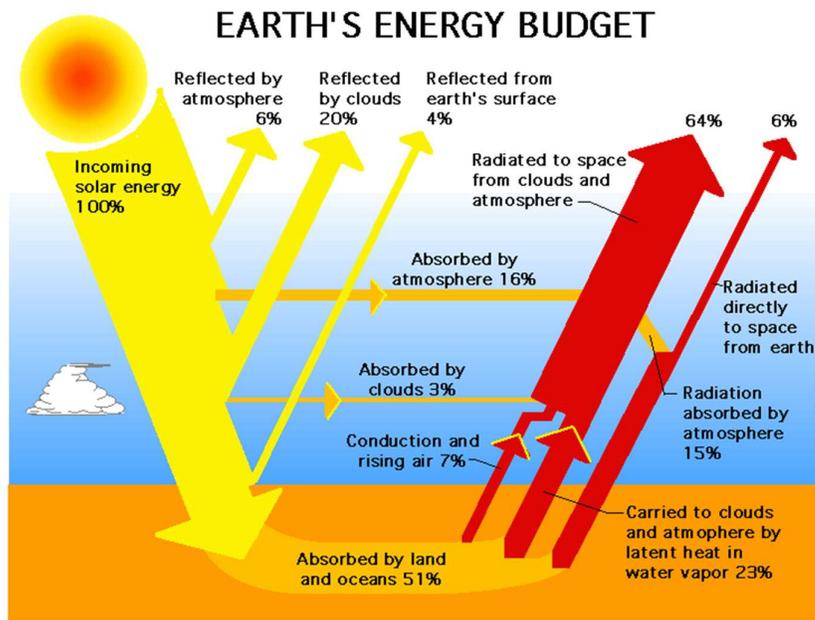


Ilustración 1 Balance energético de la tierra Fuente: (Tomada de la National Aeronautics and Space Administration NASA). (NOAA, 2017).

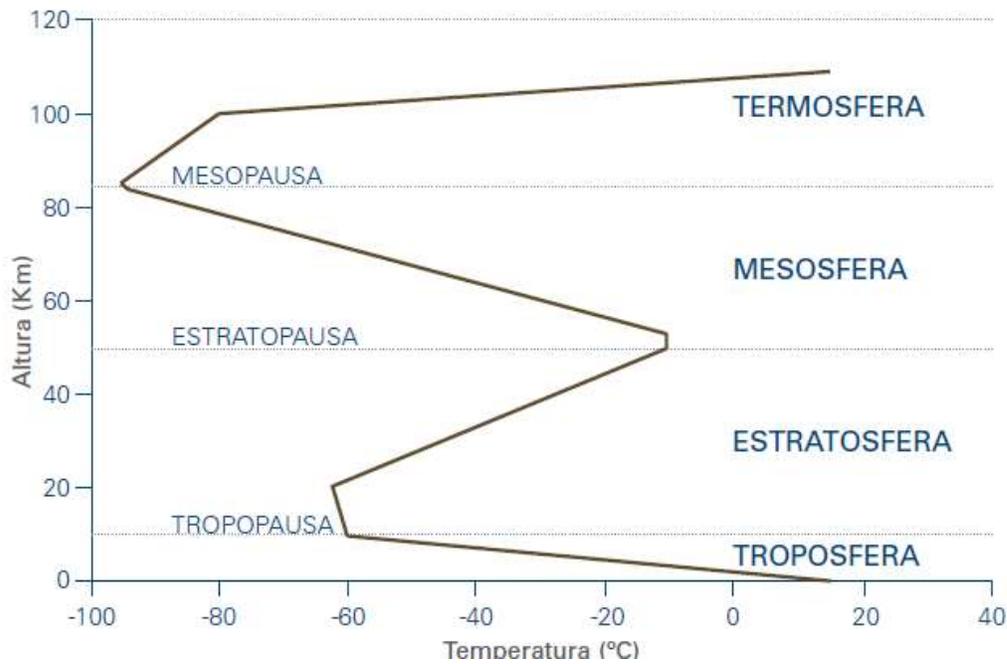


Ilustración 2 Fuente: (Tomada del Libro Unidad Didáctica Meteorología y Climatología – Fundación española para la ciencia y la tecnología ISBN: 84-688-8535-5 página Pág.22).

4.1.2 El clima y datos

Para el caso de la presente investigación se cuentan con datos de carácter cuantitativo, ya que se observaron las variaciones de los estados meteorológicos de la zona desde la época de 1970 a 2010, esto porque se cuenta con estaciones meteorológicas que brindan datos de carácter cuantitativo. Las podemos definir como centros de acopio de información de las variables meteorológicas como: temperatura, precipitación, evaporación, transpiración entre otras. Las estaciones meteorológicas cuentan con diferentes tipos de instrumentos dependiendo de lo que se quiera medir, esto entonces hace que no todas las estaciones cuenten con los mismos equipos y por ende con la misma cantidad de datos. Los diversos equipos serán explicados en el marco conceptual del presente trabajo. Como veremos no siempre se ha contado con la cantidad de datos con las que se cuenta ahora y con las estaciones meteorológicas y equipos, y los científicos e ingenieros que actualmente han querido estudiar el clima de otras épocas han tenido que utilizar otros métodos para su medición.

Como sabemos el clima ha venido cambiando a lo largo de la historia, no es porque este cambiando actualmente por la simple acción de los seres humanos sino porque es algo natural y como lo comentábamos anteriormente es parte de la variabilidad climática, a la variabilidad se le debe entender como los cambios naturales del clima sin tener en cuenta las aportaciones del ser humano dentro del planeta.³ Entonces este cambio es parte de la misma evolución del planeta. La atmósfera como hoy día la conocemos ha cambiado tanto que también esta ha hecho parte de la misma evolución del planeta, y no se ha quedado inmóvil y eterna como muchos creen. Actualmente los científicos e ingenieros gracias al análisis de datos de registro fósil pueden conocer cómo se comportó el clima en épocas anteriores a la misma aparición del ser humano con técnicas de datos ya sean cuantitativos o cualitativos.

³ Se entrará con mayor detalle en el marco conceptual.

Generalmente se tienen tres grandes subdivisiones según (Zuñiga & Arco, 2010). La primera la podemos clasificar como *“el llamado paleo clima que es la etapa anterior a la aparición del hombre (ser humano) civilizado y que se remonta en el pasado a miles de millones de años”*. De esta etapa no se tienen datos concretos ya que el ser humano como tal no estaba presente en esta época sin embargo gracias a la ciencia y a las técnicas de datación con isótopos, las excavaciones polares para extraer aire de las partículas congeladas y *“crecimiento anual de los anillos de los troncos de los árboles, de cuyo espesor se puede deducir la precipitación anual en esa región”* (Zuñiga & Arco, 2010). Se ha podido determinar cómo era ese clima durante ese tiempo. Ahora bien, la segunda etapa comprende desde la aparición del ser humano hasta el siglo XVII, según (Zuñiga & Arco, 2010) *“Esta época está caracterizada porque en ella podemos encontrar datos históricos documentales de carácter cualitativo”*. Ejemplo de estos son los que encontramos en la biblia como por ejemplo la inundación de Noé o los datos que encontramos sobre las crecidas del Nilo o sus sequías.

“El hombre (ser humano) ha conocido ya algunos de estos cambios climáticos en el pasado y que influyeron de forma decisiva en la evolución de distintas civilizaciones. Un claro ejemplo de la dependencia es la civilización egipcia del río Nilo. Debido a la gran importancia de las crecidas anuales del río, de las que dependía la productividad de su agricultura se dispone de un registro histórico de más de 1000 años (registro cualitativo)”. (Seonaez, 2006).

Otro cambio importante que podemos destacar durante esta época que es la que cuenta con más datos, pero cualitativos es la referente a los vikingos de la edad media como no lo comentan Figuerelo & Dávila (2009):

“Por ejemplo, el periodo de temperaturas suaves permitió a los navegantes vikingos llegar a Islandia (año 930), donde fundaron una colonia estable, desde la que Erik el Rojo partió y llegó Groenlandia en el año 982. Fue probablemente Erik el rojo el que

bautizo “Tierra verde” Groenlandia (Greenland en inglés) porque esa debió ser su apariencia por la benignidad del clima.....Allí fundó una colonia, pero en el siglo XIV el clima se deterioró, el hielo se expandió hacia el sur e impidió la navegación entre Islandia y Groenlandia que quedó aislada del mundo”.

Una última clasificación es la referente al Siglo XVII hasta nuestra época donde se poseen datos de carácter cuantitativo, y donde afortunadamente se ubica esta investigación. Con estos datos entonces los científicos e ingenieros pueden construir gráficas y hacer análisis para ver como se ha comportado el clima a lo largo del tiempo, cotejando esto con los datos cualitativos o experimentales de diarios de viaje, pinturas rupestres y la misma arqueología y los datos que se obtiene por isótopos de las épocas antes de la aparición del ser humano, se puede entonces tener una visión general de lo que ha sido la historia del clima en nuestro planeta tierra.

4.1.3 Factores Que Afectan El Clima

Luego de ver como se han obtenido los datos históricos del clima de nuestro planeta procederemos a hablar acerca de los diferentes factores que afectan el clima. Hay que tener en cuenta que el clima se puede ver influido por factores tanto internos como externos, son estas variaciones las que han hecho que surjan diferentes puntos de vista o teorías con respecto al cambio climático. Comenzaremos hablando de los factores internos del planeta que afectan el clima.

Dentro de las diversas causas internas que afectan el clima de nuestro planeta podemos decir que existen algunos factores como:

- La deriva continental (Fenómenos internos de las corrientes de aire y oceánicas).
- Cambios en la constitución atmosférica por actividad volcánica.

El lector debe tener presente que estas causas que afectan el clima son naturales, por ahora no tendremos en cuenta las causas antrópicas que también se consideran como causas internas y de las que ya hemos tratado un poco, pero que trataremos más adelante.

4.1.3.1 La Deriva Continental

Las diversas modificaciones que sufre la corteza de la tierra por el movimiento de las capas tectónicas y de las capas más superficiales es decir las litosferas según (Zuñiga & Arco, 2010) *“ha modificado la forma y distribución de los continentes y océanos a lo largo de la historia de la Tierra”*, esto produce que se generen diferentes tipos de clima alrededor del mundo, *“Las modificaciones en la distribución de las tierras emergidas debido a la deriva de los continentes explican los grandes cambios climáticos de la historia de la tierra. El ser humano ha conocido unas condiciones climáticas relativamente estables durante unos 5 millones de años, que han permitido la evolución como especie y el desarrollo de sus sociedades”* (Seonaez, 2006). Sin embargo, como comenta Seonaez, nuestro planeta es un planeta que está en constante evolución y el clima como hoy día lo conocemos va evolucionar. *“...Esta situación es en realidad anormal dentro de la historia geológica del planeta, ya que las fuerzas internas actúan continuamente modificando la geografía y alteran las condiciones climáticas”* (Seonaez, 2006).

Básicamente podemos decir que la deriva continental produce cambios sobre el clima de nuestro planeta de dos formas:

1. Por la distribución continental que a su vez repercute en las corrientes oceánicas, que por ser agua son grandes corrientes o “maquinas térmicas” que transportan el calor a lo largo de nuestro planeta desde las zonas polares a las intertropicales y viceversa.

“Ejemplo de este fenómeno fue el calentamiento global que produjo la unión del continente americano por el Istmo de Panamá, cuando al aislar al Atlántico del

Pacífico reforzó la circulación desde el ecuador hacia los polos a lo largo de las costas americanas” (Zuñiga & Arco, 2010).

2. El segundo efecto es el de la distribución de los continentes con respecto al albedo⁴ y de igual forma la distribución de los océanos y su respectivo albedo. Dependiendo de la ubicación de los continentes el sol va incidir sobre ellos, perpendicularmente todo el año como es en el caso de las zonas intertropicales o tangencialmente como se da en la zona de los trópicos. A medida que avanzamos hacia los polos, la radiación incidente se vuelve más tangencial lo que hace que el albedo sea del 100% mientras que en las zonas intertropicales sea de 1% al 5% en los océanos, esto se debe el color blanco de los polos que refleja toda la energía lumínica incidente, mientras que en los océanos y en las zonas continentales los colores absorben más energía. Hay que tener presente que la absorción es inversamente proporcional al albedo si decimos que una zona tiene 100% de albedo esto quiere decir que hay absorción 0 % mientras que si decimos que una zona posee albedo del 5% esto quiere decir que absorbe un 95% de la energía incidente ya sea tangencial o perpendicularmente y solo refleja el 5%.

Como lo comentan (Zuñiga & Arco, 2010), si la mayoría de los continentes de nuestro planeta se encontraran en la zona ecuatorial del planeta, el albedo de nuestro planeta aumentaría, por lo que las condiciones predominantes serían las de un clima gélido, “*esta distribución se dio en Pangea I, en el Proterozoico superior hace aproximadamente 600 millones de años*”, pero como nuestros continentes están distribuidos esto ocasiona que el albedo disminuya con su posterior calentamiento.

El cambio en el albedo también se puede dar por contaminación de suelos o de las superficies por la intervención del ser humano, un ejemplo sencillo es el que se está presentando

⁴ Se explicará con más profundidad en el marco conceptual pero que lo podemos definir como “*La fracción de energía incidente que se refleja en una superficie*” (Zuñiga & Arco, 2010).

actualmente en el ártico con la explotación de petróleo, que al presentarse derrames sobre las capas de nieve cambia el albedo de la zona afectada (Greenpeace, 2012), ejemplos de estos tipos de incidentes ambientales que causaron y siguen causando impactos ambientales importantes como la pérdida de la biodiversidad marítima y afectaciones sociales a los pescadores y comunidades autóctonas de las regiones afectadas, fueron los ocurridos el 24 de Marzo de 1989 en Estados Unidos cuando el buque Exxon Valdez derramo aproximadamente 120.000 m³ de crudo sobre la costa de Alaska, (Bluemink, 2016), de igual forma, de magnitud importante pero poco difundido fue el ocurrido en la región de Komi, círculo polar ártico de Rusia el verano de 1993, cuando se derramaron aproximadamente 14.000 Ton de crudo sobre grandes extensiones de riachuelos árticos que terminaron afectando al río Kolva y a la población de la región municipal de Usinksi creándose una mancha de 10 km de largo por 0,1 km de ancho (El País, 2017), de igual forma a un nivel más cercano a nuestra realidad colombiana, la implementación de proyectos lineales como las vías, genera que se cambie el albedo de la superficie donde se desarrolla la construcción convirtiéndose en negra y disminuyendo albedo lo que genera un impacto ambiental tipo barrera que aísla los ecosistemas, fracciona los hábitats y genera un efecto borde, así que a su vez incrementa la temperatura de la zona y aumenta el flujo de contaminación visual, acústica y atmosférica (Biggs, 2012).

Es de resaltar que después de la Pangea I se empezaron a formar los casquetes polares. ¿Pero cómo se dio este extraordinario hecho sabiendo que el albedo de nuestro planeta disminuía y por ende aumentaba la temperatura del planeta? Esto se debió principalmente a la llegada de los rayos solares a los polos de nuestro planeta. Al llegar de forma tangencial las aguas empezaron a congelarse.

“La propia existencia de los casquetes polares del planeta es un hecho extraordinario que nunca se había producido puesto que los océanos son eficaces conductores de calor y las corrientes cálidas procedentes de los trópicos normalmente impiden la congelación...” (Seonaez, 2006).

4.1.3.2 Cambios en la constitución atmosférica por actividad volcánica

El desarrollo de las actividades tectónicas en el planeta usualmente puede generar actividad volcánica, esta actividad volcánica hace que se produzcan erupciones que expulsan a la atmósfera gases y partículas azufradas y cenizas que generan cambios en la radiación que llega a la superficie es decir en el albedo. Los efectos pueden ser devastadores si se tratase de erupciones simultáneas o de erupciones de súper- volcanes, ya que esto incide directamente sobre el proceso de la fotosíntesis y a su vez en el comportamiento del clima como nos lo dicen (Zuñiga & Arco, 2010) *“Un ejemplo fue la explosión del volcán Tambora en 1815 que originó tal bajada de temperaturas en el hemisferio norte que en 1816 se le conoció como el año sin verano”*. Los efectos sobre la atmósfera de la presencia de estas partículas y cenizas pueden perdurar de unas decenas de años hasta una centuria completa lo que puede producir algo conocido como invierno volcánico, que se caracteriza por precipitaciones en forma de nieve con cenizas y residuos ácidos y azufrados. Similar efecto puede causar el impacto de un cuerpo celeste ⁵o los efectos de una bomba nuclear que se le conoce como invierno nuclear.

Luego de conocer los factores internos que afectan el clima de nuestro planeta de forma natural veremos ahora los factores externos que de igual forma lo afectan. Entre las principales causas que afectan el clima de nuestro planeta de forma externa tenemos:

- Cambios en la órbita de nuestro planeta.
- Impacto de cuerpos celestes.

⁵ Comentado en este mismo apartado más adelante.

- Variaciones de la actividad solar

4.1.3.3 Cambios en la Órbita de nuestro planeta

Este fenómeno que afecta nuestro clima a nivel astronómico fue estudiado por primera vez por el Ingeniero y astrónomo yugoslavo Milutin Milancović en el siglo pasado en su obra titulada en francés “*Theorie Mathematique des Phenomenes Thermiques produits para la Radiation Solaire*” (Seonaez, 2006), esta teoría plantea tres movimientos que ocurren en la órbita, que sumados a los movimientos terrestres y a los cambios internos que se generan, sumados todos afectan el clima. Podemos resumir estos tres movimientos como:

1. **Precesión en el eje de rotación:** También se le conoce como movimiento de nutación y se le puede asemejar al movimiento que describe un trompo cuando está a punto de tocar el suelo, este empieza a cabecear a diferentes ángulos, como se puede observar en la imagen 4.3. Este movimiento se produce debido a que “*La atracción que ejercen el Sol y la Luna sobre la zona ecuatorial del planeta hace que se tambalee describiendo un cono en periodos de 26000 años*” (Seonaez, 2006). O según (Zuñiga & Arco, 2010) “*El eje de la tierra está girando alrededor de un eje perpendicular a la elíptica de manera parecida a la que lo hace un trompo, en sentido contrario a la rotación y con unos periodos de aproximadamente 25000 años*”. La diferencia fundamental entre la precesión de la tierra con respecto a la de un trompo es que su movimiento de rotación es contrario al movimiento de su precesión, este fenómeno se puede observar en la imagen 4.3. La importancia de este movimiento radica principalmente en la modificación de la ubicación de los solsticios y los equinoccios con respecto al afelio y al perihelio y de igual forma su duración⁶.

⁶ Explicado más adelante. Afelio se refiere al punto más lejano entre los focos de la Tierra y el Sol. Mientras que perihelio es el punto más cercano.

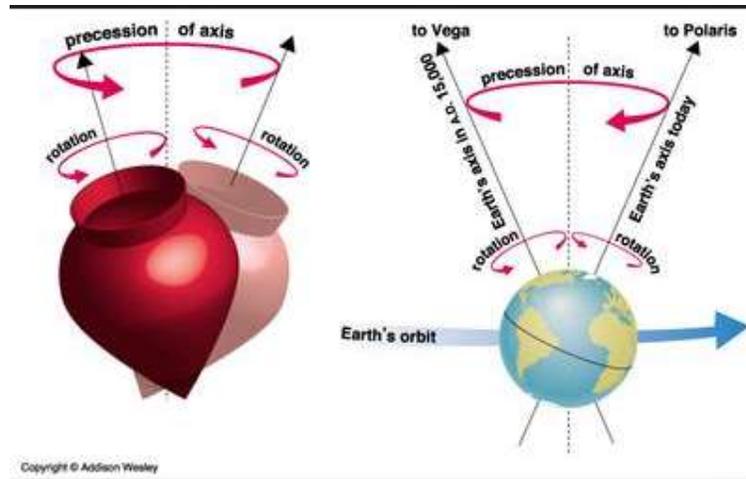


Ilustración 3 (Tomada de Addison Wesley – Pearson Copyright © traductor.babylon.com <http://bis.babylon.com/?rt=GetFile&uri=!!QH57AB8QMA&type=0&index=87> para poder ver una animación del movimiento por favor remítase al siguiente link <https://www.youtube.com/watch?v=sqhlInOWQE>)

2. **Oblicuidad del Eje de rotación:** Este movimiento se refiere a la desviación del eje o su inclinación con respecto al eje γ . Podemos decir que según la literatura que:

“Tierra forma actualmente una forma un ángulo de 23.5° con la perpendicular al plano de la elíptica. Este ángulo oscila entre 21.6° y 24.5° con un periodo de 40000 años. A esta inclinación se deben las estaciones”. (Zuñiga & Arco, 2010).

Esta oblicuidad del eje de rotación ocasiona que se generen los diversos tipos de oscilaciones, la más importante por nuestra ubicación geográfica el ENSO (El Niño Niña –Southern Oscillation), también se destacan a nivel mundial otras oscilaciones consecuentes de la oblicuidad de la tierra como The Arctic Oscillation (AO) and Antarctic Oscillation (AAO), The Pacific North American Oscillation (PNA) y The North Atlantic Oscillation (NAO) (Bridgman & Oliver, 2015).

La variación entonces en el eje produce un balanceo o cabeceo que incide principalmente sobre las estaciones. Una variación en el eje afectaría un poco la

incidencia del Sol sobre el planeta y por su puesto modificaría el tiempo de las estaciones en los trópicos.

3. **Excentricidad de la órbita:** Este movimiento afecta principalmente al movimiento de traslación ya que retarda o acorta el movimiento de la tierra a través de esta según su excentricidad; es decir según de cuan alargada este la elipse o cuan parecida sea a una circunferencia, esto se debe principalmente a la cercanía de los focos o a su lejanía, debemos recordar que en uno de los focos está el Sol, esto por la teoría de Kepler y en el otro se encuentra la Tierra. La excentricidad de la órbita terrestre se debe principalmente a la acción de la gravedad de los diversos planetas que conforman nuestro sistema solar lo que produce que haya más o menos excentricidad y que tanto los focos Tierra – Sol estén más cercanos o lejanos. Según se puede encontrar en literatura la excentricidad actual es pequeña por lo que la órbita se comporta como una elipse y esta es la clave de que este fenómeno incida en el clima de nuestro planeta; cuando la excentricidad tendiera a comportarse como una circunferencia *“el calor se distribuiría uniformemente a lo largo del año”* (Seonaez, 2006). Pero al estar en forma de elipse la tierra se comporta distinto, tendrá un momento en el que estará cerca del Sol que se le conoce como Afelio a una distancia aproximada de 1.52×10^8 km mientras que en Perihelio la tierra se encuentra $4,8 \times 10^7$ km. Estas posiciones inciden sobre las estaciones en los trópicos tanto en el norte como en el sur haciendo que estos sean más suaves o fuertes junto con todos los factores ya mencionados. La oscilación de la elipse se da en un periodo aproximado de 100000 a 400000 años (Seonaez, 2006).

Como se producen diversos ciclos en los movimientos, esto genera complicados sistemas que mezclados con los factores internos naturales y las aportaciones de la humanidad producen un sistema aún más complejo sin embargo la teoría de Milancović si es cierta, pero no es lo único

factor que hace que se produzcan variaciones climáticas y cambio climático hasta lo que hemos visto.

4.1.3.4 Impacto de cuerpos celestes

Después de comentar los factores que inciden sobre la órbita de la Tierra explicaremos los factores que afectan el clima por el impacto de un cuerpo celeste, sea este un cometa, un meteorito o un asteroide. Podemos decir que el daño es directamente proporcional a su masa, si un cuerpo celeste lo suficientemente grande chocará el día de hoy contra nuestro planeta podría afectar a la capa de ozono, produciendo multitud de partículas que llegarían a está produciendo tormentas que cambiarían el albedo como lo comentábamos anteriormente como otros fenómenos o procesos naturales como serian terremotos, erupciones volcánicas, tsunamis entre otros. La extinción de la vida sería un hecho como lo fue hace millones de años con los dinosaurios. De igual forma la composición de la tierra podría cambiar añadiendo nuevos materiales a esta como por ejemplo *“la anomalía del iridio es el problema más conocido que es un nivel presente en determinadas rocas como las sedimentarias que esta enriquecido de este metal... El iridio es muy escaso en la superficie terrestre y sin embargo esta capa de iridio se encuentra en muchos lugares del planeta”*. (Zuñiga & Arco, 2010).



Ilustración 4 Ejemplo de meteorito impactando en la Tierra
Fuente: Science.net.

4.1.3.5 Variaciones de la actividad Solar

Estas variaciones están relacionadas con la superficie del Sol y la actividad de manchas solares. *“Este es un fenómeno fácilmente observable y hay un registro de este número desde el*

descubrimiento del telescopio a principios del siglo XVII... Y que presenta una clara regularidad de ciclo de 11 años.” (Zuñiga & Arco, 2010). Y que están relacionados según estudios al aumento de la temperatura de la troposfera (Figuerelo & Dávila, 2009). Entre otros ciclos de la actividad solar se tienen documentados aquellos en los cuales su actividad solar ha disminuido es decir no hubo presencia de manchas solares en esos instantes, estas oscilaciones se dan cada 200 años y se caracterizan por inviernos fríos. (Fundación Española para la ciencia y la tecnología, 2004). A estos se le conocen como Mínimos y existen dos famosos el primero el Mínimo de Spörer (de 1450 – 1510) y el segundo Mínimo de Maunder (de 1643 -1715). *“Hay un tercer ciclo con un periodo de 1000 años que hace que los mínimos de actividad solar se produzcan en los siglos intermedios de cada milenio”.* (Zuñiga & Arco, 2010). Como los mínimos ya nombrados. Si esto se produce entonces estamos en el momento de descenso de la actividad solar ya que en las décadas de 1980 hasta 1990 se alcanzó ese culmen del sol es decir del ciclo de las manchas solares, lo que se confirmaría a la mitad de este siglo y comenzaría de nuevo en inicio en el 3000 y así sucesivamente.

4.1.4 Efectos Periódicos (El Niño y La Niña)

De igual forma como fenómeno interno que afecta periódicamente nuestro planeta tenemos el fenómeno del niño y el fenómeno de la niña, con una periodicidad de 2 a 7 años. Ambos fenómenos se caracterizan por su interrelación atmosférica con el océano pacífico y se diferencian en la temperatura de sus corrientes, el Niño se conoce por la característica de sus corrientes cálidas lo que produce el desplazamiento de los peces de las costas pacíficas del oriente, es decir de nuestras costas como por ejemplo el departamento del Choco. Este fenómeno (el niño) se produce por una diferencia de la presión atmosférica en dos puntos, uno ubicado en Asia y otro ubicado en Sudamérica, la presión del punto asiático aumenta, lo que produce que se desplacen la masa de nubes al este. Los vientos alisios cesan del todo, la

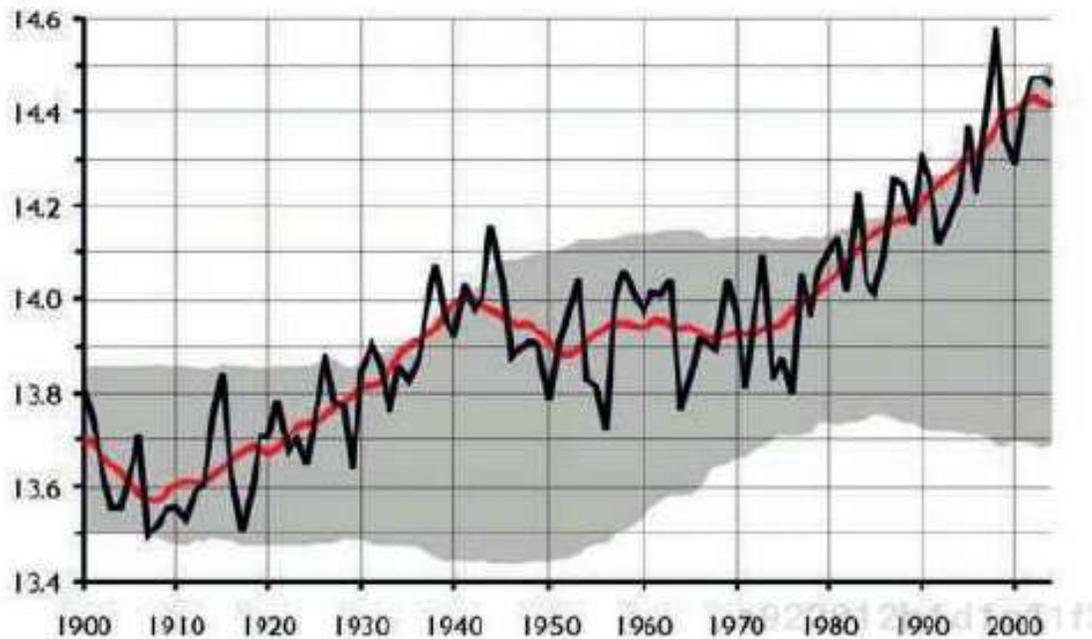
dirección de estos vientos es hacia el oeste, esto origina condiciones secas en las costas asiáticas y húmedas en las costas pacíficas de Sudamérica, pero hacia los centros de nuestro país genera condiciones de sequía. El fenómeno de la niña es un fenómeno contrario, los alisios se activan de nuevo lo que produce desplazamiento de las corrientes de agua cálida hacia el oeste, es decir hacia las costas asiáticas, la presión de la atmosfera aumenta en Sudamérica y desplaza las nubes hacia las costas asiáticas, y se producen sequias en las costas pacificas de américa y lluvias fuertes en Asia y el sur del África. Sin embargo, en el interior del país se producen lluvias e inundaciones contrario al fenómeno del niño. Se debe tener en cuenta que dependiendo la ubicación geográfica el fenómeno va a ser percibido de diferentes maneras, por ejemplo, en el Perú su comportamiento en el interior del país es exacto al comportamiento global mientras que en nuestro caso se presenta el efecto contrario. Las incidencias de estos factores internos periódicos sobre los cultivos de nuestro país son diversas, teniendo en cuenta que tanto los factores externos como solo algunos de los internos como el presente son periódicos, estos afectan de diversas formas nuestros cultivos y en especial al cultivo de interés, el café, como se observa en la imagen 4 estas son las principales características o incidencias que posee este fenómeno sobre el cultivo.

4.1.5 Cambio Climático, causas y consecuencias.

El clima es una función no solo de la atmósfera, sino que es la respuesta a enlaces y acoplamientos entre la atmósfera, la hidrósfera, la biósfera, y la geosfera. (Bridgman & Oliver, 2015). Además de nombrar estas esferas, (Manahan, 2012) habla de una quinta esfera que aporta materia y energía a las otras cuatro y es la antroposfera, o la esfera donde los seres humanos coexistimos realizando nuestros procesos y aportando a las demás esferas nuestros productos, que en muchos casos son residuos sólidos y contaminantes.

Los científicos con los diversos datos que se tienen acerca de los ciclos tanto internos como externos han podido calcular la media de la temperatura de nuestro planeta tierra desde el año 1900 (Zuñiga & Arco, 2010). Este proceso es difícil ya que se debe tener en cuenta las medias de temperatura del agua, la atmosfera y la superficie continental desde esa época. En la imagen 4.5 se puede observar una gráfica que está en función de la temperatura media de la tierra y el tiempo se puede ver que esta va en crecimiento.

Ilustración 5 (Zuñiga & Arco, 2010) descripción de la concentración de CO₂ Tomada de la Pagina 235.



En la imagen se pueden observar que hay dos periodos de aumento y un periodo de enfriamiento “ La primera etapa de calentamiento pudo ser causada por efectos naturales , posiblemente por la variación de la actividad ... la segunda etapa la de enfriamiento se ha explicado por un aumento en las emisiones de aerosoles de origen industrial y a la tercera etapa es la que se le conoce como de calentamiento global y que corresponde por el incremento de la temperatura desde 1970 hasta nuestros días”. (Zuñiga & Arco, 2010). A esta última etapa se le correlaciona muy probablemente con el aumento de la concentración de las emisiones de gases efecto invernadero, planteada ya en el siglo XIX por Arrhenius (Craig, Vaughan, & Skinner, 2014). Esta afirmación se hace debido a que se han estudiado los llamados testigos de

hielo o burbujas de gas que quedaron atrapadas o congeladas y que permitieron el análisis de la concentración del dióxido de carbono CO₂ con respecto al incremento de la temperatura.

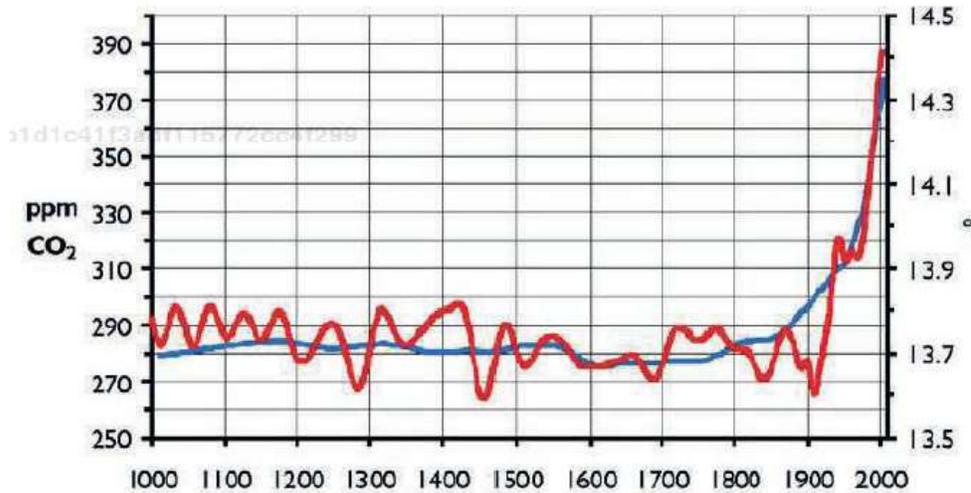


Ilustración 6 Tomada de (Zuñiga & Arco, 2010) Tomada de la Página 236. En esta imagen se puede observar la correlación que existe entre la concentración de dióxido de carbono y la temperatura con respecto al tiempo

Como podemos observar “Esta probado científicamente que la quema de combustibles fósiles es la principal causa del incremento del CO₂” (Zuñiga & Arco, 2010). “Las medidas de aire ocluido en muestras de hielo indican que la concentración de CO₂ a mediados del siglo XVIII, antes del comienzo de la era industrial, era de unas 280 ppm, que en 1992 se habían elevado hasta 356 ppm, con un crecimiento anual en los últimos años de unas 1.5 ppm, el doble que el incremento anual de 1960” (Figuerelo & Dávila, 2009). En la imagen 4.7 se muestra la variación de la concentración de dióxido de carbono anual, con sus respectivas variaciones estacionales que muestran los característicos dientes de sierra, obtenidas en el observatorio de Maunna Loa Hawái. Para estimar la importancia relativa de los demás gases efecto invernadero no solo el dióxido de carbono se debe tener en cuenta dos factores tiempo de permanencia y capacidad de absorbanca de la radiación infrarroja, existe un índice conocido como índice PCM, que es el factor de potencial de calentamiento mundial de un gas específico, también se le define como forzamiento radiativo producido por unidad de masa. Luego el producto del

PCM de un determinado gas distinto al CO₂, sería igual a la cantidad de CO₂ que durante ese mismo periodo tiempo causaría el gas en cuestión. (Zuñiga & Arco, 2010).

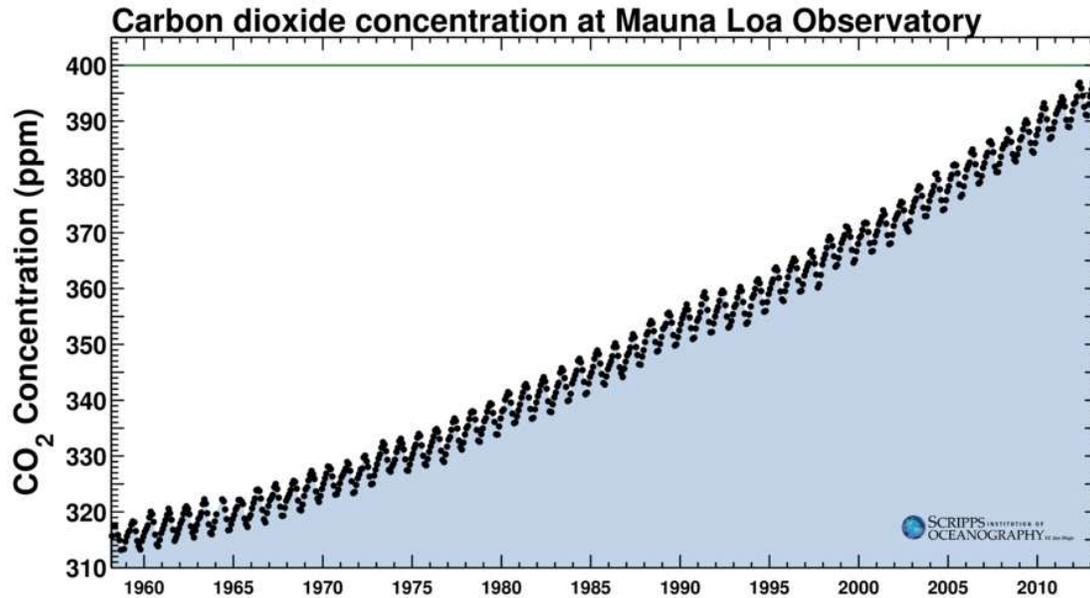


Ilustración 7 Tomada de (*Oceanography*, 2015). Los datos representados son los meses de mayo y septiembre que son los meses de máxima concentración. Fuente: Scripps oceanography.

Las consecuencias que genera este fenómeno sobre otras actividades del ser humano como también sobre la naturaleza serán brevemente descritas a continuación. Dentro de los impactos del cambio climático en forma natural uno de los impactos que más preocupa es el aumento del nivel del mar, las razones principales para la subida del mar son la fusión de los casquetes polares, la dilatación de las aguas oceánicas y también la fusión de las nieves perpetuas. “*Se está produciendo una interferencia humana en el sistema climático, y el cambio climático plantea riesgos para los sistemas humanos y naturales*” (IPCC - OMM, 2014) , “*durante el siglo XX el nivel del mar ha ascendido 18 cm de los cuales 14 cm pertenecen a la fusión de glaciares de montaña*” (IPCC - OMM, 2014). Según el informe de cambio climático de la IPCC para 2014 para este siglo el incremento será de un 32% de los cuales el 30% corresponderá a la dilatación de las aguas salinas y el resto de la fusión de los casquetes polares

y el agua en forma de permafrost y nieves perpetuas. Otro impacto importante además de o la desertificación o desertización, y los impactos a la salud, es el impacto a la agricultura y su productividad.

Según la FAO *“La adaptación de los sistemas alimentarios (Agricultura) al cambio climático es esencial para fomentar la seguridad alimentaria, la mitigación de la pobreza y la gestión sostenible y conservación de los recursos naturales. Muchos países ya están sufriendo las repercusiones del cambio climático en forma de una pluviometría irregular e impredecible, un aumento de la incidencia de las tormentas y sequías prolongadas”* (FAO, 2013).

Ahora bien, los gobiernos como el de nuestro país ya están empezando a realizar gestiones sobre como poder evitar esos impactos y que se puede hacer para reducirlos. Según el informe impactos económicos del DNP (Departamento nacional de planeación) y el BID (Banco interamericano de desarrollo) Junto con otras entidades tanto nacionales como extranjeras

“Los resultados del estudio realizado presentan evidencias de los potenciales efectos del cambio climático en la economía del país. Con base en los escenarios del clima futuro del IDEAM, se estima que el impacto agregado del cambio climático en la economía del país sería negativo. Contando sólo con los impactos analizados en este estudio, de 2011 a 2100, en promedio habría pérdidas anuales del PIB del 0,49%” (DNP-BID, 2014).

Además, se debe tener en cuenta que la agricultura en nuestro país según estudios de la CIAT representa la décima parte de nuestro PIB y además *“es una fuente de empleo para más de una quinta parte de su población. Los análisis indican que para el 2050 es probable que se presenten aumentos significativos de la temperatura, precipitación más errática y mayor prevalencia de plagas y enfermedades”* (CIAT, 2013).

Ahora bien, como se comentaba anteriormente no todos los productos se verán afectados por este cambio climático, sino que se beneficiaran, sin embargo, con respecto al café y todas sus variedades se puede decir que si los ciclos presentes en el interior de la tierra van a cambiar entonces de igual forma van a cambiar las formas de producción o por los diversos desordenes del tiempo atmosférico se perderá en producción.

4.1.6 Generalidades Café Castillo.

Como el producto agrícola a tratar en esta obra es el café, explicaremos varios datos de interés acerca de este cultivo. El café es originario de Etiopia y fue comercializado por los árabes por largo tiempo (Arteta, 1948). Pertenece a la familia *Rubiaceae* y al género *Coffea*, posee diversos tipos que se encuentran esparcidos por todo el mundo, siendo los más famosos y utilizados el *Coffea Arábica* y el *Coffea Canephora* (Según clasificación de C. Lineo), los cuales en el lenguaje mercantil se les conoce como cafés arábigos y cafés robustos. (Cenicafé, 2015). La primera clase de café se cultiva según Cenicafé en un “80 %, que corresponde a la especie arábica que se cultiva principalmente en los países centroamericanos, Colombia, Brasil, en algunos países asiáticos como la India y del África como en Kenia y Etiopía.” (Cenicafé, 2015). Mientras que la segunda clase es más cultivada en África y en Asia, solo esta se cultiva en Brasil. La principal diferencia es el tamaño de su fruto y acidez. El *Coffea Arábigo* es más ácido que su familiar. Su cultivo en Colombia es para la preparación de bebidas, la más famosa el café, que puede decirse que es una bebida libre de alcohol y a pesar de esto es una de las bebidas más socializantes en todo el mundo. En Colombia las diferentes variedades cultivadas pertenecen al taxón del *Coffea Arábica* del que se derivan las variedades Caturro(a), Timor, Bourbon o Borbón, Arábigo Típica, Maragogipe y Castillo que también se le conoce como variedad Colombia y es resistente a la roya y que se explica más adelante en este apartado. Fue por el mundo árabe donde comenzó a expandirse el café, se introdujo a España por medio de

los monjes y de ahí paso a toda Europa y a todo el mundo. Fue por medio de los sacerdotes jesuitas que el café llego a Colombia (Arteta, 1948), su principal fuente de cultivo fue en los departamentos de Casanare y Santander sin embargo no progreso bien en este primero sino en las montañas de los Andes, sin embargo, a este segundo lugar llego mucho después “a *finales del siglo XVIII*” (Cenicafé, 2015). El café Arábigo fue el cultivo que más se cultivó en el país, desde donde se expandió por los departamentos como Cundinamarca, Parte de Boyacá, Tolima, Huila y Antioquia empezando a competir con la Quina ampliamente cultivada en el Reino de la Nueva Granada. Luego de la independencia con respecto a España se siguió cultivando esta variedad. Fue hacia el año de 1927 cuando con la organización de diversas familias cafeteras se creó la FNC (Federación nacional de cafeteros). Once años más tarde la FCN fundo la organización Cenicafé (Centro nacional de Investigaciones de café “*con el objeto de estudiar los aspectos relacionados con la producción en las fincas, la cosecha, el beneficio, la calidad del grano, el manejo y la utilización de los subproductos de la explotación cafetera, y la conservación de los recursos naturales de la zona cafetera colombiana como también el descubrir nuevos cruces que sean resistentes a enfermedades y plagas.*” (Cenicafé, 2015). Sin embargo, a mediados del siglo XIX y principios del XX una nueva enfermedad apareció en Kenia, conocida como la Roya o (*Hemelia Vaxtarix*), esta llego al país a mediados de 1983 afectando los diversos cultivos del país (Céspedes P. B., 2009). Sin embargo, Cenicafé, con sus investigaciones predijo la llegada de la enfermedad y desde 1950 aproximadamente empezó

a las investigaciones para el desarrollo o la obtención de una variedad más resistente a la enfermedad.

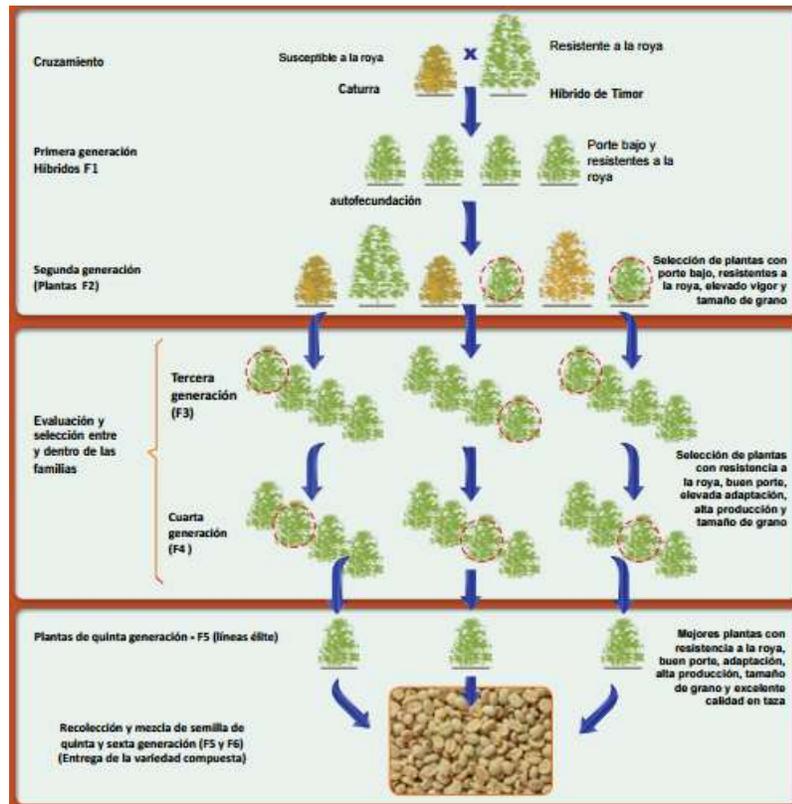


Ilustración 8 Tomada de (Cenicafé, 2015). Explica la genética de la planta de café

Hacia el año de 1968 la institución empieza la repartición de las nuevas semillas. Pero no es sino hasta mediados de los años 80 cuando la institución obtiene la variedad castillo. “Para obtener la variedad se utilizaron como progenitores la variedad Caturra y el Híbrido de Timor, recursos genéticos ampliamente conocidos” (Cenicafé, 2015). Razón por la cual se utilizaron estas dos variedades fue en el caso de la caturra por “el porte bajo de sus plantas permite el establecimiento en altas densidades de siembra, favoreciendo la obtención de mayores producciones por unidad de superficie” (Cenicafé, 2015). Sin embargo, las desventajas que presenta esta variedad es que también es susceptible a la roya. Por su parte el Híbrido de Timor no es susceptible a la roya (*Hemelia Vaxtarix*), como de otras enfermedades como las

enfermedades de las cerezas que se produce por el hongo (*Colltotricum kahawae*). Como ambas especies provienen de un mismo ancestro las especie *Coffea Arábica* ambas son especies autógamas, es decir que se auto fecundan aprovechando este hecho se juntaron dos plantas de café caturra y dos del Híbrido Timor y por selección artificial⁷ se cruzaron obteniéndose una primera generación F1 que eran los hijos de estos cruces, luego se recolecto la semilla de este cruce de las plantas más resistentes esto de nuevo por selección artificial y se obtuvo una segunda generación o F2 , la cual presento más variaciones con respecto a F1 y permitió seleccionar más ejemplares resistentes a la (*Hemelia Vaxtarix*) y a la (*Colltotricum kahawae*) , también se evaluaron parámetros como morfología , tamaño de grano y pruebas específicas como calidad de tasa⁸ , luego se repitió el mismo proceso hasta F5 donde las características de esta generación se adhirieron más a la nueva variedad. Adopta el nombre de Variedad castillo ® por su investigador Jaime Castillo Zapata y que con el también científico Germán Moreno fueron los pioneros de la primera variedad distribuida en 1968. Después de obtenida se realizaron pruebas de campo durante 5 años en o variedades regionales. En la imagen 4.8 se mostraba el proceso realizado para su obtención.

Ahora bien, ya comentado el origen del Café Castillo o Variedad Colombia se debe hablar un poco acerca de la calidad. “*La calidad de la bebida de café depende de muchos factores: origen genético, latitud, altitud, clima del lugar de cultivo, cuidados sanitarios, prácticas agronómicas, cultura cafetera, calidad de la cosecha, tipo y control durante el proceso de beneficio, trilla, almacenamiento, tostación y preparación de la bebida.*” (Cenicafe, 2008).

También se debe decir que gran parte del fenómeno de una mala calidad puede recaer en un

⁷ Selección artificial se explica como la obtención de nuevas variedades o especies por medio de cruces en los que interviene el ser humano. Para más información del funcionamiento de este mecanismo biológico por favor remitirse a “El origen de las especies” Charles Darwin.

⁸ Método utilizado para analizar las diversas muestras de café en las que se analiza principalmente su sabor y su aroma esto se realizar por catadores profesionales y baristas (personas profesionales que se encargan de hacer las preparaciones para los catadores).

mal proceso, pero es una labor muy complicado identificar de donde proviene toda la responsabilidad de una mala calidad ya que las condiciones no son estables, sino que cambian todo el tiempo, sin embargo, si se puede estudiar cada fenómeno aislado y ver cómo se comporta la calidad del café.

4.1.6.1 Fenología del café castillo o variedad Colombia.

Las condiciones para un buen cultivo del café se pueden resumir en su suelo, el clima o tiempo atmosférico, la altura, la temperatura y el brillo solar. Como este cultivo se encuentra ubicado en la zona norte del país aproximadamente, es preciso ubicar estas variables como se ve a continuación. Para el café Castillo en particular las condiciones son similares mostrándose en la tabla 4.3 que se muestra a continuación.

Variables	Norte
Altura(msnm)	1250
Lluvias (mm)	2205
Temperatura promedio(°C)	21
Humedad relativa (%)	79
Brillo solar anual en horas	2063

Tabla 1 Fuente: (FMJ, 2009).

Altitud m	1300
Lluvia mm/año	2000-2700
Brillo Solar Horas /año	1,5-2,0
Temperatura °C	18-20

Tabla 2 Propiedades óptimas para cultivo de café Fuente: (Cenicafe, 2008).

Variedad	% Humedad requerido para cultivo.	%De perdida en volumen o merma	% De grano que pasa malla 16	Solidos totales de la bebida el ser preparada(mg/L)	pH de la bebida	Calidad calificacion 1-8	Tiempo de tostacion(min)
Bourbon/Borobon.	11	18,35	94,7	13603	4,8	8	6
Caturra	11,1	18,3	90,9	14968	4,6	8	6
Castillo(Amarillo)	11,4	17,4	95,3	13459	4,6	8	6
Castillo(rojo)	10,7	15,6	98,5	12742	4,5	8	6
Ti pica	10,7	16,2	97,5	16652	5	8	7

Tabla 3 Propiedades Fisicoquímicas de las variedades de café colombianas, cultivo y preparación de tasa. Tomada de (Cenicafe, 2008).

A continuación, se puede apreciar una tabla donde se presentan las características fisicoquímicas de las diversas variedades de Café Arábigo para su cultivo. Esto para todas las variedades sembradas en el país. Haciendo especial énfasis en la variedad Castillo que es la que trata este proyecto.



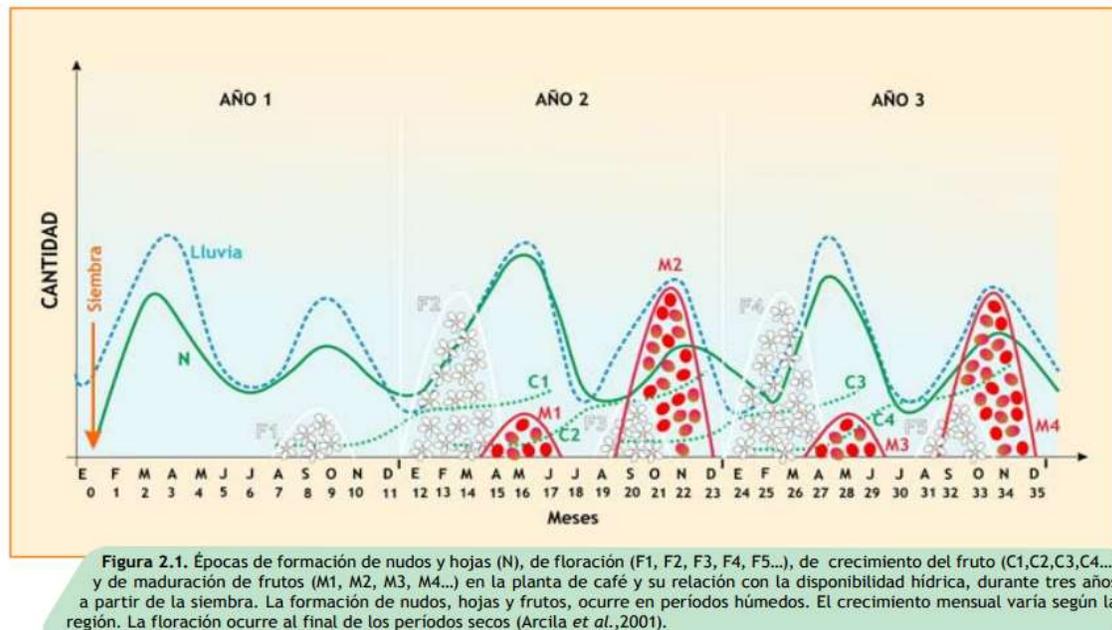
Ilustración 9. En esta imagen se puede observar las plántulas de café dentro de viveros de la hacienda en almácigos. Fuente: Autor Hacienda Majavita.

El café que se encuentra en la Hacienda Majavita es de porte medio alto, llegando a medir 1.80 m perteneciente a la misma especie *Coffea Castillo*, se utiliza como sombrío el guamo (*Inglia spuria*) y se tienen suelos Franco Arenosos que como lo establece Cenicafé son los mejores suelos para sembrar café. La profundidad efectiva es de 80 cm, que también se sigue los suelos deben estar en un pH de 5 a 5.5 según recomendaciones de Cenicafé. La hacienda majavita se encuentra dentro de estos valores presentando un valor de 5.3 (Silva, 2012). El límite inferior

de la materia orgánica debe ser de 8% a 11% siendo recomendable que este frente a 11% o más. De igual forma el brillo solar debe ser de 1600-2000 horas / año, presentando la Hacienda un brillo solar de 1760 horas / año en promedio (Sanmiguel, 2013).

Las fases fenológicas del café corresponden al desarrollo vegetativo, la germinación y floración hasta 1 año su fase reproductiva hasta los 8 años y la fase de senescencia. En la Hacienda Majavita se requieren 8 semanas para que las plántulas germinen y sean trasladadas al vivero luego al almacigo, duran 6 meses en este estado hasta alcanzar una altura de 60 cm. Se trasladan al campo cuando superan los 60 cm. Hasta que alcanzan la madurez pasado 1 año y 6 meses o 1 año y 3 meses en otros casos, desde su siembra, produciendo así sus primeros frutos; de allí en adelante hasta el 8 año serán productivas generando 1 lb de frutos anual (Sanmiguel, 2013). La duración de las plantas en la Hacienda majavita o vida útil de producción es de 7 años hasta que se deben poner nuevos almácigos o nuevas plantas en los cultivos.

Ilustración 10 que muestra los ciclos fenológicos del café castillo tomada de Fuente: (Federación Nacional de Cafeteros, 2013).Pág 43.



Las características del lugar para este estudio se pueden encontrar en el apartado geográfico e histórico que se encuentran más adelante. De igual manera la productividad de la Hacienda.

De igual forma como toda planta el café necesita de unos macro nutrientes y de unos micronutrientes, que en ausencia (déficit) o presencia excesiva de los mismos pueden afectar el desarrollo y crecimiento de la planta, como otros factores que se vieron anteriormente como las plagas y enfermedades, arvenses, edad de la planta, variedad de la planta entre otros.

A continuación, se muestra una Tabla 4.3 Tomada de Sistemas de producción de café (Federación Nacional de Cafeteros, 2013). Se puede apreciar en esta como la productividad de la planta no solo depende de la variedad, la cantidad sembrada, el tipo de suelo y los factores climáticos que inciden sobre ella, sino que también depende de la maleza o arvenses, competencia, inclinación o pendiente del terreno que dependerá de la cantidad de brillo solar sobre el cual incida la planta, cosecha y beneficio y las variables climáticas del lugar.

Factores climáticos y geográficos	Factores del suelo	Factores del cultivo
Precipitación (cantidad y distribución) Temperatura del aire Humedad relativa Luz (cantidad, intensidad y duración) Viento (velocidad, distribución) Concentración de CO ₂ Altitud Latitud	Contenido de materia orgánica Textura Estructura Capacidad de intercambio catiónico (CIC) Saturación de bases Pendiente y topografía Temperatura del suelo Factores de manejo del suelo (arado, drenaje, otros) Profundidad efectiva Fertilidad del suelo	Especie y variedad Calidad de la semilla Fecha de siembra Densidad de siembra y su geometría Evapotranspiración Disponibilidad hídrica Nutrición Plagas y enfermedades Eficiencia de cosecha

Tabla 4 que muestra los factores que influyen en la formación de la planta. Factores Fenológicos. (Federación Nacional de Cafeteros, 2013)

Rango adecuado					
Contenido del suelo	Límite inferior	Límite superior	Contenido Foliar	Límite inferior	Límite superior
Materia orgánica (%)	11,4	12,6	Nitrógeno (%)	2,3	2,8
Fósforo (mg.kg ⁻¹)	6	14	Fósforo (%)	0,1	0,18
Potasio (cmol _{cat} .kg ⁻¹)	0,3	0,4	Potasio (%)	1,5	2
Calcio (cmol _{cat} .kg ⁻¹)	1,8	2,4	Calcio (%)	0,5	2
Magnesio (cmol _{cat} .kg ⁻¹)	0,6	0,8	Magnesio (%)	0,3	0,4
Aluminio (cmol _{cat} .kg ⁻¹)	0	60			
Saturación aluminio (%)	0	60			
pH	5	5,5			
Boro (mg.kg ⁻¹)	0,2		Boro (mg.kg ⁻¹)	40	60
Zinc (mg.kg ⁻¹)	1		Zinc (mg.kg ⁻¹)	9	
Manganeso (mg.kg ⁻¹)	50		Manganeso (mg.kg ⁻¹)	150	220
Hierro (mg.kg ⁻¹)	100		Hierro (mg.kg ⁻¹)	90	140
Cobre (mg.kg ⁻¹)	1		Cobre (mg.kg ⁻¹)	10	

Tabla 5 nutrientes que influyen en la formación de la planta del cafeto fuente: (Federación Nacional de Cafeteros, 2013)

Macro-nutrientes	Micro-nutrientes
C 150 a 250 kg/Ha	Fe 2 kg/ha/año
O 150 a 250 kg/Ha	Mn 3 kg/ha/año
H 150 a 250 kg/Ha	Zn 200 a 500 g/ha/año
N 150 a 250 kg/Ha	Cu 30 a 110 g/ha/año
P 150 a 250 kg/Ha	B 200 a 500 g/ha/año

Tabla 6 Yara Colombia Datos de macronutrientes y micronutrientes requeridos para el crecimiento de la planta de cafeto. Tomado de Yara Colombia. (*Yara Colombia, 2016*)

Dentro la agro climatología se estudian las diversas interrelaciones de los factores fenológicos como lo podemos apreciar en la siguiente tabla que establece la interrelación entre el fenómeno del niño y el insecto de la broca y fenómeno de la niña y la enfermedad de la roya estas deben ser tenidas en cuenta en la fenología de la planta del cafeto.

FENOMENO DEL NIÑO	FENOMENO DE LA NIÑA
Tiempo más seco	Mayores precipitaciones
Mayores temperaturas y productividad del árbol	Enfriamiento del clima y menor productividad
Periodos de sequia y erosion	Lluvias e inundaciones
Propicia el insecto de la broca	Propicia El Hongo de la Roya

Tabla 7 que muestra como los fenómenos interanuales pueden afectar la presencia de plagas y enfermedades en el cultivo de café. Fuente: (*Cenicafé, 2015*).

4.1.7 Consideraciones de calidad y productivas

Aunque no es propósito de la presente obra tratar a fondo el tema de la calidad en la preparación del café o en los procesos y operaciones unitarias que esto implica, se debe tocar un poco el tema de la preparación.

Después del proceso de cultivo y de la selección de las cerezas aptas, vienen procesos y operaciones unitarias que dan vida al producto final para que este pueda ser comercializado.

Estas operaciones unitarias se pueden resumir generalmente de la siguiente forma: Beneficio que consiste en la recolección de la cereza, traslado y recibo de la cereza, despulpado, lavado, desmiele o des-mucilagización de la cereza, fermentación , segundo lavado , secado y entrega de pergamino seco para proceso de elaboración del producto. En esta etapa se transforma el pergamino seco en un producto, los procesos se pueden resumir como: Almacenaje del pergamino, pirolisis en Monitor, en estos procesos se da el grado de tostado lo que también modifica el producto final la temperatura usada va de los 100 -220 °C. enfriamiento, pesado e ingreso a la torre trilladora o torre de moler ; que se da por varios días a temperatura ambiente y que lo convierte en un soluto soluble en agua. Y finalmente empaquetado, venta y consumo.



Figura 3.2. Factores y prácticas determinantes de la productividad del cafetal.

Ilustración 11 Que resume principalmente los factores agroclimáticos, en su mayoría, y la cosecha y beneficio (calidad del producto) y como estos afectan principalmente la calidad. (Cenicafé, 2015).

En la imagen 4.11 se puede apreciar una gráfica que muestra los factores determinantes en la productividad de un cafetal. Las variables agro-climatológicas son aquellas que más peso tienen en la productividad sin embargo otras consideraciones de calidad también las afectan. Dentro del beneficio del café existen varios sistemas que pueden afectar en costos, como en calidad al café. En este mismo capítulo, más adelante, se hablará acerca del sistema Becolsub. Simplemente se agregará que es un sistema que dentro de la fase del beneficio combina las etapas de despulpe y desmiele, debido a que en cada una de estas fases hay un lavado. Este sistema lo que hace generar un ahorro de agua entre estas dos fases. Se comenta en el marco conceptual.



Ilustración 12. Esta imagen se puede apreciar la Trilladora que se encuentra en la Hacienda Majavita dentro de la “Universidad Empresa” en la etapa de transformación de café pergamino seco a producto soluble, es en este sitio donde se trilla y se muele el pergamino tostado para dar como producto un soluto para preparar la bebida del café y que lo conocemos como café simplemente en bebida caliente. Fuente: Autor.

4.2 Marco Conceptual

En el presente apartado pretendemos mostrara al lector aquellos conceptos que quedaron dispersos en el marco teórico como también aquellos conceptos que son fundamentales para poder entender el diseño metodológico de la presente investigación, comenzaremos con los conceptos remitidos a este apartado.

Como primera forma nos remitiremos al balance de energía comentado anteriormente y luego iremos avanzando en otros conceptos que fueron remitidos a este apartado.

4.2.1 Balance energético de la tierra, radiación y efecto invernadero

Se tiene como un hecho cierto que la tierra necesariamente es dependiente del flujo de energía que procede del Sol. *La cantidad de energía que el sol suministra a la tierra en forma de radiación electromagnética es de 13×10^{23} calorías por cada año (cal/año). Esta energía se emplea en los procesos fotosintéticos, calentamiento del suelo, calentamiento del aire, evaporación y transpiración. El clima a su vez, está determinado por el efecto de esta energía solar sobre el calentamiento del aire y de los diferentes fenómenos atmosféricos como la*

evaporación. (Colon, 2016) Sin embargo, la distancia a la cual nos encontramos con respecto a nuestra estrella más cercana, el Sol; cuya energía es irradiada a todas las direcciones del universo a una distancia aproximada de 150 millones de km, solo es aprovechable en nuestro planeta en un porcentaje mínimo. Dicho porcentaje es aprovechado en procesos bióticos, como el de la fotosíntesis que permiten la transformación de la energía lumínica en química y que se sintetiza en la estructura de la planta, pero se ve representada en el fruto, y en los procesos abióticos como el viento y las corrientes marinas.

Esta energía llega a la tierra en forma de ondas electromagnéticas que va desde el espectro infrarrojo al UV o ultravioleta. El balance energético comúnmente conocido el cual incide en nuestro planeta tierra es un 46% aproximadamente de radiación infrarroja, 9% de radiación visible y 45% de radiación ultravioleta (Megh Raj Goyal, 2011) . *La calidad de la energía “Es una medida de su utilidad o de su capacidad para ejecutar un trabajo , entendido como trabajo en el lenguaje Físico. La energía de alta calidad está organizada, concentrada, ordenada para lograr un trabajo útil,* se puede decir que la Luz solar concentrada en un punto es de muy alta calidad, sin embargo, en su estado normal su calidad es mediana, pero tiene alta incidencia en todos los procesos comentados anteriormente. Ahora bien la incidencia, su salida y su acumulación responden no solo al tipo de radiación sino a los distintos gases que se encuentran dentro de los distintos niveles de la atmósfera.

“ Las actividades humanas han alterado de manera creciente el equilibrio de la energía de la tierra , principalmente a través de la adición de dióxido de carbono proveniente de la combustión de energéticos fósiles a la atmosfera” (Mihelic & Zimmerman, 2013) estos energéticos fósiles agregan más partículas de gases efecto invernadero , estos gases son gases que como explicábamos en el marco teórico tienen la capacidad de absorber la energía infrarroja emitida por la superficie de la tierra y retenerla es decir que cuentan con un tiempo de retención antes de liberarla al espacio. De igual forma se debe tener en cuenta que estos

gases son necesarios para el desarrollo de la vida porque sin la existencia de ellos la vida en nuestro planeta sería imposible.

Sea:

$$\frac{dE}{dt} = \hat{e}_{(en)} - \hat{e}_{(sal)}$$

Ecuación (4.2.1.1)

Donde \hat{e} son los flujos de entrada y de salida de energía respectivamente y $\frac{dE}{dt}$ es el flujo de energía con respecto al tiempo. Ahora sea:

$$\hat{e}_{en} = 0.7S\pi r^2$$

Ecuación (4.2.1.2)

Donde $S\pi r^2$ es la cantidad interceptada de energía por unidad de área, a la distancia donde nos encontramos con respecto al Sol este valor es de aproximadamente “1368 W/m²” (Mihelic & Zimmerman, 2013). 0.7 es un valor constante y es el porcentaje que la tierra retiene, el 30% restante lo libera al espacio. Ahora sea:

$$\hat{e}_{sal} = \sigma T^4$$

Ecuación (4.2.1.3)

La energía que irradia la tierra al espacio y emitida por unidad cuadrada está dada por la ley de Boltzman donde σ representa la constante de Boltzman y posee un valor aproximado de “5.7 X 10⁻⁸ W/m²K⁴” y donde T es la temperatura en unidades Kelvin. Si multiplicamos los términos anteriormente dichos por $4\pi r^2$ que es la superficie total de una esfera, suponiendo que la Tierra lo fuese, entonces el nuevo termino seria:

$$\hat{e}_{sal} = 4\pi r^2 \sigma T^4$$

Ecuación (4.2.1.4)

Si realizamos la igualación tanto de entradas como de salidas entonces se tendría:

$$4\pi r^2 \sigma T^4 = 0.7S\pi^2$$

Ecuación (4.2.1.5)

El término a despejar acá es T, esto para mirar cómo sería la temperatura ambiente de nuestro planeta sin la presencia de gases efecto invernadero. Al despejar y eliminar términos equivalentes de cada lado tenemos:

$$T = \sqrt[4]{\frac{0.7S}{4\sigma}}$$

Ecuación (4.2.1.6)

Al reemplazar las constantes S y σ tenemos un valor de 254.9 K que aproximadamente equivale a -17.9°C, lo cual demuestra que esto no nos permitiría el desarrollo de la vida en la tierra, este balance se hizo solamente teniendo en cuenta las entradas y las salidas de energía, pero si incluimos un factor de corrección llamado e_{gases} entonces este quedaría corregido y probablemente podría dar el valor de la temperatura media de la tierra que es de aproximadamente 15°C.

4.2.2 Estaciones meteorológicas

Dentro de este proyecto también se requiere la información recolectada de diversas estaciones meteorológicas, podemos definir a las estaciones meteorológicas como unidades ubicadas geográficamente que buscan recolectar diversa información con respecto a diversos parámetros como lo son temperatura, precipitación, humedad, radiación, evapotranspiración entre otros. El propósito de estas estaciones es recolectar información para que luego se le pueda dar un tratamiento estadístico y poder de allí concebir diferentes análisis como, por ejemplo, pluviometría media, temperatura media del sitio o también poder determinar cómo ha cambiado el clima a lo largo del tiempo en ese espacio geográfico. En nuestro país la entidad encargada de la administración de estas diversas estaciones esparcidas por todo el país es el IDEAM (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia.).

4.2.3 Equipos de las estaciones Meteorológicas

Dentro de las estaciones meteorológicas como lo comentábamos se miden muchas variables, luego es muy importante conocer algo acerca de los equipos que allí se encuentran, los equipos más comunes son:

1. **Termómetro de extremas:** Estos termómetros básicamente son usados para medir las temperaturas máximas y mínimas de un día, el termómetro de máximas es un termómetro ordinario, cuyo líquido es mercurio, mientras que el termómetro de mínimas es un termómetro de alcohol. El principio de funcionamiento es el de la dilatación térmica, cuando aumenta la temperatura el líquido sube por el capilar de lo contrario baja, marcando así la temperatura.
2. **Psicrómetro:** Este artefacto se usa principalmente para medir la humedad del ambiente presente en el aire. El principio de funcionamiento radica en la presencia de dos bulbos uno húmedo y el otro seco, el húmedo está empapado con alcohol y marca su humedad, mientras

que el otro está en ceros, la diferencia de esta marca la humedad. Se debe poner lejos de la actividad solar ya que esto puede generar errores.

3. **Barómetro:** Este instrumento meteorológico mide la presión atmosférica, que la podemos definir como la fuerza normal ejercida por el peso de la atmosfera sobre una unidad de área en este caso m^2 . Las unidades con las que se mide la presión pueden ser pascales, mm de Hg o bares. El primer Barómetro fue inventado por Torricelli en el siglo XVII, este era muy sencillo y consistía en una columna de mercurio invertida, la fuerza capilar producía que el mercurio subiese o bajase dependiendo de la presión circundante. Fortín fabrico otro más complejo su funcionamiento consiste en una placa que se expande o contrae según la presión sin embargo cuando hay ligeros cambios esta presión no es visible por lo que posee unos engranajes que multiplican estos movimientos hasta 90 veces y nos permiten ver como se mueve una aguja que marca la presión atmosférica del lugar. Este artefacto es ventajoso ya que no depende de compuestos químicos o elementos en forma líquida como el de Torricelli.
4. **Higrómetro:** Es un instrumento que se usa para medir la humedad del aire del agua usualmente pero también de otros gases. Su unidad de medida se expresa en %. Su funcionamiento es muy sencillo, esta depende de un balance entre el agua, su evaporación y su absorción. Existen de dos generaciones de higrómetros, los de primera generación se les conoce por que usan químicos altamente higroscópicos es decir químicos que son altamente tendientes a humedecerse o absorber humedad del ambiente, luego por temperatura o aumento de estas se hace que se exhale la humedad absorbida a partir de esto se calcula la humedad. Los higrómetros electrónicos son de otro tipo y su funcionamiento básicamente se da por dos electrodos que funcionan a ciertos rangos de temperatura según el fabricante y que por la tensión que se da en estos permite medir la humedad se les conoce también como de segunda generación.

5. **Luxómetro:** Este instrumento es poco conocido, pero es usado en las estaciones meteorológicas para medir la cantidad de luz que irradia una fuente. Se le utiliza actualmente en otra clase de proyectos como los de contaminación lumínica.
6. **Evaporímetro:** Es un instrumento supremamente sencillo cuyo funcionamiento radica simplemente en medir la evaporación del agua en la atmosfera. Consiste en una tina de aproximadamente 1.20 m de diámetro y de una profundidad de 30 cm, esta se debe colocar sobre una base que lo mantenga por encima del suelo , esto para que se permita la circulación del viento y la temperatura del suelo no influya en los cálculos o sea despreciable , el tanque se rellena de agua y por dos medios , lectura manual o electrónica se toma lo evaporado por días o un tiempo constante fijado.
7. **Pluviómetro:** Este instrumento meteorológico se encuentra en casi todas las estaciones meteorológicas su funcionamiento consiste básicamente en medir la cantidad de precipitaciones dadas en un lugar durante un tiempo determinado, es decir puede ser desde que el artefacto empezó a funcionar. El diseño más común de un pluviómetro es el de un recipiente con un área de recepción como la de un vaso aproximadamente, donde el agua entra y por gravedad se dirige a una reciente de menor diámetro donde se recogen los milímetros de agua caídos, dentro de este recipiente hay una regla graduada o un dispositivo electrónico que nos indica cuantos mm de H₂O cayeron durante un espacio de tiempo aproximado de 8 horas a 12 horas.

4.2.4 Sistemas de información geográfica

Actualmente con avances de la tecnología en casi todos los saberes, se ha venido desarrollando el uso de los SIG (GIS en inglés), sigla que significa Sistemas de Información Geográfica. Se puede definir como la integración de software, hardware y datos geográficos, especializados en multitareas que permite al usuario de manera organizada y eficaz incluir aspectos del mundo

real como: socio políticos, religiosos, arqueológicos, históricos, de marketing, de logística, impactos ambientales entre otros; de un área georreferenciada en particular, esto, para realizar proyectos en su gran mayoría o tomar decisiones a corto o largo plazo. Como vemos es más que un software especializado, sino que es un sistema. Es gracias a estos sistemas que se ha podido avanzar en muchos campos de carácter ambiental. Existen varias empresas líderes en el mercado que se encargan de la fabricación de estos sistemas, una de ellas es la empresa Esri que se encargar de fabricar el programa ArcGIS que es uno de los más utilizados. De igual forma tenemos Softwares de código abierto y de poderosos potenciales como Qgis. Estos tipos de sistemas manejan entornos vectoriales y raster permitiendo modelar y realizar formas y contornos. El propósito principal de estos es que permiten al usuario la creación de mapas en diferentes tipos de sistemas de coordenadas. Las coordenadas pueden ser coordenadas geográficas, que representan a la tierra como una esfera y a un punto sobre esta con ángulos medidos desde su centro, estos son las latitudes y longitudes. Cada uno de los sistemas de coordenadas representa a la tierra debido a que esta no es una esfera perfecta cada una de sus representaciones tendrá un esferoide con su propio sistema. El sistema WGS 84 es el de más extendido uso. Un sistema de referencia proyectado es aquel que representa la tierra no como una esfera sino como un plano cartesiano siendo propio una X y una Y, lo que significa que un punto sobre este espacio se representa por un par ordenado de coordenadas “x y”. Para el caso de nuestro país el sistema de coordenadas proyectadas o el datum que se utiliza es el MAGNA SIRGAS. El origen de este datum como en el caso del WGS 84 ya no es el centro de la esfera sino en este caso la ciudad de Bogotá. El país fue dividido en 5 sectores cada uno de a 1.5° la zona que comprende las franjas centrales tendrá un origen en Bogotá, luego un origen Oeste y Este respectivamente para finalizar con los extremos del país (Nariño y Vichada) con un origen Oeste - Oeste y Este – Este respectivamente.

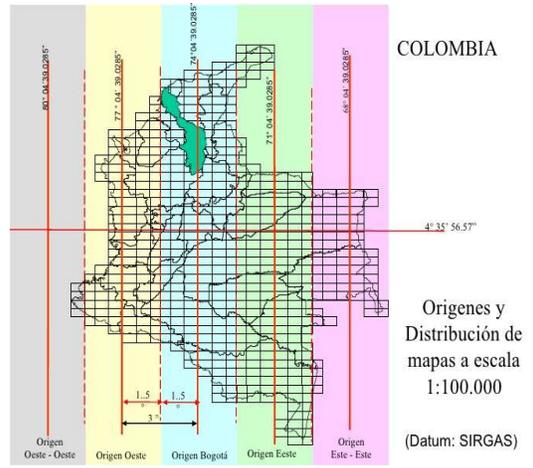


Ilustración 13. En esta imagen se puede apreciar como el sistema de coordenadas proyectadas que rige en nuestro país. Fuente: (IGAC, 2017).

4.2.5 Conceptos de estadística

Como bien se sabe la estadística es una herramienta fundamental para el desarrollo de toma de decisiones en diferentes campos de estudio. Es necesario entonces explicar algunos conceptos claves ya que se hará uso de esta para seguir la metodología que pretende dar a luz los resultados de esta investigación, que son presentados más adelante. Los elementos que más se van a utilizar con respecto a la estadística son la correlación y la regresión lineal y de otros tipos. Primero hablaremos acerca del coeficiente de correlación lineal. Podemos decir que el coeficiente de correlación lineal es una medida que explica que tan relacionadas se encuentran dos variables una con respecto a la otra, esta medida se da por el coeficiente de correlación de Pearson variado o coeficiente de correlación lineal r^2 , si el valor se encuentra por encima del 50% es decir $r^2 = 0.5$ entonces podemos decir que existe una correlación entre ambas variables, si por el contrario se encuentra por debajo entonces decimos que no hay relación alguna entre estas dos variables. Generalmente, sin embargo, no siempre es de esta manera y ya se verá más adelante por qué. Un ejemplo muy común es la correlación en que existe entre el precio del barril y el precio del dólar. Otro muy sorprendente es el que plantea que el precio de la pizza

que está muy correlacionado con el precio de un boleto del metro. Generalmente para encontrar la correlación que existe entre dos variables se hace uso de programas de cómputo en vez de cálculos a mano, los programas más usados para estos cálculos son Excel y Minitab.

Años	Pizza	Metro
1960	0,15	0,15
1973	0,35	0,35
1986	1,00	1,00
1995	1,25	1,35
2002	1,75	1,50
2003	2,00	2,00

Tabla 8 tomada del libro Estadística Mario F Triola pág. 230.

“En el reciente artículo del New York Times titulado “Will Subway fares Rise? Check your pizza place”, el reportero Clyd Haberman escribió que en la ciudad de Nueva York el precio del boleto del metro y de una rebanada de pizza “Han tenido un paralelismo sorprendente durante décadas”. En la tabla se presenta una muestra aleatoria de los precios en (dólares) de pizza y del boleto de metro.” (Triola, 2012) En la tabla se pueden observar valores de seis años aleatorios de la década de 1960-2010.

Al utilizar la herramienta de Excel como no la plantea Triola haciendo uso de la función =PEARSON (matriz1; matriz2) nos arroja un valor $r = 0.988$, este valor es diferente al r^2 que explicábamos al comienzo, este r es el coeficiente de correlación de Pearson y debe ser comparado con tablas, mientras que el r^2 es un porcentaje que nos indica que tanto están relacionadas y no necesita de tablas y es un coeficiente de Correlación de Pearson variado. Es decir que r^2 es “La proporción de la variación de y que explica a x o viceversa”, sin embargo generalmente es la variación de y que explica x . En el caso del ejemplo aquí presentado será el

porcentaje que explica la variación del precio de la pizza con respecto a la variación del precio del metro. En este caso es de $r^2 = 0.976$, es decir que un 97.6% del precio de la pizza explica al precio del metro. Al graficar estos se pueden obtener también el r^2 así:

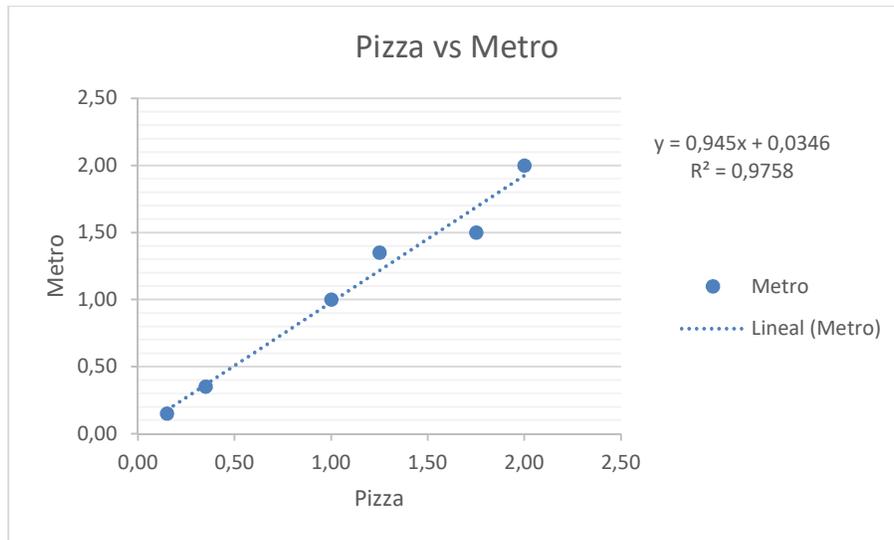


Ilustración 14 Ejemplo de correlación estadística. Fuente : Autor.

Esta es una correlación lineal, sin embargo, existen otros tipos de correlaciones, como la exponencial, la logarítmica y la potencial que fueron usadas para los resultados y que funcionan con la misma filosofía. Sin embargo, para el $r = 0.988$ tenemos que darle otro tratamiento, con tablas llamadas generalmente “Valores críticos del coeficiente de correlación de Pearson” esta tabla presenta tres columnas. Una es n que es el número de muestras que se toman, la otra es el coeficiente de confiabilidad alfa, es decir que tan riguroso va a ser nuestro estudio si alfa se de 0.05 significa que el porcentaje de confiabilidad será de un 95% y así sucesivamente variando los alfas, el alfa menor es de 0.01 luego el % de confiabilidad de la muestra será de un 99%. Para el caso de este ejemplo $n = 6$ porque son seis muestras y coeficiente de confiabilidad del 95% da un valor de 0.811 en este caso si el valor de r es mayor al valor crítico entonces hay correlación de lo contrario no.

En la meteorología es común encontrar diversos parámetros estadísticos que pueden verse relacionados con la pluviometría, la temperatura, el brillo solar entre otros. Estas variables como es bien sabido pueden estar interrelacionadas. Se debe tener en cuenta que los distintos fenómenos meteorológicos no son todos continuos, es decir no todos toman valores infinitos sino solo determinados hablando estadísticamente y hablando temporalmente no suceden en todo momento, algunos pueden ser espontáneos y otros pueden ser periódicos como por ejemplo la lluvia, estas distribuciones que no son normales ya que son distribuciones discretas y pueden presentar formas de distribución gamma, binomiales, binomiales negativas, geométricas así como de Poisson. Un ejemplo de este tipo de distribuciones es la que tiene el viento una ráfaga fuerte, estadísticas de fenómenos discontinuos o poco comunes como granizo, días con lluvia muy fuerte, niebla, neblina, rocío obedecen distribuciones discretas, humedad atmosférica en general que no se comporta en distribuciones normales y se ajusta más a las binomiales. Como la precipitación, la radiación solar y la evaporación son de distribución gaussiana o normales se consideran continuas, la precipitación debe ser continua (es decir no intermitente en un espacio de tiempo) y se comportan según el sitio, de otra forma se considera discreta en fenómenos muy extremos o suaves, intermedios se comporta según otro tipo de distribución continua como Chi cuadrado (χ^2) log-normal, gamma o t-Student. Lo mismo aplica para las otras variables. La única variable continua que se comporta de una forma normal gaussiana en casi todos los casos es la temperatura. Esto debido a que se estudian las temperaturas medias horarias, las máximas horarias y las mínimas por separado si estas se entregaran en un solo estudio como temperatura horaria tendría otra distribución tendiendo está a ser senoidal o co-senoidal, pero siempre manteniendo la normalidad. La idea es poder encontrar con qué clase de distribución se maneja o a qué clase de distribución pertenece, dependiendo de esto se pueden aplicar o no los estadísticos que usualmente se

aplican como lo son la media, lo moda y la mediana, los percentiles y los cuartiles entre otros como se aplican a una clase u otra de distribución.

Ahora bien, siguiendo las distribuciones que se deben tener en cuenta para realizar los análisis también se deben completar algunos datos. Los datos suministrados muchas veces no están completos debido a que las estaciones se encuentran ramas y desperdicios que pueden viciar la medida o no están en funcionamiento desde hace cierto tiempo. Para estos casos entonces se deben utilizar estadísticos que permitan completar esos espacios que por diversas razones no están completos. Uno de ellos es la curva de dobles masas que es la representación de la precipitación acumulada de un lugar contra el tiempo y se extrae directamente de la construcción de un pluviograma, este nos permite determinar los datos faltantes de otro pluviómetro que este cerca o en la misma región, este método de estimación es recomendable en zonas planas o donde una cuenca sea plana. La cuenca del rio Suarez que es la relacionada a este proyecto *presenta zonas escarpadas por lo que este método no es recomendable en su uso por que las estaciones pueden evidenciar registros de eventos meteorológicos diferentes*, sin embargo, se nombra por su uso extendido en el mundo. Otra forma es realizando regresiones lineales o de diversos grados como lo comentábamos, de igual forma, Métodos de estimación como el de la Wheater Bureau de los Estados Unidos de Norteamérica y métodos de los promedios, método de las isoyetas. Haciendo especialmente énfasis en el Método Weather Bureau que no es más que un método multi variante o que se le conoce también con el nombre del método de la razón normal que se describe por medio de la siguiente ecuación:

$$x(t) = \frac{1}{3} \left[\frac{\bar{x}}{x_1} x_1(t) + \frac{\bar{x}}{x_2} x_2(t) + \frac{\bar{x}}{x_3} x_3(t) \right]$$

Ecuación (4.2.5.1)

Donde $x(t)$ es la precipitación que se desea buscar. $X_1(t)$, $X_2(t)$ y $X_3(t)$ es la precipitación conocida de otras tres estaciones para ese día, mes (promedio) o año (promedio). \bar{X} promedio es la precipitación media diaria anual, media mensual o media anual de la estación incógnita y X_1 promedio X_2 promedio y X_3 promedio son el promedio diario anual, mensual o anual de las estaciones conocidas. (Wilks, 2006) . En este caso la estación que tenga más datos va a ser aquella que tenga más peso sobre la estación incógnita.

De igual forma se tiene el conocido método de las isoyetas que sigue el siguiente patrón

- 1) Delimitar la cuenca y marcar las estaciones meteorológicas que se encuentran rodeándola o rodeando la zona de interés
- 2) Construir polígonos conectando las diferentes estaciones
- 3) Trazar bisectrices en los polígonos
- 4) Estimar el área de cada una de las estaciones o zona de influencia
- 5) Sumar las áreas para obtener el área total de la cuenca
- 6) Determinar el peso que tiene cada estación meteorológica dividiendo su área por el área total de la cuenca
- 7) Calcular la precipitación faltante por medio de la siguiente ecuación (Ecuación 4.2.5.2)

$$\bar{P} = \frac{\sum_{i=1}^n P_i \cdot A_i}{\sum A_i}$$

Donde: \bar{P} promedio es la pluviosidad que se desea encontrar, P_i es la precipitación de cada estación conocida, A_i es el área de influencia de cada estación y Sumatoria A_i es el área total.

La construcción de un ejemplo es esta se le conoce como Polígono de Thiessen.

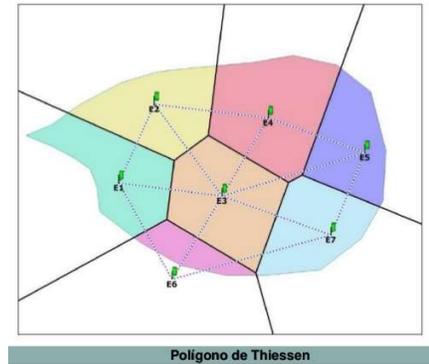


Ilustración 15. Esta imagen detalla cómo se realiza el Polígono de Thiessen básico para la interpolación por isoyetas y el método de Thiessen aclarado posteriormente.

Los mismos métodos son utilizados para otras variables meteorológicas como la temperatura y la evaporación. De igual se utilizaron los estadísticos básicos. Media, mediana, moda entre otros.

4.2.5.1 Softwares estadísticos

Dentro de las diversas gamas de softwares y paquetes que existen en el mercado, podemos destacar Minitab ® y Excel ® que fueron ampliamente usados en este trabajo sin embargo el programa Rstudio es un software libre que nos permite correr diversas plataformas en las diversas interfaces, una de ellas es la herramienta RClimtool, este es un paquete desarrollado por el CIAT y el ministerio de agricultura colombiano que permite realizar control de calidad a los datos así como llenado de los mismos. De igual forma gretl® es otro software de código abierto que permite completar datos de forma acertada y correcta. Se recomienda al lector revisar las múltiples funcionalidades de estos en la red.

4.2.6 Cambio climático concepto

Teniendo en mente el concepto de clima como el conjunto de manifestaciones atmosféricas y meteorológicas en un lugar por un periodo igual o superior a 30 años (Wilks, 2006). Podemos relacionar al cambio climático, como el tipo de fluctuación u oscilación que se da en periodos consecutivos de décadas. En el caso del presente estudio 4 décadas y que debe diferenciarse de otras fluctuaciones climáticas que se dan a través de la línea del tiempo ya sea la *variabilidad climática* que se da en periodos de tiempo cortos que va de meses a años o la *tendencia climática* que no tiene en cuenta una línea de tiempo, sino que se caracteriza por valores máximos o mínimos al final de un periodo que es anormal. (IDEAM, 2007). También se asocia este concepto con el aumento de temperatura, por ser esta una de las variables más críticas y sensibles a estos cambios junto con el ya mencionado efecto invernadero y los diferentes gases de los procesos industriales y naturales que se generan. Al conjunto de todas estos factores ambientales y procesos se le asocia al calentamiento global como consecuencia del cambio climático que se está dando, no se deben confundir estos dos conceptos. Debe entenderse como calentamiento global a aquel aumento del promedio de la temperatura de la tierra, mientras que el cambio climático es la fluctuación positiva o negativa del conjunto en general de los factores ambientales o parámetros que incluyen temperatura, presión atmosférica, humedad, así como los aportes de materia y energía de las esferas de la tierra, geosfera, atmósfera, biosfera e hidrosfera. (Mihelic & Zimmerman, 2013)

En los últimos 100 años, la temperatura media global ha aumentado 0,76 °C. 11 de los 12 años más calurosos desde 1850 se concentran entre 1995 y 2016 En España ese calentamiento ha sido de 1,5 °C. En Colombia de 1.2°C, En el Ártico, hasta 5 °C. Este aumento de la temperatura media de la Tierra es el calentamiento global. Al igual que cuando tenemos fiebre unos pocos grados respecto de nuestra temperatura normal nos afectan profundamente, ese aumento de

temperatura media es suficiente para que el clima cambie de forma acelerada y profunda. (GOBARAGON, 2017).

Ahora bien, los objetivos del milenio ya han finalizado, tenían un plazo fijo para el año 2015, dentro de esos antiguos objetivos, tímidamente en el 7 punto el medio ambiente y el clima tenían su espacio, decía “*Garantizar la sostenibilidad del medio ambiente*” (PUND & IDEAM, 2015), sin embargo con el plazo ya vencido se desarrollaron los objetivos de desarrollo sostenible que tienen un plazo de vencimiento para el 2030. Estos objetivos son mucho más extensos, son 17, sin embargo, el cambio climático y el medio ambiente empiezan a jugar un papel más importante en este medio. Por ejemplo, el 6) objetivo que trata sobre el agua limpia y saneamiento, 7) Energía limpia y asequible, 11) Ciudades y comunidades sostenibles, 12) Producción y consumo responsable, el más importante de todos y sobre el cual giran los demás objetivos propuestos número 13) Acción por el clima , 14) Vida submarina (protección de la biodiversidad marina), 15) Vida y ecosistemas terrestre (Protección de la biodiversidad terrestre). (PNUD & UNDP, 2017). Todas las acciones y esfuerzos ahora giran en torno al cambio climático, relacionado con la producción sostenible y el ciclo de vida de los productos. De igual forma los esfuerzos nacionales y mundiales como las diversas cumbres de la tierra y las conferencias del cambio climático (COP’S) que se vienen desarrollando desde hace décadas tienen como centro y eje principal el mitigar y adaptarse al cambio climática, para luego alcanzar el máximo logro que es el mitigarlo completamente. (Mihelic & Zimmerman, 2013). La última conferencia fue la COP 21 o cumbre de París que dio como fruto el Acuerdo de París, con tres ejes principales para mitigar el cambio climático, 1) Reducir las emisiones de los gases efecto invernadero 2) implementar el ciclo de vida de los productos (producto de esto se actualizó la ISO 14001 e ISO 9001) y 3) Fomentar la sostenibilidad en todos los ámbitos de la industria. Siempre teniendo como eje central al cambio climático.

4.2.7 Concepto de cps (café pergamino seco)

El café se representa como cps, sigla de (café pergamino seco), cuando se refiere al café que es producto del beneficio por vía húmeda o sistema Becolsub. Que posteriormente es comercializado por los caficultores a cooperativas y comercializadoras privadas que se encargan de la exportación de este café o del trillado de este para extracción de la almendra y tostado para su posterior comercialización como producto terminado (Cenicafé, 2016).

4.2.8 Softwares de modelamiento agrícola

Al igual que existe una variada gama para softwares estadísticos, de la misma forma existen varios softwares para modelar las condiciones agroclimáticas de un cultivo. El propósito de estos softwares en la investigación fue principalmente el modelar las condiciones ideales frente a las reales y de igual forma las condiciones climáticas reales frente a las futuras que se van a dar en ese lugar. Se destacan Infocrop © y Aquacrop ®. El primero fue desarrollado por el ministerio de agricultura de la India es de uso libre, en el se requieren incluir parámetros de suelo, tipo de cultivo, pluviometría entre otras variables. De la misma forma Aquacrop ® es un Software libre desarrollado por la FAO, por sus siglas en inglés (Food and Agriculture Organization of the united nations) cuyo propósito es *“abordar la seguridad alimentaria y evaluar el efecto del medio ambiente y la gestión sobre la producción de cultivos. AquaCrop simula la respuesta de rendimiento al agua de los cultivos herbáceos, y es particularmente adecuado para abordar las condiciones en las que el agua es un factor limitante clave en la producción de cultivos.”* (FAO, 2015). De igual forma toma como otras variables críticas a la temperatura y la evapotranspiración del cultivo.

Son estos los Softwares en los que se apoyó la investigación. Con el se pudieron desarrollar tomas de decisiones para desarrollar estrategias para adaptación y mitigación del cambio climático.

4.2.9 Consideraciones generales de la producción de café para consumo

La hacienda Majavita como otras haciendas productoras de café cuenta con unas rutas críticas, operaciones y procesos unitarios que hacen parte de la producción de café. Estas se exponían superficialmente en el apartado 4.1.7. Acá se profundiza un poco los conceptos de cada una de las fases, operaciones y procesos que se encuentran en la Hacienda Majavita con respecto al beneficio del café.

Recolección: Es en esta fase en la que el campesino recolecta las cerezas del cafeto para almacenamiento en la planta de beneficio. En este proceso se utilizan animales de apoyo tales como mulas, caballos o herramientas como carretas y todo tipo de recipientes artesanales. En el caso de la hacienda Majavita se usan Mulas y carretas.

Despulpe: En este proceso retira la cascara de café para obtener la cacota y en un proceso subsecuente que es el desmelado o des-mucilagínación. Consiste en riterar la pulpa de la cereza por medio de presión mecánica que ejerce una camisa despulpadora y debe iniciarse inmediatamente después, no más de 6 horas después de recolectado el café debido a que empieza un proceso de fermentación rápida por parte de la cereza. En la Hacienda Majavita esta operación no se usa agua se hace en seco y se integra con el desmelado en la que se usa agua, esta agua es recirculada y está conectada con los tanques de fermentación.

Desmelado o Des-mucilagínación: Retiro del mucilago por medio de agua y presión mecánica. Existe un proceso alternativo que es mediante fermentación, sin embargo, esto afecta la calidad de la bebida ya que tiende a volverse más amarga.

Operación de Zarandeo: Es el proceso de fermentación que se realiza en húmedo y se clasifica el grano de café que está en buen estado y aquel que tiene una calidad media realiza en tanques donde se recibe el grano despulpado. Para posterior fermentación.

Fermentación: Se realiza en tanques donde se recibe el grano despulpado. Se debe controlar el tiempo para evitar sobre fermentación esto afecta el sabor y el aroma convertido a vinagre. Si se mezclan cafés despulpados en diferentes días se puede presentar la situación de sobrefermentación. Se debe contar como mínimo con 2 tanques de fermentación para almacenar el café del día y evitar pérdidas. En la Hacienda Majavita se encuentran 3 tanques de 1 m³ cada uno de ellos como se aprecia en la imagen.



Ilustración 16 En Esta imagen se puede apreciar el tanque de fermentación donde se encuentra la almendra o grano de café. Este tanque es de la Hacienda Majavita. Fuente: Autor.



Ilustración 17 Resumen del proceso que se lleva a cabo en la Hacienda Majavita. Fuente: Autor.

Lavado: En esta operación se retira totalmente el mucilago fermentado que se encuentra aún adherido a la almendra de café.

Secado a Sol: El secado a sol en se utiliza en la hacienda, como proceso alternativo tenemos el secado en horno y estufa. El proceso de secado a Sol además de ahorrar energía también permite el ahorro de agua entre 10% y 12%. El proceso de secado se realiza sobre una superficie color negro, el café se va volteando constantemente para retirar la humedad a la cual fue sometido.

Almacenamiento: En este proceso se almacena el grano de café. En costales de 60 kg.

Procesos Industriales: En esta etapa el cps (Café pergamino seco se trasforma en un producto para su venta y distribución. Las cantidades que entran en cada proceso son aproximadamente 200 kg/ día en época de cosecha. Según (Sanmiguel, 2013) “*Las pérdidas totales corresponden a un 42.5%*”. Desde la primera fase.

4.2.10 Sistema Becolsub



Ilustración 18 Fuente: (Cenicafé, 2015). Informe sobre Becolsub y su consumo de agua. (Cenicafé, 2016)

La tecnología Becolsub adoptada en la Hacienda Majavita y dirigida y vigilada por el investigador de la Universidad Libre Haimar Ariel Vega Serrano, es una tecnología de Cenicafé. Esta tecnología se concentra en disminuir el gasto de agua generado en el beneficio del café y en ser más amigables con el medio ambiente generando menos lixiviados (Mayra Alejandra Hernandez Bautista, 2012) “*Con la tecnología Becolsub, al despulpar el café sin agua se evita que el 72% de la contaminación de mezcla y de transporte se concentren en el*

despulpado y desmucilagador... con consumos específicos de agua del 0,7 a 1 l/kg cps (café pergamino seco) (Cenicafé, 2015).

4.2.11 Escenarios de cambio climático

Los escenarios de cambio climático pueden describirse como *“una descripción estimable de cómo puede desarrollarse el futuro ... en un conjunto de variables”*. (PUND & IDEAM, 2015).

Además, los escenarios se construyen en poderosas herramientas que permiten el apoyo a la gestión, frente a las decisiones futuras que se deban tomar tales como presidenciales, gubernamentales, empresariales, de inversión o de investigación (PUND & IDEAM, 2015).

Estos escenarios se realizan a partir de la referencia de climas de 40 años, en el caso del quinto informe del Panel intergubernamental del cambio climático IPCC, el clima tomado de referencia fue el de 1976 a 2005, por presentar más cantidad y robustez de datos.

Los escenarios de cambio climático se realizan de acuerdo con metodologías secuenciales o metodologías en paralelo que se contemplan en la imagen 4.20. El Forzamiento Radiativo (FR) es una medida del proceso que altera el equilibrio de energía del sistema Tierra – atmósfera, debido a cambios en la concentración de dióxido de carbono o en la energía emitida por el Sol. Sus unidades son W/m^2 , hablamos de un FR positivo cuando queremos decir que la energía incidente en el planeta se queda almacenada y por ende aumenta la temperatura y se calienta el sistema, por el contrario, si el FR es negativo hay un enfriamiento del sistema. El IPCC (2014) ha definido 4 nuevos escenarios de emisión de FR, se les conoce como *“caminos representativos de radiación”*. Estos relacionan el Forzamiento radiativo, en (W/m^2), la concentración de CO_2 en ppm y la Temperatura en $^{\circ}C$. Los escenarios se les conoce como RCP's por sus siglas en ingles. (Road concentration paths). Según (PUND & IDEAM, 2015):

“La palabra “representativo” significa que cada RCP proporciona sólo uno de los muchos posibles escenarios que pueden conducir a las características de ese Forzamiento Radiativo. El

término “camino” hace hincapié en que no sólo los niveles de concentración en el largo plazo son de interés, sino también la trayectoria que ha tomado en el tiempo para llegar a ese resultado.”

Básicamente este es el primer paso de la metodología en paralelo, la elección de un RCP asociado a su forzamiento radiativo para luego continuar con cada uno de los pasos como se observa en la imagen 4.19 y 4.20 de metodologías. El RCP escogido para Colombia no fue uno solo sino que se tomaron los 4 por medio de metodología estadística REA , “Rehabilitan ensamble averaging” y se dieron pesos a cada RCP para luego ser plasmados en cartografía tal como se observa en la imagen 4.21 y 4.22.

Escenario	Forzamiento Radiante (W/m ²)	CO _{2eq} atmosférico (ppm)	Anomalia de temperatura
RCP8.5	8.5	>1370	4.9
RCP6.0	6.0	850	3
RCP4.5	4.5	650	2.4
RCP2.6	2.6	490	1.5

Ilustración 19 Escenarios de Forzamiento radiativo utilizados por el IPCC en su 5 informe y por el IDEAM para modelar los escenarios de cambio climático nacional y departamental. Fuente: (PUND & IDEAM, 2015)

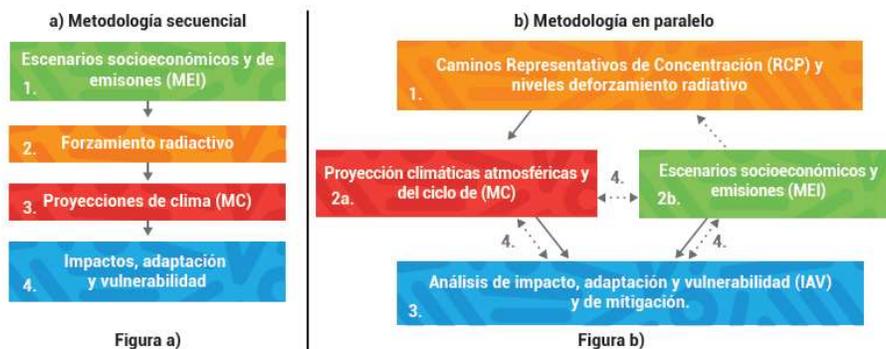


Ilustración 20 Modelo de escenarios de cambio climático Fuente: (IDEAM, 2016).

El resto de etapas a continuación mostradas se realizan a partir de los datos históricos con los que se cuenta. La diferencia entre los dos métodos radica en el tiempo de realización, siendo

más corto el modelo paralelo por no ser secuencial, por otro lado, el modelo lineal presenta inconsistencias a la hora de su entrega por el tiempo que lleva recolectar toda esta información, principalmente en los pasos 2 y 3.

4.2.11.1 Escenarios de cambio climático para Colombia

Para el caso de Colombia, la entidad encargada de realizar los escenarios de cambio climático es el IDEAM. “*Para su desarrollo los científicos del IDEAM tomaron los 16 modelos globales que mejor representan el clima de referencia de Colombia (1976-2005) y que modelan la temperatura y la precipitación hasta el año 2100*” (PUND & IDEAM, 2015). De igual forma estos escenarios se regionalizan por departamento mediante metodologías estadísticas nacionales.

Frente a lo que se presenta en este nuevo comunicado de escenarios del cambio climático, estos indican que el país en su conjunto estaría afectado por el cambio climático; sin embargo, frente a variables como temperatura y precipitación no será uniforme para todas las regiones del país (PUND & IDEAM, 2015). Se espera que el aumento en temperaturas sea de 2.14°C al finalizar este siglo y disminuciones de precipitación del 10% al 30% dependiendo de la zona.

4.2.11.1 Escenarios de cambio climático para el Departamento de Santander

Para el caso del Departamento de Santander, los escenarios esperados para 2040 y para el 2070 muestran unos aumentos de temperatura media de 0.9 °C y cambio de temperatura de 1.7°C respectivamente, así como una disminución en la precipitación de 0,54% y 1.29% respectivamente tal como se puede apreciar en las siguientes imágenes:

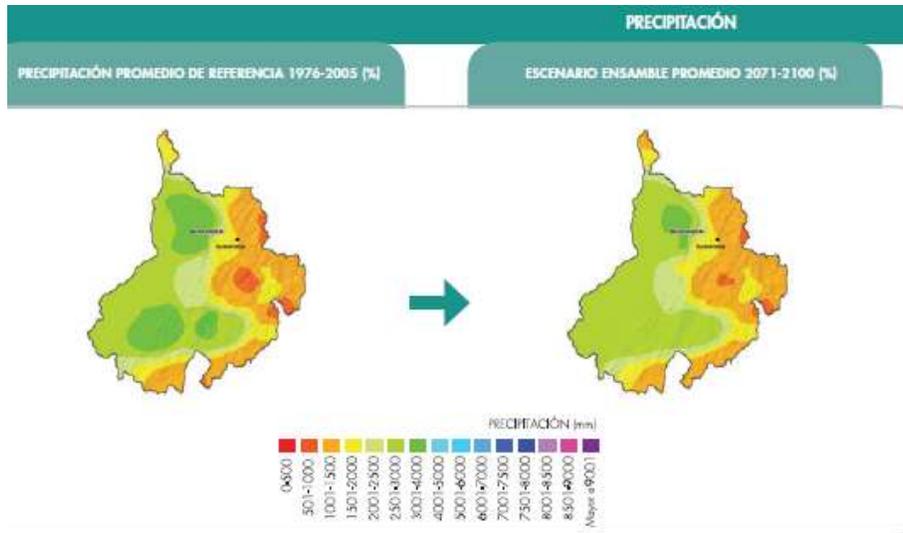


Ilustración 21 Precipitación promedio de referencia en mm/año contra la precipitación proyectada en mm/año de 2071 a 2100.

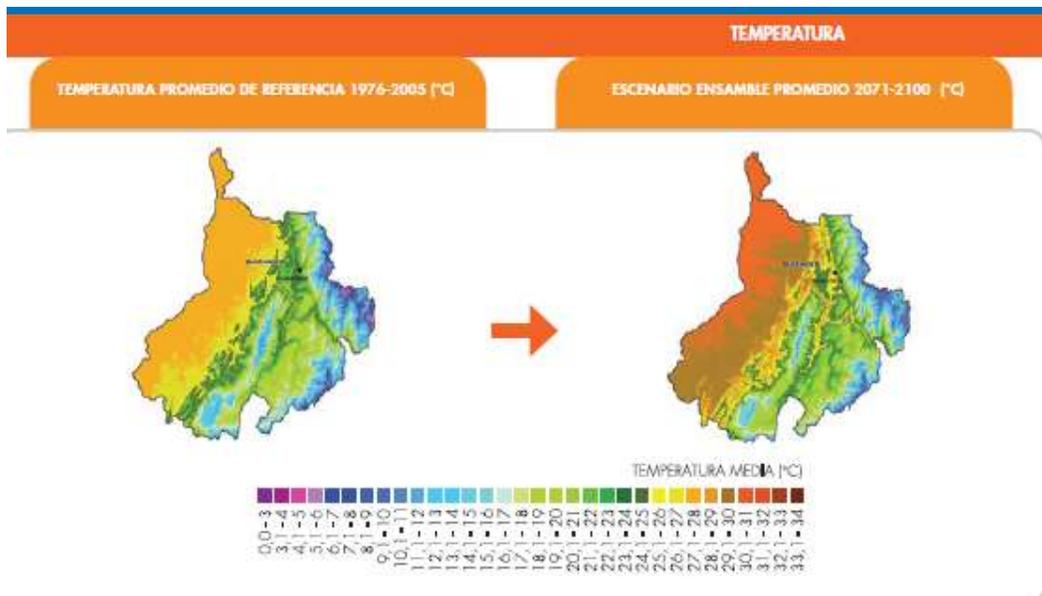


Ilustración 22 Temperatura promedio de referencia en °C contra la temperatura proyectada en °C de 2071 a 2100.

4.3 Marco geográfico e histórico.

En este apartado se pretende dar al lector(a) una pequeña pero bien resumida reseña geográfica e histórica, así como demográfica del sector donde se va a realizar el proyecto.

El municipio de Socorro Santander es un municipio antiguo de la colonia, fue fundado el 16 de junio de 1683 por Don José de Archila y Don José Díaz Sarmiento. La parroquia y la encomienda, como la mita llegó un año después 1684, es solo casi 100 años después donde obtiene el título de Villa, dado por el Rey de España de la época Carlos III. Al ser un municipio antiguo y ciudad distinguida del Reino su población llegó alcanzar los 12000 habitantes esto en el siglo XVIII. Con los albores de la independencia, esta ciudad se comenzó a convertir en epicentro de revueltas, la más conocida la de los comuneros. Todo esto mientras se estaba dando uno de los mejores momentos de la ciudad y se exportaban al viejo continente productos como, fique, algodón tabaco y la quina que era el producto por excelencia en ese entonces. También cabe destacar que esta ciudad fue ciudad capital tanto del municipio como del departamento de Santander en ese entonces llamado Estado Soberano De Santander hasta la segunda mitad del siglo XIX.

La morfología del terreno del municipio es muy variada según los datos de (Alcaldía de Socorro - Santander, 2015) *“El relieve en términos generales se presenta variado entre el fuertemente inclinado (25% al 50%) al muy escarpado (pendientes mayores del 75%), con áreas de relieve suave que condicionan el uso de los suelos a la conservación natural.”* Al ser un sistema montañoso podemos decir que el municipio de Socorro se encuentra ubicado en la cordillera oriental de los Andes encontrándose a una altura promedio de 1300 msnm. Su sistema geológico posee tres fallas que hacen que sea una zona de alta actividad sísmica activa, estas fallas hoy en día ya están identificadas y se encuentran ubicadas en la seccional de La Universidad Libre, Teherán y en el Motorista.

En cuanto a hidrología según (Alcaldía de Socorro - Santander, 2015) Se encuentran dos hoyas hidrográficas de vital importancia dentro del municipio a las cuales las quebradas, arroyos y riachuelos tributan sus aguas estas son: La Hoya Hidrográfica del río Suarez y la Hoya hidrográfica del río Chicamocha.

En cuanto a la extensión territorial el municipio posee un área de 122.1 km². Según el censo del DANE la proyección de la población para este año es de aproximadamente 30577 habitantes, siendo la población urbana 25125 habitantes y la densidad de habitantes de 250 hab/km² (DANE, 2005). La temperatura media de todo el municipio es de unos 23°C, está a una distancia de la capital de Bogotá de 364 km y 121 km de distancia hasta la ciudad de Bucaramanga. La flora y la fauna del municipio son muy distinguidas por la presencia de árboles maderables, presencia de Hidrografía rica como de suelos aptos para la agricultura. Básicamente según la clasificación de biomas, existe presencia de bosques secos tropicales, como bosques húmedos pre-montanos. La economía se basa principalmente en la Agricultura. *“Es de destacar igualmente, que en el Socorro la actividad más significativa que en el Sector Famiempresarial es el negocio referido a la transformación de productos alimenticios, allí se encuentran las panaderías, las dulcerías, las cafeterías y los molinos. De todas las anteriores, las panaderías son de mayor significación”*. (Alcaldía de Socorro - Santander, 2015). El clima como el suelo es propicio como también para el cultivo de productos como: *cultivos de caña, café, cítricos, frijol, maíz, tabaco, plátano, yuca, tomate, arveja, pimentón, habichuela; así como la mayoría de hortalizas, legumbres, plantas aromáticas y medicinales entre otros cultivos*. (Alcaldía de Socorro - Santander, 2015).

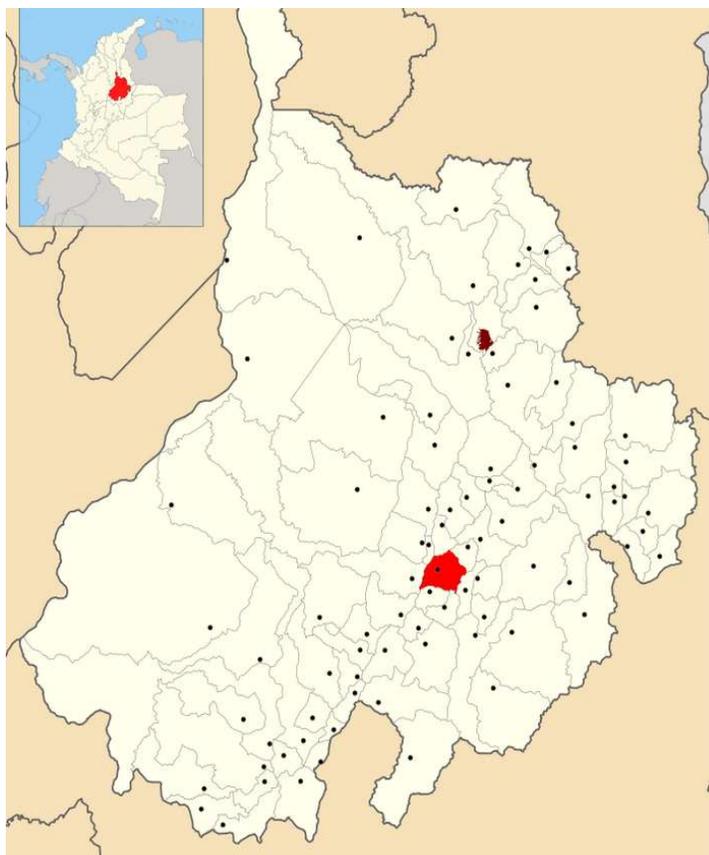


Ilustración 23 Ubicación del municipio de Socorro – Santander Colombia. Coordenadas geográficas municipio de Socorro Santander: 6°28'04"N 73°15'35"O ESCALA 1:250000.) fuente: (Alcaldía de Socorro - Santander, 2015).

Después de haber destacado los aspectos más relevantes del municipio de Socorro, hablaremos acerca de la hacienda Majavita. La hacienda o finca Majavita se encuentra ubicada en el casco rural del municipio del Socorro, muy cerca de la ciudad con el mismo nombre. Aproximadamente 2 o 3 km de distancia. Allí se encuentra también una sede de la Universidad libre. La variedad cultivada en la hacienda es una variedad orgánica de café castillo. Esta hacienda de ilustre renombre en la región de Santander, perteneció al conde de Cuchicute, cuyo nombre real era José María Rueda Gómez (nacido el 28 de Abril de 1871). Del Conde se sabe que se le conocía por sus excentricidades y locuras y es preciso hablar de él si se quiere tomar cuenta la Historia de la Hacienda Majavita, se dice que paso por distintos colegios de la época y que en todos fue expulsado menos en el de Bogota en el año de 1886 *“El ambiente laico y de libertad de cátedra le fue más propicio para su temple y por eso afirmarí años después que*

en esa casa de estudios encontró al que consideró como su único maestro, don Santiago Pérez” (Gómez, 2015). Por su comportamiento extrovertido y vagabundo se ganó enemistades y su padre decidió enviarlo a estudiar a los Estados Unidos para que desempeñara la carrera de comercio y fuese como lo dice su padre en sus cartas el timón de la familia y de la Hacienda Cuchicuté (Majavita), la cual era propiedad de sus padres. Se dice que el conde era mitómano y adquirió su locura de regreso a Colombia donde contrajo el paludismo camino al Socorro por la ruta del Río Magdalena, de regreso a su hacienda su comportamiento cambió. Por ese entonces la Hacienda de Cuchicute hoy conocida como Majavita, ya era productora de café y también de otros productos como el aguardiente sin embargo al segundo regreso del Conde, después de un viaje a Europa, *“el descenso en la cotización internacional del café, que pasó de 22 a 8.5 centavos la libra entre 1897 y 1899, año que coincidió con otro motivo que menguó el auge de la familia Rueda”*. (Gómez, 2015). Durante esa misma época la guerra de los mil días hizo decrecer la fortuna de la familia Rueda, este es el otro infortunio que se comenta. La muerte de su madre y las malas relaciones con su familia lo llevaron a que recibiera el calificativo de fracasado y loco, además se sabe que por ese entonces cometió varios homicidios, de los cuales fue absuelto por su puesto por su posición social. Su padre lo puso a cargo de la Hacienda Cuchicute que por ese entonces vio reducida su área a varias haciendas menores. Sin embargo, su padre después lo relegó de ese cargo y puede decirse que lo desterró, debido a su comportamiento de tendencias suicidas y homicidas. Sin embargo el conde resurgido y adquirió parte de la Hacienda de sus padres, la parte vendida, llamada Majavita, La Polonia y El Jobito, juntas formaron la hacienda Majavita y desde ese entonces su extensión no ha cambiado.

“En enero de 1905 José María Rueda Gómez compró la hacienda Majavita en el Socorro, propiedad que había sido de su madre. A estas tierras y a la de La Meseta que tenía desde 1895, sumaría pronto las haciendas de El Jovito en San Gil y Valdepeñas y La Polonia en el Socorro. Este “degenerado superior” como lo calificaría Luis López de Mesa años después en el marco de los exámenes mentales que se le hicieron en el

pleito judicial que sostendría con su hermano, empezó a sorprender a todos. José María que había fracasado en todas las iniciativas desde las estudiantiles hasta las empresariales e incluso amorosas por las que había pasado, se convirtió en pocos años en un acaudalado y exitoso hacendado y empresario, exportador del mejor café de la región, fundador del Banco de San Gil y socio mayoritario de la Compañía Eléctrica Hispano-Colombiana del Socorro.” (Gómez, 2015).

La carrera de ascenso del conde termino una mañana de 21 de julio de 1945 cuando fue asesinado por uno de sus empleados. Su cuerpo fue enterrado en la misma hacienda y actualmente se conserva. Se dice que fue enterrado de pie, esto según la costumbre francmasona de la época y en su tumba se realizó un obelisco.

Ilustración 24 Imagen 4.24 Obelisco conde Cuchicute. Hacienda Majavita.



Actualmente la Hacienda pertenece a la Universidad Libre. Cuenta con un área de 0,192 km² de los cuales 0,175 km² (17,5 hectáreas) pertenecen al área de producción de café, principal cultivo que se da hoy en día, 60 m² al bodegaje del mismo y 57 m² restantes distribuidos entre almacenamiento, empaquetado y zona administrativa, todo esto vecino al campus de la Universidad Libre sede Socorro o dentro de la misma sede.

En cuanto a las condiciones geofísicas, fanáticas y de flora que hacen parte de la geografía de la región y específicamente de la hacienda, se puede decir que esta es rica en toda clase de especie de animales, flora silvestre y agua. Según el inventario realizado por (Silva, 2012) y (Amaya, 2013)

Lote	Hectáreas	Número de plantas estimado	Variedad Café
1	2,49	15000	Castillo
2	2,06	10000	Castillo
3	4,05	16000	Castillo
4	3,56	14000	Castillo
5	1,58	5600	Castillo
6	1,69	3500	Castillo
7	1,94	12000	Castillo
TOTAL	17,37	76100	-----

Tabla 9 Conteo de plantas de Café por lotes Fuente: (Amaya, 2013).

De igual forma se cuenta con flora y fauna de:

NOMBRE COMÚN	NOMBRE CIENTIFICO	NOMBRE COMÚN	NOMBRE CIENTIFICO
Aguacate	<i>Persea Americana</i>	Azulejo	<i>Thripsius epicus</i>
Aro	<i>Thricanote Gigantea</i>	Guañuz	<i>Chrotophage ani</i>
Caracolí	<i>Anacardium excelsium</i>	Colibrí	<i>Glausion Hirsuta</i>
Cedro	<i>Cedrea Odrolata</i>	Carpintero	<i>Melanerpes sp</i>
Ceiba	<i>Ceiba Pentandra</i>	Canario Común	<i>Sicatis Flavescens</i>
Guamo Santaferño	<i>Inga Codonantha</i>	Copetón	<i>Zonotrichia Capensis</i>
Jalapo	<i>Albizia carbonaria</i>	Cucarachero	<i>Troglodytes aedon</i>
Moncoro	<i>Cordia alliodora</i>	Miria	<i>Turdus sp</i>
Moral	<i>Chlorophora tenctoria</i>	Petirojo	<i>Pyrocephalus sp</i>
Nauno	<i>Pseudomaneia guachapele</i>	Pechiamarillo	<i>Myiozetetes Cayannensis</i>
Plátano	<i>Mussa AAB</i>	Toche	<i>Icterus chrysater</i>
Tachuelo	<i>Zantoxilom Fagara</i>	Tórtola	<i>Clausius Pretiosa</i>
Urumo	<i>Cecropia sp</i>		

Tabla 10 Inventario de flora y fauna hacienda majavita Fuente: (Amaya, 2013)



Ilustración 25 Mariposas presentes en la Hacienda Majavita Fuente : Autor



Ilustración 26 Imagen Común presente en la Hacienda Majavita Fuente: Autor

NOMBRE COMÚN	NOMBRE CIENTIFICO
Ardilla	<i>Sciurus vulgaris</i>
Armadillo	<i>Dasypus sp</i>
Fara	<i>Didelphis marsupiales</i>
Murciélago	<i>Vampirops helleri</i>
Picur	<i>Nasau sp</i>
Rata de monte	<i>Throdontomys sp</i>

Tabla 4.10 Inventario de animales mamíferos comunes en la Hacienda Majavita.Fuente: (Silva, 2012)

NOMBRE COMÚN	NOMBRE CIENTIFICO
Falsa coral	<i>Erytrolampus</i>
Rana Platanera	<i>Hyla crepitans</i>
Sapo común	<i>Bufo marinos</i>
Coral	<i>Micrucrus sp</i>
Lagartija	<i>Anolis sp</i>
Güio/Anaconda	<i>Enectes</i>
Salamanqueja	<i>Gontodes Albobularis</i>

Tabla 11Tabla 4.11 inventario de reptiles comunes en la Hacienda Majavita. (Silva, 2012).



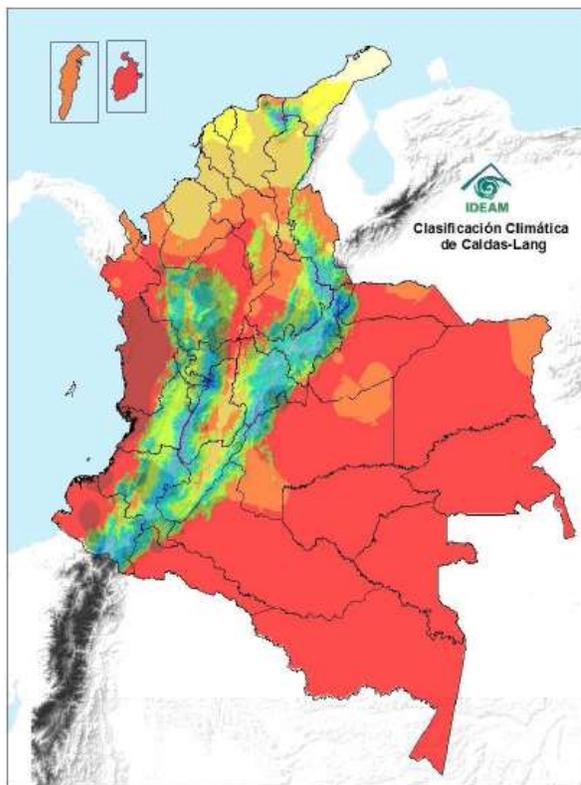
Ilustración 27 Mamíferos comunes que se encuentran en la granja de la Hacienda Majavita.



Ilustración 28 entrada al proyecto universitario.



Ilustración 29 Extraída de Google mapas Escala 1:5000 en el que se pueden apreciar las estaciones tomadas para el estudio como la ubicación de la hacienda Majavita.



Zonificación Climática Caldas Lang.

Leyenda	
Calido desértico	Frio humedo
Calido arido	Frio superhumedo
Calido semiarido	Muy frio semiarido
Calido semihumedo	Muy frio semihumedo
Calido humedo	Muy frio humedo
Calido superhumedo	Muy frio superhumedo
Templado arido	Extremadamente frio semiarido
Templado semiarido	Extremadamente frio semihumedo
Templado semihumedo	Extremadamente frio humedo
Templado humedo	Extremadamente frio superhumedo
Templado superhumedo	Nival semiarido
Frio arido	Nival semihumedo
Frio semiarido	Nival humedo
Frio semihumedo	Nival superhumedo

Ilustración 30 el mapa de Colombia Escala 1:100000 que se presenta a continuación es un mapa de la clasificación climática de Colombia Según Caldas-Lang, en él se puede detallar que la zona de estudio , posee un clima de templado semihumedo a Templado Semiárido este mapa fue extraído de (IDEAM, 2010). Un informe que presenta variadas clasificaciones climáticas del país.

La Hacienda de igual forma cuenta con un pendiente promedio máxima del 15,71% y el tipo de suelo predominante es aquel suelo de tipo Franco Arenoso apto para el cultivo de café y caña panelera. (Silva, 2012). La hacienda esta subdividida en 7 lotes llamados Mata de cedro y mata ceiba, Guamal, Rancho de teja y mata limón, Máncora y puente de piedra, Orgánico,

Cinchos y Aros. Además, es atravesada por 3 cuerpos hídricos en los que se encuentra la microcuenca de la quebrada La García y 3 quebradas la San cotea, mata de guadua y La García. Todos estos pertenecientes a la cuenca del río Suárez. De acuerdo al mapa la clasificación de Caldas Lang que se muestra en el mapa 4.2 La zona es de clima Templado húmedo. Y de acuerdo a la clasificación de Holdridge de Ecosistemas de vida la zona del municipio dentro de la que se encuentra la finca es sistema de bosque pre-Montano.

4.4 Marco legal

En este apartado hablaremos acerca de las distintas, leyes y normas que amparan este proyecto y sobre las cuales se debe tener en cuenta. Cabe aclarar que las leyes, normas, códigos y decretos en general no son eternos y que por lo tanto siempre tienen un constante cambio, por lo que se recomienda al lector no apegarse de estas leyes, normas y decretos que se presentan a continuación porque quizás puede que ya no sean vigentes al momento de su consulta y pudieron haber sido derogados, sin embargo, se presentaran aquellos que aún son vigentes para este año de investigación. Se presentarán a continuación en forma de matriz destacando lo más importante de estas más no su contenido total, ya que abarcaría la totalidad de esta obra y no es el propósito de la misma. Se debe resaltar que la mayoría de las normas presentadas a continuación son de Carácter Ambiental como también de carácter agrícola, existen pocas o se consideran nulas las que tratan otros temas que no sean los anteriormente nombrados. Cabe resaltar dentro de estos el Decreto 3930 de 2010 que limita potencialmente los vertimientos puntuales provenientes de efluentes de beneficiadores, principalmente aguas con miel de mucilago y que afectan los cuerpos hídricos.

Norma	Contenido Resumido	Publicación	Observación
Ley 607 de 2000	Por medio de la cual se modifica la creación, funcionamiento y operación de las Unidades Municipales de Asistencia Técnica Agropecuaria, UMATA, y se reglamenta la asistencia técnica directa rural en consonancia con el Sistema Nacional de Ciencia y Tecnología.	Gazeta Oficial	
Ley 160 de 1994	Por la cual se crea el Sistema Nacional de Reforma Agraria y Desarrollo Rural Campesino, se establece un subsidio para la adquisición de tierras, se reforma el Instituto Colombiano de la Reforma Agraria y se dictan otras disposiciones	Gazeta Oficial	
Ley 101 de 1993	Ley General de Desarrollo Agropecuario y Pesquero.	Gazeta Oficial	
Ley 731 de 2002	Por la cual se dictan normas para favorecer a las mujeres rurales	Gazeta Oficial	
Ley 811 de 2003	Por medio de la cual se modifica la Ley 101 de 1993, se crean las organizaciones de cadenas en el sector agropecuario, pesquero, forestal, acuícola, las Sociedades Agrarias de Transformación, SAT, y se dictan otras disposiciones.	Gazeta Oficial	
Ley 1114 de 2006	Por la cual se modifica la Ley 546 de 1999, el numeral 7 del artículo 16 de la Ley 789 de 2002 y el artículo 60 de la Ley 973 de 2005 y se destinan recursos para la vivienda de interés social.	Gazeta Oficial	
Ley 1450 de 2011	Por la cual se expide el Plan Nacional de Desarrollo, 2010-2014.	Gazeta Oficial	Derogada por la Ley 1753 de 2015 PN de Santos.
Ley 1241 de 2009	Por medio de la cual se aprueba el Tratado de Libre Comercio entre la República de Colombia y las Repúblicas de El Salvador, Guatemala y Honduras, hecho y firmado en Medellín, República de Colombia, el 9 de agosto de 2007, y los Canjes de Notas que Corrigen el Anexo 3.4 del Capítulo III relativo al "Trato Nacional y Acceso de Mercancías al Mercado. Sección Agrícola - Lista de Desgravación de Colombia para El Salvador, Guatemala y Honduras", del 16 de enero de 2008, 11 de enero de 2008 y 15 de enero de 2008, respectivamente.	Gazeta Oficial	
Ley 1196 de 2009	Por medio de la cual se aprueba el "Convenio de Estocolmo sobre Contaminantes Orgánicos Persistentes," hecho en Estocolmo el 22 de mayo de 2001, la "Corrección al artículo 1° del texto original en español", del 21 de febrero de 2003, y el "Anexo G al Convenio	Gazeta Oficial	
Ley 1598 de 2012	Por medio de la cual se aprueba el "Acuerdo Internacional del Café 2007" , adoptado por el Consejo Internacional del Café en su periodo 98 Londres Reino Unido.	Gazeta Oficial	
Ley 960 de 2005	Por medio de la cual se aprueba la "Enmienda del Protocolo de Montreal relativo a las sustancias que agotan la capa de ozono", adoptada en Beijing, China, el 3 de diciembre de 1999.	Gazeta Oficial	Derogada por Decreto 934 de 2008

Ley 842 de 2003	Por la cual se modifica la reglamentación del ejercicio de la ingeniería, de sus profesiones afines y de sus profesiones auxiliares, se adopta el Código de Ética Profesional y se dictan otras disposiciones	Gazeta Oficial	
Ley 841 de 2003	Por la cual se reglamenta el ejercicio de la profesión de Bacteriología, se dicta el Código de Bioética y otras disposiciones.	Gazeta Oficial	
Ley 822 de 2003	Por la cual se dictan normas relacionadas con los Agroquímicos Genéricos.	Gazeta Oficial	
Ley 189 de 2005	Por medio de la cual se aprueba el "Acuerdo de Creación de la Asociación de Países Productores de Café", suscrito en Brasilia el 24 de septiembre de 1993.	Gazeta Oficial	
Ley 798 de 2003	Por medio de la cual se aprueba el "Convenio Internacional del Café 2001", adoptado el veintiocho (28) de septiembre de dos mil (2000)	Gazeta Oficial	
Resolución 1421 de 2011	“REQUISITOS FITOSANITARIOS DE APLICACIÓN AL COMERCIO INTRASUBREGIONAL E IMPORTACIÓN DE TERCEROS PAÍSES DE GRANOS DE CAFÉ (<i>COFFEA CANEPHORA</i> Y <i>COFFEA ARABICA</i>) SIN TOSTAR PARA USO INDUSTRIAL”	Gazeta Oficial	
Resolucipon 321 de 1999	Por la cual se establecen disposiciones de carácter fitosanitario para la renovación o eliminación de cafetales que presentan infestaciones de la broca del café (<i>Hypothenemus hampei</i> Ferr.) y se dictan otras medidas.	Gazeta Oficial	
Resolución 3626 de 2007	Por la cual se establece el registro ante el ICA productores-comercializadores y comercializadores de colinos de café, en territorio nacional.	Gazeta Oficial	
Resolución 2492 de 2010	Por la cual se autoriza a la Federación Nacional de Cafeteros de Colombia - Centro Nacional de Investigaciones de Café (CENICAFE), a realizar actividades de investigación en medio confinado con Organismos Genéticamente Modificados de Tabaco Enano " <i>Nicotiana benthamiana</i> " Hongo " <i>Beauveria bassiana</i> " y plantas de café " <i>coffea arabica</i> ".	Gazeta Oficial	Declarada Exequible según sentencia C 354-95

Tabla 12 En esta tabla se presenta las distintas normas que sirven de sustento para la presente obra la mayoría. El lector se puede remitir si lo desea a (ICA, 2015) (Cenicafé, 2016).

4.5. Antecedentes

A lo largo del comienzo de este siglo alrededor del mundo se han realizado distintos trabajos acerca del café esto, o para mejorar su productividad o para mejorar su calidad. Se han hecho uso de diferentes disciplinas y profesiones encontrándose diferentes matices y puntos de vista acerca de la productividad del café. Se puede decir que el café ha acompañado al hombre desde la edad media como se refería en el marco teórico en el apartado 4.1.6. Y desde entonces ha sido un producto común como lo es el mismo pan.

Ya que en la red y en las bases de información se encuentran muchos trabajos previos a la presente obra, se limitará entonces a nombrar solo aquellos que pueden hacer aportes a esta investigación sin importar de qué disciplina pertenezca o sea su enfoque.

La primera obra corresponde a (Céspedes E. , 2012) , que puede verse en las referencias, su fin principal es el de plantar un perfil que siga la norma de calidad de taza de la Norma técnica colombiana para el café. La metodología utilizada básicamente establece la toma de muestras y el tazado de estas para dar fruto a unos resultados que son analizados por métodos estadísticos y que establecen las distintas preparaciones que se deben seguir. De igual forma toca el tema del proceso industrial del café y como puede este mejorarse en la zona de estudio que en el caso de la obra es en la Hacienda Majavita.

La segunda obra que aporta a este trabajo es un informe de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO por sus siglas en ingles). Este informe fue realizado por varios expertos de la fundación junto con el Instituto internacional de investigación sobre Políticas Alimentarias IFPRI, esto en el mes de octubre del año 2009. El informe titulado “Cambio climático el impacto en la agricultura y los costos de adaptación” tiene como objetivo general dar a al lector o proporcionar al lector información valiosa acerca de lo que es el cambio climático, en que actividades puede afectar al hombre y en qué

actividades se puede favorecer por estos cambios, como también que costos económicos trae esto para las naciones que se verán más afectadas. Este trabajo bien realizado también brinda información o proyecciones detalladas sobre: “*producción, consumo, precios y posibles costos de adaptación*” (FAO, 2009). La metodología utilizada en este informe no se limita a un área geográfica específica sino a más bien es a nivel global, obteniendo mapas tanto de las temperaturas promedio de todo el mundo como de las precipitaciones promedio de igual forma. Las herramientas que se utilizan son Análisis de varianza o ANOVA para cada caso de estudio. Metodología similar que se piensa aplicar al caso de esta obra. También se brindan estadísticas visuales como histogramas y gráficas de dispersión.

Los resultados que da esta obra van por continentes mostrando los diferentes escenarios de las variables estudiadas por los expertos. Las conclusiones que se toman como importantes y de las que se puede mencionar algunas son:

- Diseñar e implementar políticas y programas de desarrollo de buena calidad
- Aumentar las inversiones en producción agrícola
- Vigorizar la investigación nacional y los programas de extensión
- Mejorar la recopilación, difusión y análisis de la información mundial.

De la misma organización un tercer informe que aporta a esta obra fue uno realizado en marzo 30 del año 2015. Es un texto completo que se encuentra en la página de la fundación llamado “*Climate Change and Food Systems*” (FAO, 2015) , En este texto que consta de 11 capítulos y que recopila diferentes trabajos científicos realizados alrededor del mundo tiene por objetivo, insertar al lector dentro de la problemática de la agricultura y el cambio climático permitiéndole observar la interrelación entre cambio climático y la agricultura así también como posibles soluciones. Los capítulos del presente informe que más contribuyen a esta obra son los capítulos 1 , 3 y 4 . El primer capítulo titulado “Climate change, food security and trade: An

overview of global assessments and policy insights” (FAO, 2015). Es como el informe anterior en el que se hace referencia a la importancia de tener en cuenta el impacto del cambio climático sobre el comportamiento del mercado y de la productividad. El método que se utiliza en este capítulo es el de tomar datos mundiales, pero no los aterriza a un problema local. De igual forma pasa con el capítulo 3, pero lo interesante de este, es que se genera un modelo económico que toma en cuenta las variables adaptación contra impactos en la agricultura. El modelo fue organizado en computadora, no se muestran los algoritmos usados para obtener los diferentes escenarios, pero si se obtienen los diferentes resultados acerca del problema. El capítulo 4 por su parte titulado “An overview of climate change impact on crop production and its variability in Europe, related uncertainties and research challenges”, se centra como su título lo comenta en Europa donde se analiza la producción. El método utilizado es el método de recopilar información de diferentes años, en los cuales se analiza la cosecha de diferentes productos de consumo en el continente europeo, los productos especificados son las uvas, las flores y la avena. El resto del texto va disminuyendo su problemática de global a local y finalizando nuevamente con un enfoque global.

El cuarto trabajo que aporta a esta obra también pertenece a la FAO, se titula “*Climate Smart agriculture*”, (FAO, 2015) es un manual que ofrece distintas soluciones y se plantea para la gente del común y los mismos agricultores, fue publicado el 8 de Julio del año 2015. Se divide en tres grandes partes o módulos como se llama en el manual (se presenta en varios idiomas). El primer módulo es un marco teórico cuyo objetivo es introducir al lector acerca de la problemática del cambio climático, que es y en que afecta, luego dentro de este mismo modulo se establecen las interrelaciones entre cambio climático y agricultura. La segunda parte se titula ““*Enfoques y tecnologías mejorados para la gestión agrícola sostenible*” (FAO, 2015). En este se da a conocer al lector las tecnologías tradicionales como las tecnologías de punta que están siendo utilizadas para mitigar los impactos del cambio climático en la agricultura, se hace

hincapié en la biotecnología y en la mejora de los cultivos de forma genética. Se analiza el uso del suelo, el agua, la agricultura, el ganado, la piscicultura, y los bosques. El manual se encuentra de igual modo en la red.

La quinta obra es un informe de la IPCC titulado “CAMBIO CLIMÁTICO 2014 Impactos, adaptación y vulnerabilidad”, (IPCC , WMO , PNUMA, 2014). Este es un informe anual de la (Intergovernmental panel on Climate Change). Que junto con la WMO (Organización meteorológica mundial) presentan este informe que es de vital importancia, también participa la PNUMA (Programa de las naciones unidas para el medio ambiente). Este informe está disponible en distintos formatos, pero solo se encuentra en inglés. Los formatos pueden ser resúmenes o informes técnicos. Hay que tener en cuenta que este resumen se lanza cada año, de manera que existen diversas versiones, de la que se habla en este apartado es la versión de impactos y adaptación. En este informe se observa que el objetivo general es informar a los líderes mundiales acerca de las diversas políticas que se deben generar fruto del cambio climático en el planeta. Debido a que se están dando cambios se deben generar nuevas políticas para poder adaptarse. La metodología de este informe se fundamenta principalmente en ejemplos de toma de decisiones a nivel global y regional. Presenta estadísticas y muestreos de informes previos. Esta versión anual se viene dando desde hace tiempo ya y es fundamental tomarlo en cuenta a pesar de que va dirigido a líderes políticos sin embargo también posee apartados focalizados para personas del común.

Una sexta obra de carácter gubernamental es la titulada “Cambio climático y desertización “pertenciente a la WMO (WMO, 2010). En este trabajo se presentan las consecuencias que causan la desertización y cómo influye esto principalmente en el uso de los suelos. El objetivo principal es el determinar las consecuencias de la desertización de tierra alrededor de todo el mundo y poder dar posibles soluciones a este problema. La metodología usada principalmente es la normalización de datos y el análisis de los mismos.

A nivel regional de otros países podemos tomar como ejemplo la séptima obra tomada en cuenta que es una tesis doctoral titulada “The potential impacts of global climate change on United States agriculture” (Yoo, 2012). En este se trata principalmente como el cambio climático puede afectar la producción de maíz en Estados Unidos, a pesar de que este ha sido modificado. El objetivo principal de la obra es el de Determinar cómo afecta el cambio climático a la agricultura de estados unidos que parece ser un sector resiliente dentro de los próximos 100 años. La Metodología igualmente usada es muy similar a la de los informes ya comentados anteriormente. Se analiza información cuantitativa y se le aplican estadísticos. Una octava obra que también trata un tema similar es la titulada “The impact of climate change on Canadian agriculture: A Ricardian approach” En este se plantea el método ricardiano de economía. Es una tesis doctoral que se enfoca más en el tema económico que en el ambiental. El objetivo es determinar cómo se ve afectada la agricultura canadiense y también las plantaciones de pino con respecto al cambio climático. El parte es positivo para este caso ya que según la obra se están empezando a presentar brotes de este pino en el ártico. Sin embargo, esto genera un pasivo ambiental que es el cambio de albedo de las zonas de los polos.

La Novena es un informe gubernamental del gobierno colombiano ya citado anteriormente. Este trabajo fue realizado con las principales autoridades climáticas y meteorológicas del país y considera los diversos aspectos agroeconómicos que se verían tanto beneficiados como afectados. (IPCC - OMM, 2014).

Otras obras de carácter importante y más cercanas al proyecto ya que fueron publicadas en el municipio y por investigadores de la Universidad libre son el libro “Café Orgánico Una experiencia colombiana” del Ing. Hugo Ballesteros Monsalve (Monsalve, 2012). La obra cubre principalmente los temas de sellos Rainforest y UTZ que se proponen mantener. El trabajo de grado de Haimar Ariel Vega Serrano y Miguel Higuera Marín (Marin, 2011) que muestran el alcance de los sellos orgánicos que ha obtenido la Hacienda Estos son: Rainforest Alliance ,

OKO Grantie BCs , Bird friendly , Utz kapeh. Enfocada a la auditoría ambiental y la aplicación de la ISO 14001 de 2008.

Como Doceava obra tenemos “De los cafés especiales” de (Sanmiguel, 2013) Del docente del campus de Socorro Mauricio Sanmiguel que trata de la producción y los procesos utilizados para comerciar el café, volúmenes de producción y evaluación de las marcas. El enfoque de esta obra es comercial, pero comparte importante información acerca de la marca y su expansión hacia el futuro.

De igual forma para concluir se presentaron trabajos correspondientes en la zona de estudio. Estos trabajos no trataban el cambio climático como problema central sino se centraban en los lixiviados generados de la planta de beneficio algunos de ellos son los de (Silva, 2012) y (Amaya, 2013) que tratan sobre el relieve de la hacienda o de (Mayra Alejandra Hernandez Bautista, 2012) y sobre los lixiviados (Vega, 2010).

SEGUNDA PARTE METODOLOGÍA

5. Metodología

5.1 Resumen Descriptivo

Este capítulo da a conocer las metodologías que fueron utilizadas para poder resolver las preguntas de investigación que se originaron de los objetivos propuestos. Este tipo de propuesta metodológica es una de las muchas que existen pero que fue seleccionada y utilizada para llegar a los resultados porque fue una de las más lógicas y sencillas de seguir. Si el lector(a) deseara realizar una investigación similar a esta, en este apartado se pueden encontrar referentes para proponer su metodología.

Esta investigación en general fue de carácter cuantitativo, inició con un carácter exploratorio, pero a medida que fue avanzando se fue transformando en una investigación de carácter cuantitativo experimental que asociaba dos variables, el clima de la zona para el tiempo especificado y la producción de café castillo de la Hacienda Majavita igualmente para el tiempo especificado. Para este caso la variable clima con sus diferentes parámetros y factores tales como temperatura, precipitación y evaporación, fue la variable independiente, mientras que la producción de café fue la variable de respuesta o dependiente. Una vez identificadas las variables que estaban en juego y su conexión fue necesario organizar la investigación para cada una de las variables con su interrelación mutua, es decir que se realizó en tres partes, una parte para el clima de la zona de estudio, otra parte para la producción y una última para la interacción entre estas dos primeras. Antes de empezar a investigar métodos ya establecidos y diseñar otros en algunos casos, fue necesario formular la hipótesis a la cual iba a estar sujeta la investigación. La idea central sobre la que se sustentan las diferentes metodologías y que se encaminaron siempre al mismo esfuerzo, fue probar la hipótesis alternativa: Que plantea la **existencia de**

una relación entre la producción de café y el cambio climático esto a partir de los datos que fueron recolectados. Y falsear la hipótesis nula: Que establece **que no existe una relación entre la producción de café y el cambio climático**, es decir lo contrario. De manera que se identificó una hipótesis nula y una hipótesis alternativa como lo establece la estadística y dependiendo de ello se sustentó qué relación existía entre las variables, (Triola, 2013). La bondad de haber realizado la investigación de forma cuantitativa es que sus conclusiones son específicas, y permitió predecir que comportamiento iba a ocurrir entre las variables (Hernandez Sampieri, 2005). Además, permitió complementar las conclusiones por medio de juicios y evaluaciones subjetivas para aquellas partes de los resultados que requerían de este tratamiento y que por sí solas no hablaban o significaban algo.

Por esta razón fue necesario la aplicación de diversos métodos para la resolución de cada una de las partes de la investigación. En concordancia con los objetivos propuestos y las preguntas de investigación que de estas surgieron. Esta investigación se dividió en tres partes, cada una con la aplicación de un método y que se resume en la descripción que aparece de la siguiente manera:

La primera parte: Correspondió a la recolección de datos de las estaciones meteorológicas por medio de la búsqueda de las más cercanas geográficamente al municipio e implícitamente a la Hacienda Majavita (IDEAM, 2010). Una vez se obtuvieron los datos de las mismas, se organizaron para complementarlas por medio de métodos estadísticos manuales que incluían las regresiones lineales y los coeficientes de correlación de Pearson, además de los métodos estadísticos más complejos como el uso de softwares tales como Rstudio y su paquete estadístico del CIAT Rclimtool (CIAT, 2013), que fue utilizado en casos en donde Pearson y regresiones lineales no eran funcionales. Luego de que se complementaran los datos, se realizó un control de calidad y gestión de los mismos tal como lo recomienda en Excel (IDEAM, 2016).

La segunda parte: Correspondió a la obtención de datos de producción tanto de la región como de la hacienda Majavita, los primeros se obtuvieron para hacer un comparativo inicial del comportamiento del cultivo en esta zona contra el clima del mismo lugar, sin embargo, la modelación, el estudio y los resultados corresponden a los que fueron realizados en la Hacienda Majavita, mas no, las estadísticas de toda la región, fue necesario conocer el todo (la región) para conocer el comportamiento de las partes (La Hacienda Majavita). De la misma forma y similar al método que investigó el clima de toda la región municipal para conocer el clima particular de la zona de estudio. Esta segunda parte no cuenta con método establecido por lo que fue necesario un diseño basado en la lógica estadística. -citar con Triola-. Los datos de la región fueron obtenidos de (Federación Nacional de Cafeteros, 2013). Además, sirvieron para conocer el comportamiento de la producción en la línea del tiempo. Los datos de la hacienda se obtuvieron in situ gracias a la colaboración de: (Sanmiguel, 2013) ingeniero director del cultivo en la zona. Estos datos no requirieron de tratamiento estadístico, pero si una organización y control de calidad con software de datos, Excel principalmente, tal y como se realizó para la primera parte. Estos fueron esenciales para comparar el comportamiento actual de producción contra el comportamiento futuro que formó parte de la tercera metodología.

La tercera parte: En esta fase se correlacionaron los datos de la producción de la Hacienda Majavita con los datos del clima de la misma, ambas variables ya tratadas. Por medio de un ANOVA se realiza la correlación y se establece si la hipótesis es nula o alterativa (Triola, 2013), luego para comprobar este ANOVA se realizaron simulaciones de producción de la hacienda Majavita actualmente y como sería en el futuro agregando los escenarios de cambio climático propuestos por el (IDEAM, 2016), por medio de Software agroclimático Aquacrop (FAO, 2015), incluyendo todas las variables que este solicitaba al usuario este servidor, no solo las variables climáticas, sino también las administrativas o de gestión del cultivo así como las

investigadas en el marco teórico referentes al tipo de suelo, humedad, tipo de regado, sombrío entre otras. (Fernández, 2013).

De esta forma se obtuvieron los resultados de la presente investigación respondiendo la cuestión que métodos se aplican. A continuación, se explica cómo se implementaron los métodos anteriormente descritos y se presenta un bosquejo de cómo se realizó la metodología.

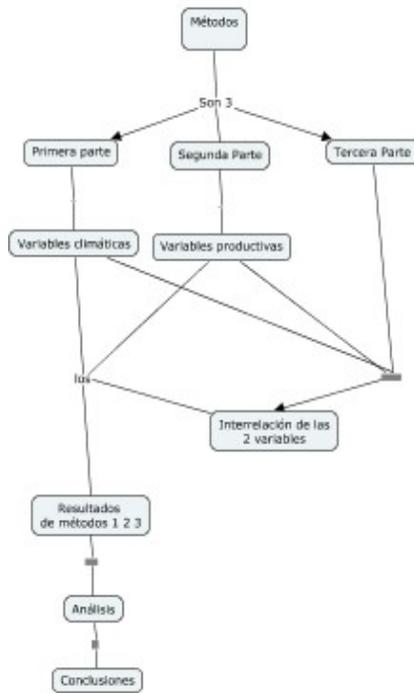


Ilustración 31 Ruta metodológica para cada una de las partes expuestas. Fuente: Autor

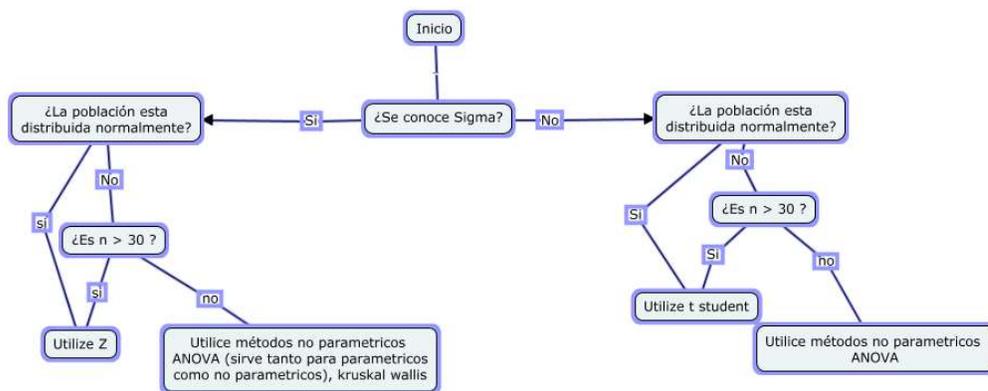


Ilustración 32 Ruta estadística para desarrollo de la hipótesis. Fuente: Autor

5.2 Desarrollo de métodos y materiales usados

Después de haber observado los métodos que fueron utilizados para la obtención de los resultados, se va mostrar cómo se emplearon estos de manera más profunda y concisa de acuerdo con los objetivos de la investigación.

Primera parte

Evaluar parámetros climáticos (Temperatura, Pluviometría, Evaporación) asociados al cultivo de café castillo en el municipio de Socorro, Santander Hacienda Majavita, correspondientes al periodo de análisis climático, de mínimo 3 décadas.

Para desarrollar este objetivo (IDEAM, 2016), sugiere metodológicamente rastrear mínimo 2 estaciones climáticas, meteorológicas o hidrológicas, que se encuentren dentro de la zona para el caso de la presente, se rastrearon: las estaciones más cercanas que fueron utilizadas y eran:

- 1- HDA MAJAVITA UL [24015370]
- 2- SOCORRO [24010780]
- 3- SIMACOTA [24010660]
- 4- CEIBA LA [24017640]
- 5- PALMAR EL [24050080]
- 6- CUCHARO EL [24025020].

Todas las estaciones eran climatológicas exceptuando la estación número 4 que correspondía a una estación hidrológica, esta información fue extraída de (IDEAM, 2015).

Las décadas escogidas fueron de 1970-2010, debido a que este periodo cubre la normal climática y se presentan mayor cantidad de datos tal como (IDEAM, 2016), sugiere para realizar estudios climáticos. Estas estaciones pertenecen y son administradas por el IDEAM.

Se usaron sistemas de información geográfica para especializar las estaciones y descartar cuales servían y cuáles no, uno de esos sistemas es el sistema de información geográfica online del IDEAM, además de este ,Qgis, un sistema de información geográfico abierto programado en Python (Krivoruchko, 2013), permite realizar la interpolación de Kriging, que es diferente a todas las demás formas de interpolación debido a que tiene en cuenta la altitud de una zona. Para la investigación este tipo de interpolación fue fundamental debido a que Santander Colombia, Socorro, vereda alto de los morros hacienda majavita en general es una zona escarpada y otro tipo de interpolación no era adecuada ya que no toma la altura como una variable regionalizada (UNIOVIEDO, 2016). El SIG fue utilizado para especializar la información de las estaciones y para que la información no quede sesgada espacialmente (Krivoruchko, 2013). La falta de datos en estas estaciones fue un problema que ya era previsto desde antes (IDEAM, 2016) y que apareció cuando se organizaban los datos. Fue solucionado con métodos estadísticos, entre ellos regresiones lineales y coeficientes de correlación de Pearson, así como curvas de dobles masas. Se puede realizar regresiones lineales cuando solamente se cuenta con datos en otra estación para ese día, si se evalúa diariamente, mes si se evalúa mensualmente. (Wilks, 2006) Las fuentes de datos utilizadas son mensuales y diarias para el periodo de 1970 a 2010, se diseñó una estación patrón llamada estación “x” que contenía en su mayoría todos los datos donde se estuviera completo el dato para ese día o ese mes (Zea Mazo, 2002) y luego se utilizaba el Método Weather Bureau (Wilks, 2006) o también conocido curvas de dobles masas o subsecuentemente las regresiones lineales por descarte. Para completar los datos se utilizó el método que se explicó, así como el mostrado en el “capítulo 4.2.5 Conceptos de estadística”. Para este último de la siguiente manera se desarrolló si se tenía una muestra o estación “x” de precipitación por ejemplo y una muestra de precipitación “y” de igual naturaleza se organizaban en una tabla con tal de que estas se pudieran graficar, luego se

obtenía la pendiente de esta escrita en la forma de “y” en función de “x” (Triola, 2013) y por medio de esta ecuación se obtenía un dato que no se encontraba marcado para unas condiciones dadas. La condición principal es que el coeficiente r de Pearson sea mayor de 0.5 (Triola, 2013). De lo contrario no se podían obtener valores reales ni cercanos al dato faltante. Si por el contrario la distribución de datos no corresponde a una distribución normal que es propia de las distribuciones continuas (Mihelic & Zimmerman, 2013), entonces pertenece a distribuciones discretas con distribuciones binomiales o de Poisson (Wilks, 2006). En este caso se aplicaron métodos no paramétricos, ya que los anteriormente nombrados tiene menores probabilidades de funcionar (Triola, 2013). La temperatura, precipitación diaria y evaporación solían tener distribuciones continuas de tipo normal y gamma respectivamente tal como lo plantea (Wilks, 2006), sin embargo, las precipitaciones extremas, y temperaturas máximas y mínimas presentan un tipo de distribución discreto de tipo binomial y de Poisson. Para estos casos se aplicó la herramienta RClimtool del software libre Rstudio, ya que en pocos casos se podía utilizar Pearson, sin embargo allí donde se presente que la correlación sirva esta se puede utilizar tanto para variables discretas como continuas (Triola, 2013), y se puede elegir aplicar curvas de dobles masas o en su defecto correlaciones lineales. Por medio de métodos estadísticos inferenciales no paramétricos (Kolmogórov-Smirnov) también se puede llegar a obtener respuesta del dato faltante sin embargo este tipo de método no se utilizó debido a que se tenía el soporte de Rstudio, sin embargo, vale la pena mencionarlo y explicar por qué no fue usado.

Después de obtenida la información completa de las estaciones se empezó a clasificar la información, esto se realizó siempre con un software de apoyo ya que el volumen de información manejada fue bastante grande, el software usado fue Excel ®.

Segunda parte

Analizar los cambios en la producción de café en el municipio de Socorro, Hacienda Majavita a lo largo del tiempo de producción disponible.

En esta parte se investigó la producción de café de la región, así como de la Hacienda Majavita y posteriormente se realizó un análisis descriptivo de medias y porcentual (Triola, 2013) de la producción para el tiempo disponible de la región que cubre la norma climática de los 40 años que escogieron, 1970 a 2010 así como de la hacienda para sus 5 años que están dentro del tiempo de estudio. Para esta parte hay metodologías establecidas para la obtención de la producción sin embargo no era el propósito de este trabajo, investigar sobre las posibles causas, ajenas a las del clima que hubiesen hecho cambiar la producción a lo largo del tiempo especificado, como son las económicas y que tienen métodos más establecidos, por cuestiones de método, economía de tiempo y realidad solo se pueden enfocar en un fenómeno, en este caso el clima que es un sistema complejo de por sí. Por esta razón solo se siguió este método estadístico sencillo, no se analizó ni el precio ni sus acciones en el mercado consecuentes, de la misma forma por lo anteriormente dicho ya que el precio también afecta el comportamiento de las cosechas ya que es un producto con una oferta inelástica y una demanda inelástica (Samuelson, 2015). Los datos no necesitaron de tratamientos estadísticos para completar datos faltantes, debido a que estaban completos. Estos fueron solicitados vía correo electrónico y visita virtual de la base de datos en la (Federación Nacional de Cafeteros, 2010), Federación Nacional de Cafeteros.

Implícito al proceso analítico empírico que se realizó, de igual forma, una salida de campo a la región y específicamente a la Hacienda Majavita, con el propósito de conocer la hacienda, la infraestructura y la producción para el procesamiento del café, esto fue parte del proceso metodológico. Esta salida fue necesaria para observar como es el terreno y

obtener datos tanto del cultivo, como de las condiciones abióticas del lugar específicamente de la (temperatura, presión, humedad y humedad relativa). Así como el estudio u observación de: Estado actual de cultivos, tipo de café cultivado, manejo del cultivo y tratamiento de la planta en general por parte de los campesinos de la hacienda. Para la toma de muestras agroclimáticas se requirieron de diversos instrumentos meteorológicos como termómetros de extremas, psicómetros, barómetros, higrómetros, actinógrafos y anemómetros, todos en compuestos en estación móvil de la Universidad para el lugar del cultivo, debido a que las condiciones tienden a presentar temperaturas más bajas por la presencia de sombrero, si es que lo presenta (FAO, 2015). Con estos equipos se contó, que fueron en total 2 con todas estas funciones, sin embargo, estos datos son meramente informativos y no influyeron en las estadísticas manejadas para este proyecto y aparecen en el marco geográfico e histórico, así como en los resultados de gestión del capítulo 8 y eran más de referencia que de utilidad ya que fueron datos de 1 día y los que se requerían eran de 40 años, estos no intervinieron en los resultados estadísticos. Los datos de producción fueron suministrados por (Sanmiguel, 2013), pero de igual forma por el mismo autor, ingeniero encargado de la hacienda de forma personal visitando su despacho en la Hacienda Majavita.

Tercera parte

Analizar cuál o cuáles de las variables tiene mayor influencia en la producción de café en el municipio de Socorro Santander Hacienda Majavita, establecer correlación y ver si las variables estas están correlacionadas unas con las otras.

Luego de que las variables bautizadas producción y clima fueron obtenidas y completadas se empezó la etapa de correlación y análisis, fue en este punto donde se rechazó o se aceptó la hipótesis nula, en este caso la hipótesis fue nula como se ve en los resultados del capítulo

9. El análisis de varianza que se realizó fue basado en el método estadístico tradicional (Triola, 2013) de juicio verdadero o falso de hipótesis, se estiman que consecuencias podría traer en el futuro teniendo en cuenta al cambio climático como la variable de pronóstico o variable independiente y la producción como variable de respuesta o variable dependiente. Se realizó un análisis ANOVA de un factor para cada variable climática, las variables más representativas fueron la temperatura y la precipitación a partir de estas se realizó un Análisis de varianza múltiple para variables climáticas más significativas, junto con la producción de la Hacienda, se tuvieron en cuenta estas dos variables y no se miraron por separado, solamente debido a que conforman un sistema que se bautizó como “clima”, el coeficiente de correlación múltiple para las variables climáticas y la producción de la hacienda dio un valor por encima de 0.5, igual a 0,67, que traducida un correlación entre las dos variables estudiadas además el juicio de hipótesis cayó en hipótesis alternativa (Triola, 2013), observar capítulo 9, la curva ajustada de regresión múltiple dio una respuesta positiva para el cultivo de café, comprometiendo a que el cultivo presentaba un crecimiento para épocas futuras, los análisis respectivos se realizaron usando Excel® así como las gráficas que de este se derivaban. De igual forma se realizó un análisis previo al ya mencionado entre los históricos de producción y las líneas de tiempo del informe de la (NOAA, 2017), que establece para cada año el comportamiento del (ENSO), (El niño y la niña) se abordó desde el punto de variabilidad climática debido a que las condiciones futuras tendrán un comportamiento similar y extendido al fenómeno de la niña, más que al del niño según el informe del (IDEAM, 2016), con mayores temperaturas y disminución de lluvias, además que se evidencio que se presentaban cambios en la producción que afectaban al cultivo, era necesario entonces conocer cómo iba a ser el comportamiento desde este punto de vista para tener una idea previa de cuál iba a ser la respuesta del cultivo a estos cambios y después se realizó el análisis ya mencionado. Para el caso del café se evidenció mayores

productividades en épocas secas tal y como se evidenció en el análisis posterior que se realizó.

Luego se confirmó la conclusión obtenida del análisis múltiple que establecía “crecimiento del cultivo para épocas futuras debido al cambio climático”, con software de modelado o de predicción agrológica siendo elegido y recomendable el uso de Aquacrop© (FAO, 2015), Este software es de la FAO y posee otras bondades como el poder realizar simulaciones simultaneas para confirmar los resultados que se dieron en el ANOVA año tras año. Además, que nos permite obtener los modelos y simulaciones en un archivo editable para analizar, de igual forma nos permitió obtener las cifras de porcentaje estimado de crecimiento productivo, proceso que era muy difícil de obtener con estadística tradicional, por no contar con los datos futuros reales. Se debe aclarar que los datos que se obtuvieron de esta simulación son datos teóricos o ideales y se obtuvieron a partir de las variables que requería el programa que a grosso modo eran dos, el clima de la región y el tipo de cultivo (FAO, 2015), los datos del clima de la región se obtuvieron de la parte 1 estadísticas climáticas de 1970 a 2010 y, los datos del tipo de cultivo se obtuvieron de los resultados de gestión y descriptivos o de referencia de la parte 2 así como de la fenología consultada del café castillo. Estos eran necesarios para luego realizar la simulación. No se incluyeron en esta fase los datos de producción reales obtenidos de la (Federación Nacional de Cafeteros, 2013) debido a que, estos se compararían más adelante con los que se obtendrían del modelado de Aquacrop©. Se corrió la simulación y al obtener los datos se compararon para observar que tan reales eran los datos teóricos obtenidos con respecto a los reales de 1970 a 2010 (Triola, 2013). Estos datos teóricos fueron comparados con los históricos por medio de Pearson y se acomodaron para que dieran una correlación por encima de 0.5. El propósito de esta parte no era corroborar que los históricos y los teóricos estaban muy correlacionados, sino que era realizar una plataforma con el fin de hacer una nueva simulación, pero esta vez

futura, y que conservara la propiedad de ser lo más realista posible (FAO, 2017). Luego se ajustaron los datos de producción y se ajustaron de igual forma, los datos climáticos esto por medio del informe del (IDEAM, 2016) que establecía decrementos de 0,54% para la precipitación y aumentos de 0.9°C para la temperatura, estudios basados en estadísticas de 1975 a 2005 de la institución y el informe ya citados. Con las dos variables completas se vuelve a correr la simulación, pero esta vez para escenarios de 2011 a 2041 y de 2041 a 2070. Cabe aclarar que estos datos obtenidos son modelos matemáticos sencillos teóricos que solo contemplan las variables agroclimáticas ya nombradas y de gestión del cultivo, más no contemplan otras variables tales como culturales, sociales y económicas que son también importantes y afectan la productividad del cultivo (FAO, 2015), pero que por realización de esta investigación y alcance así como por los objetivos planteados no se toman en cuenta. Además, ya se está manejando un sistema complejo que es el clima (Wilks, 2006) y sumar estas variables no era el propósito de solo esta investigación.

Recapitulando y profundizando un poco más lo anteriormente explicado, el fin de esta parte era modelar lo obtenido por el ANOVA, y confirmar si las predicciones de este análisis eran ciertas o no, el resultado que se obtuvo fue positivo para el cultivo de café y coincidía con las conclusiones del análisis obtenido, los resultados se pueden observar en el capítulo 10 La interfaz que se utilizó fue la de aprendizaje (FAO, 2017) y era amigable para el usuario tal y como se observa en la ilustración 33, se importó el clima del lugar, obtenido de la primera parte. Este archivo fue importado a partir de los datos suministrados por las estaciones. Debe ser un archivo de texto con el promedio diario anual de los 40 años de estudio. Este archivo se encuentra en la carpeta del Anexo 1 “Datos modelación” Datos.xls, este archivo se guardó como un archivo de texto sin sus membretes con el nombre de socorro. El programa entonces genera archivos- “. PLU. T Y. Eto” De igual forma, se debe crear el cultivo que está en el apartado Crop, debido a que los cultivos que por defecto trae

Aquacrop© este no se encontraba, recordando que el cultivo tratado era el café castillo de la hacienda Majavita y que se debe creó a partir de la fenología del cultivo y los resultados de referencia de campo del capítulo 8. El suelo y el manejo del cultivo son conocidos así que se categorizaron dentro de las diferentes opciones que ofrece Aquacrop. Luego de tener todos los datos y variables que requiere el programa que son Climate, Crop, Management, Soil, este nos pidió correr la simulación que dio como resultado la productividad ideal, que corresponde a los años de estudio, esta sale en un archivo de salida que se puede exportar a aun archivo Excel para ser analizado y graficado. El análisis y los resultados se pueden apreciar en la tercera parte de resultados y análisis de esta investigación en el capítulo 10. Toda esta metodología del manejo de Aquacrop fue proporcionada por la FAO en forma de material audiovisual (UNFAO, 2016) y en sus manuales (FAO, 2017) y (Bello Cortés, 2013).

De esta manera se guio el proceso lógico de esta investigación. La meta principal fue siempre estar acorde con los objetivos propuestos de esta investigación.

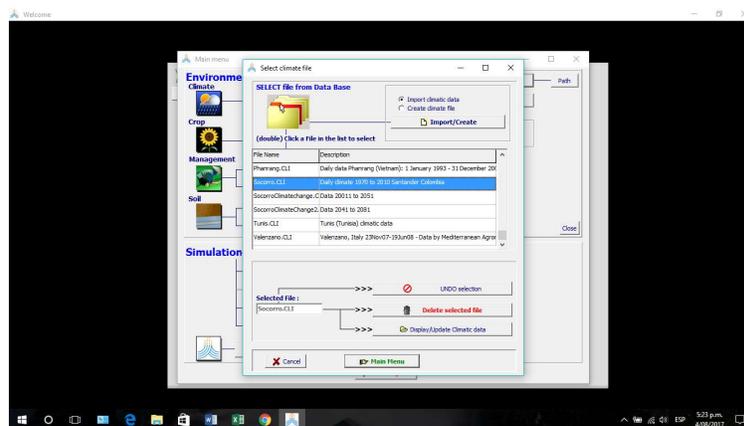


Ilustración 33 Inicio de interfaz de Aquacrop. Fuente: Autor.

TERCERA PARTE RESULTADOS Y ANÁLISIS

6. Resultados meteorológicos y climatológicos

A continuación, se presentan los resultados de aspectos climáticos, la información respectiva de las estaciones se encuentra en el capítulo 4.2.3 así como en la metodología sobre estaciones meteorológicas de la primera parte. La información de datos extraída para la investigación pertenece a las estaciones del IDEAM y se encuentran en el anexo 1. En el link del anexo 1 se observan 3 carpetas, en ellas se encuentran los datos originales que se encuentran en archivos de texto, se pueden descargar, los datos fueron completados usando las diversas técnicas expuestas manualmente, pero de igual forma se hizo uso de RClintool® y su paquete estadístico R un software libre de lenguaje abierto que ayudó a completar datos, así como del paquete estadístico R climtool herramienta desarrollada por el CIAT que funciona en la plataforma R Rstudio V 1.2.5. Ambos softwares son de uso gratuito. El completar estos datos nos permitió realizar la obtención de resultados promedio para dichos años para realizar la simulación en el software Aquacrop©. Estos datos fueron tratados estadísticamente según lo mostrado en la metodología. Debido a que estos datos ocupan gran volumen en la obra y no es propósito de esta tratar sobre el llenado de datos se omitirá su presentación aquí, sin embargo, quedan a disposición para su revisión. A continuación, se presentan los datos graficados de precipitación, temperatura y evaporación promedio de la zona de interés. Como se puede observar en las ilustraciones de los mapas 6.1 al 6.4 respectivamente se observa que la precipitación presenta una tendencia a disminución, así como la evaporación, mientras que la temperatura presenta una tendencia al aumento durante el periodo de 40 años. Las estaciones escogidas se pueden observar en la ilustración 34. Con base a los datos anteriormente obtenidos y graficados en las ilustraciones 35 a la 40 se pudo saber cómo era el clima de la región y obtener la cartografía que se puede observar en el mapa 6.1 al mapa 6.12

La ubicación espacial de las estaciones se puede observar en el la ilustración 33 que se presenta a continuación.

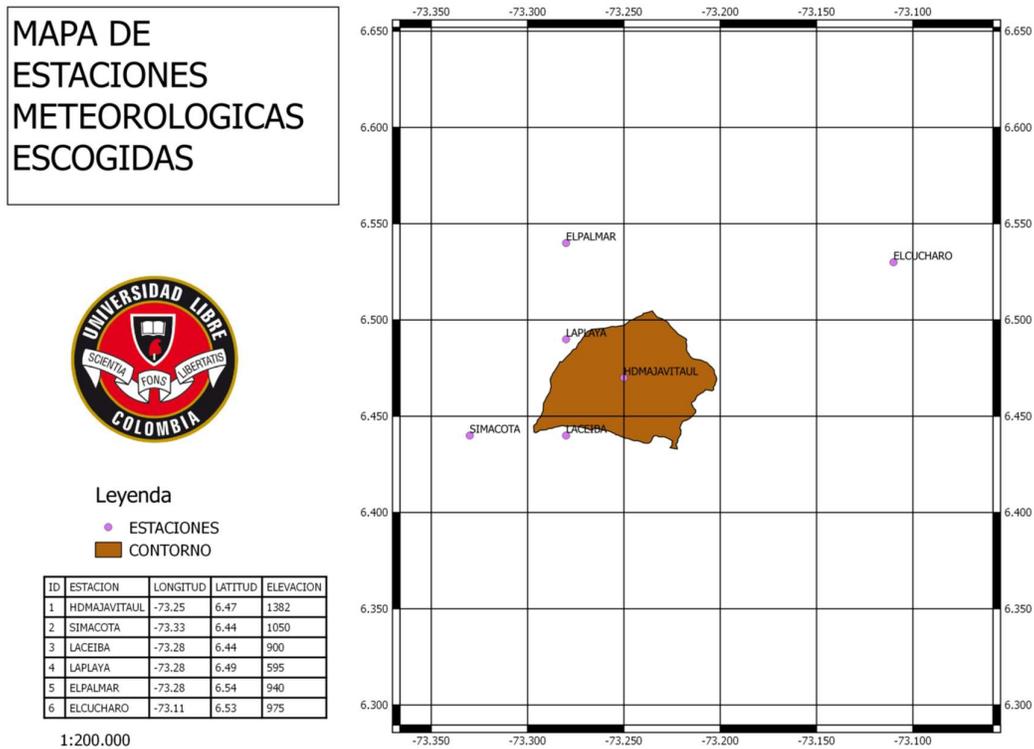


Ilustración 34, Mapa que Representa las estaciones que fueron utilizadas para realizar el estudio. Fuente: Autor.

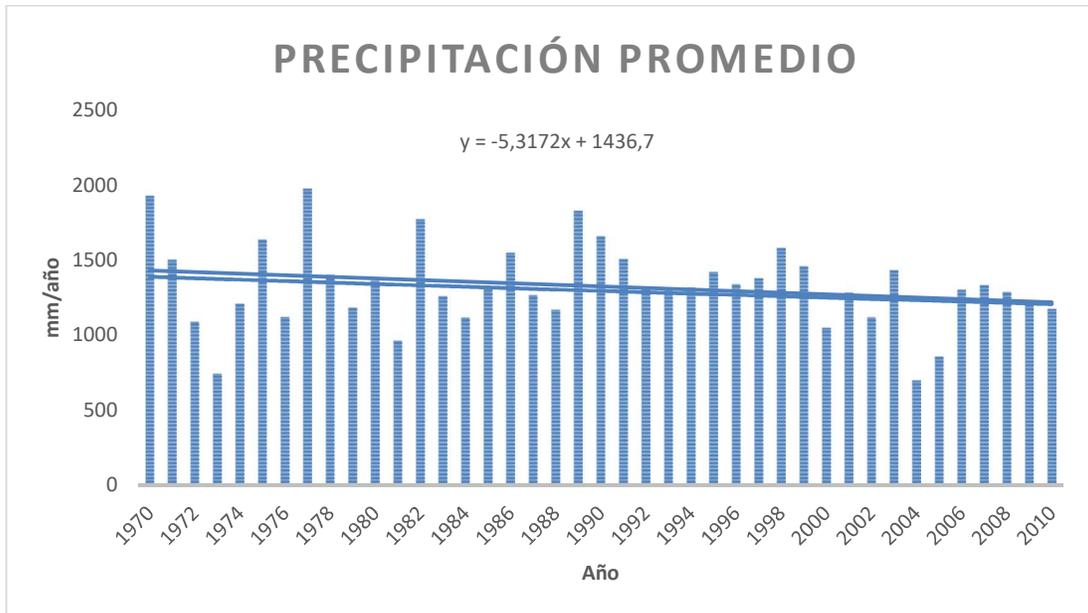


Ilustración 35 se puede observar la precipitación promedio los datos fueron suministrados por el IDEAM, gráfica realizada por el autor. Fuente: Autor.

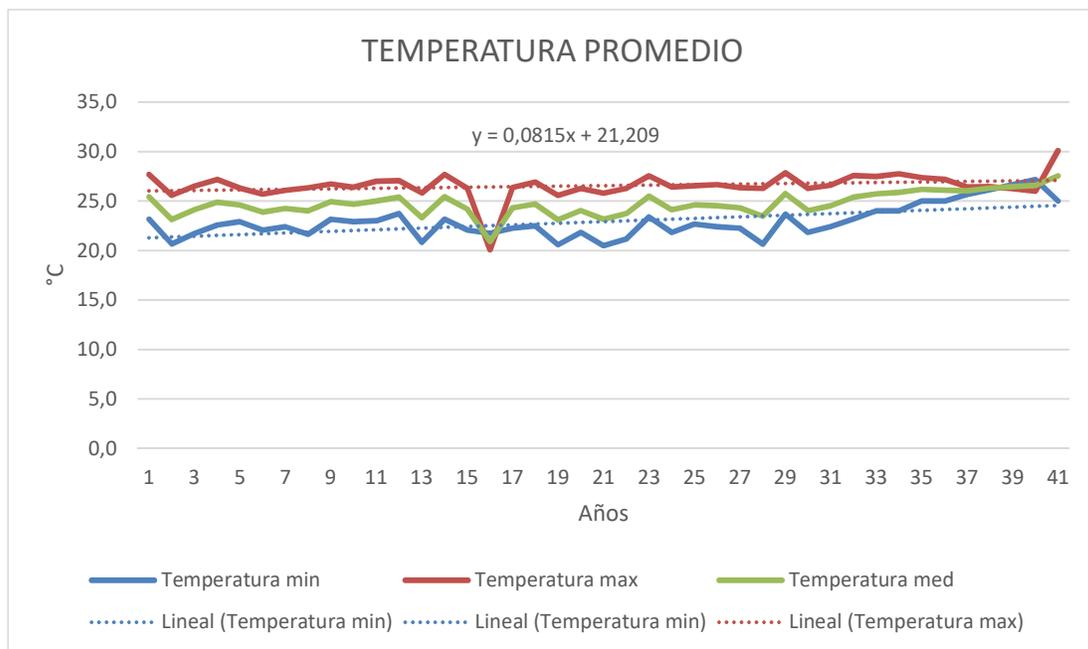


Ilustración 36 se puede observar la temperatura promedio los datos fueron suministrados por el IDEAM, gráfica realizada por el autor. Fuente: Autor.

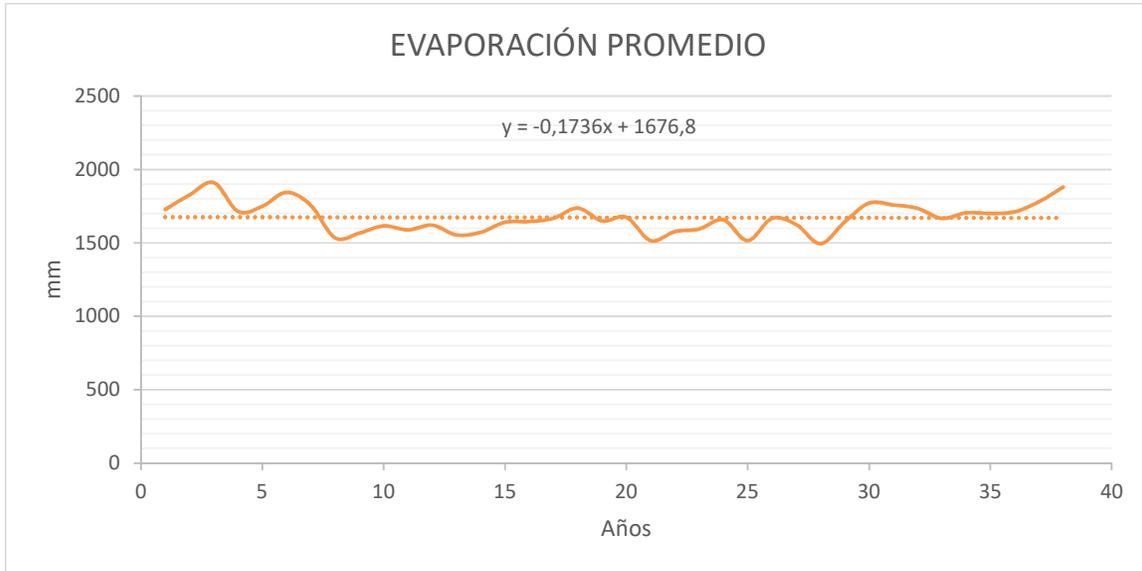


Ilustración 37 se puede observar la evaporación promedio los datos fueron suministrados por el IDEAM, gráfica realizada por el autor. Fuente: Autor.

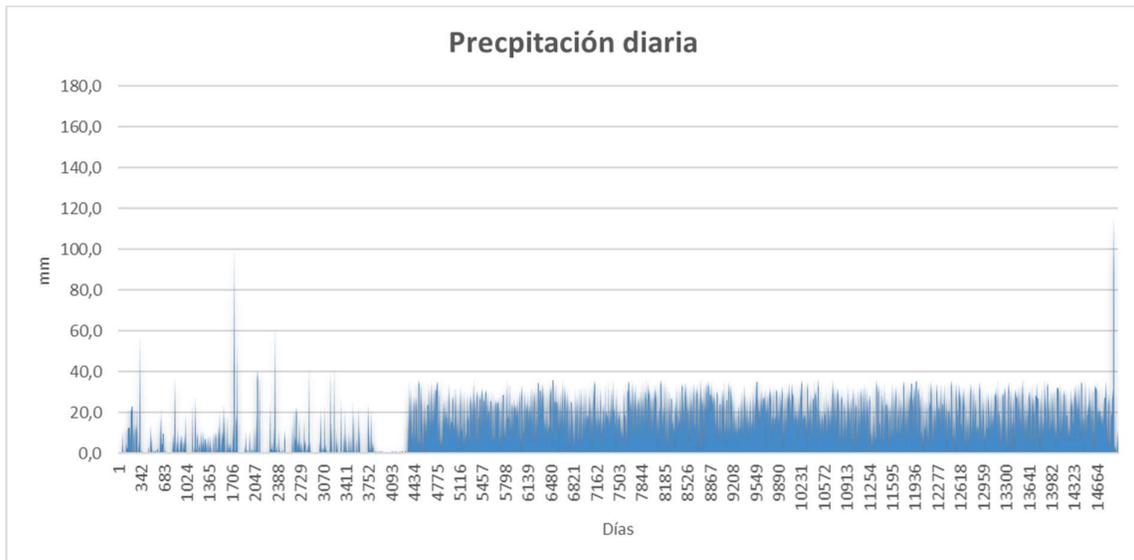


Ilustración 38 se puede observar la precipitación de los 40 años diaria. Esta corresponde a 14795 días. Los datos fueron suministrados por el IDEAM gráfico desarrollado por autor. Fuente: Autor

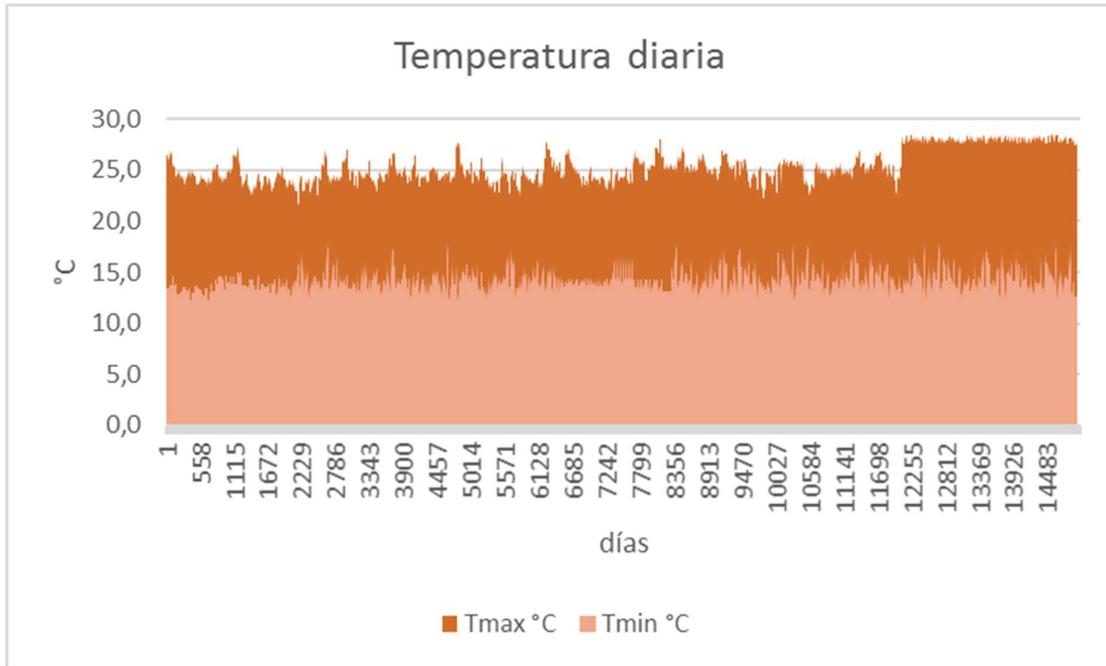


Ilustración 39 Temperatura diaria durante los 40 años de estudio. Datos suministrados por el IDEAM. Fuente: Autor.

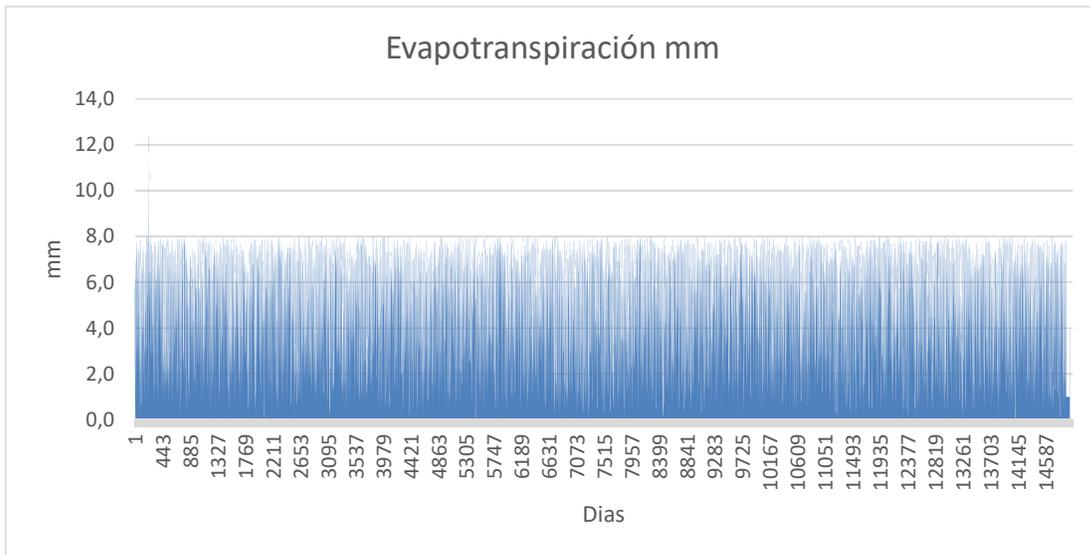
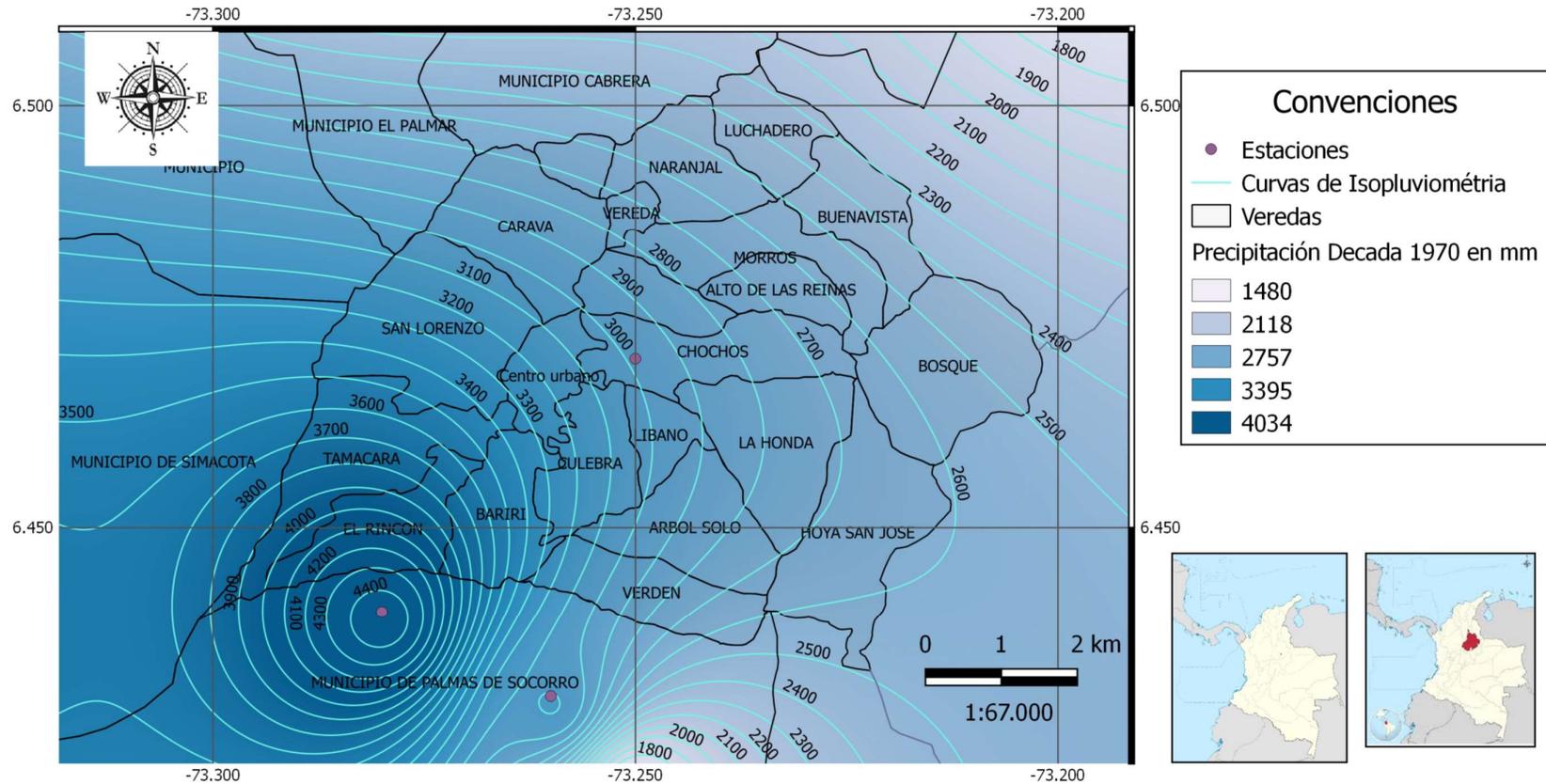


Ilustración 40 Evapotranspiración diaria durante los 40 años de estudio. Datos suministrados por el IDEAM. Fuente: Autor.

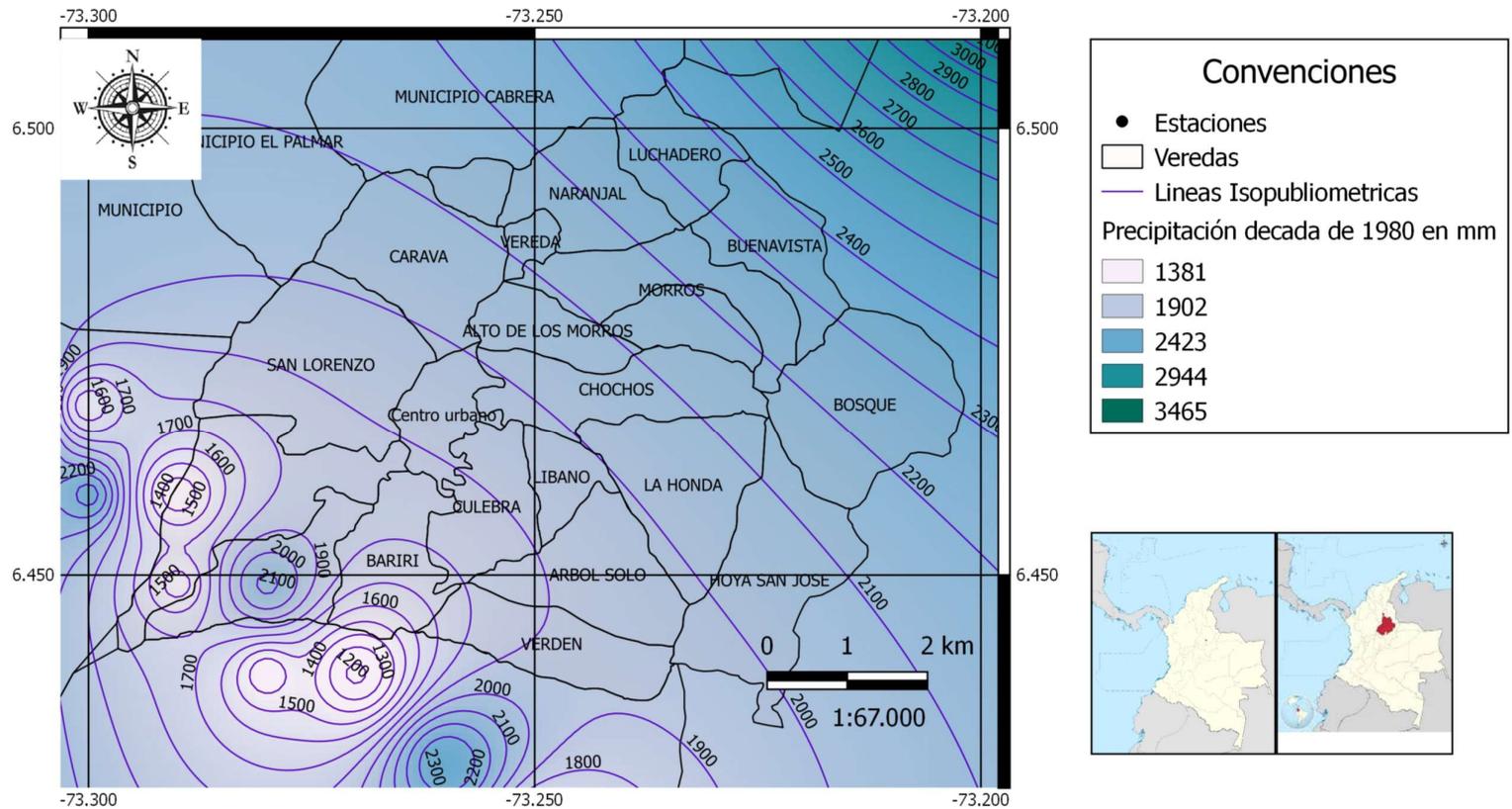
Mapa de Precipitación Municipio de Socorro decada 1970



AUTOR: FABIÁN RICARDO MORENO BUSTOS
 DIRECTOR: JUAN ANTONIO ARAGÓN MORENO
 UNIVERSIDAD LIBRE DE COLOMBIA
 SEDE BOSQUE POPULAR
 FECHA : 29/07/2017



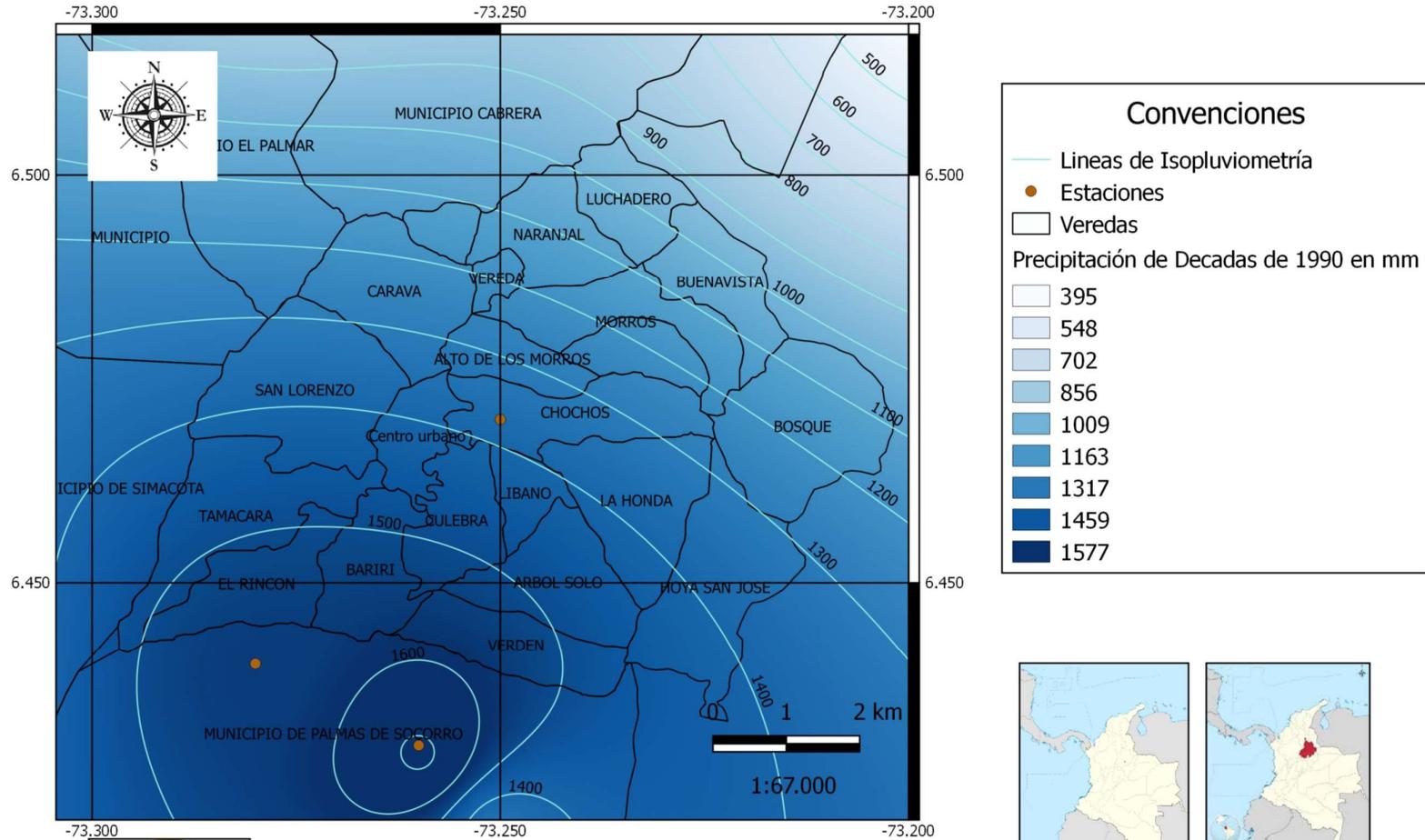
Mapa de Precipitación Municipio de Socorro decada 1980



AUTOR: FABIÁN RICARDO MORENO BUSTOS
 DIRECTOR: JUAN ANTONIO ARAGÓN MORENO
 UNIVERSIDAD LIBRE DE COLOMBIA
 SEDE BOSQUE POPULAR
 FECHA : 29/07/2017



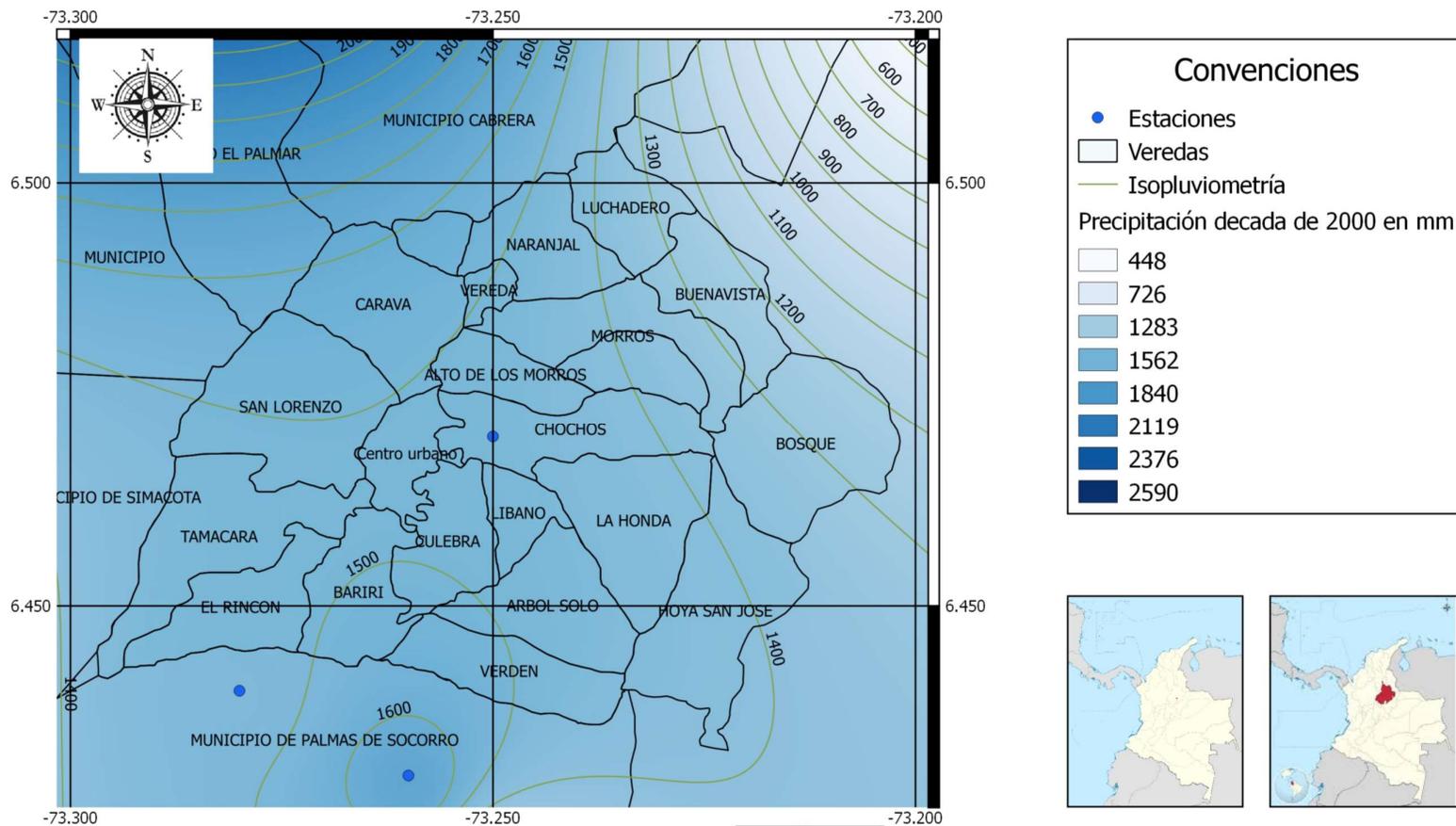
Mapa de Precipitación Municipio de Socorro decada 1990



AUTOR: FABIÁN RICARDO MORENO BUSTOS
 DIRECTOR: JUAN ANTONIO ARAGÓN MORENO
 UNIVERSIDAD LIBRE DE COLOMBIA
 SEDE BOSQUE POPULAR
 FECHA : 29/07/2017



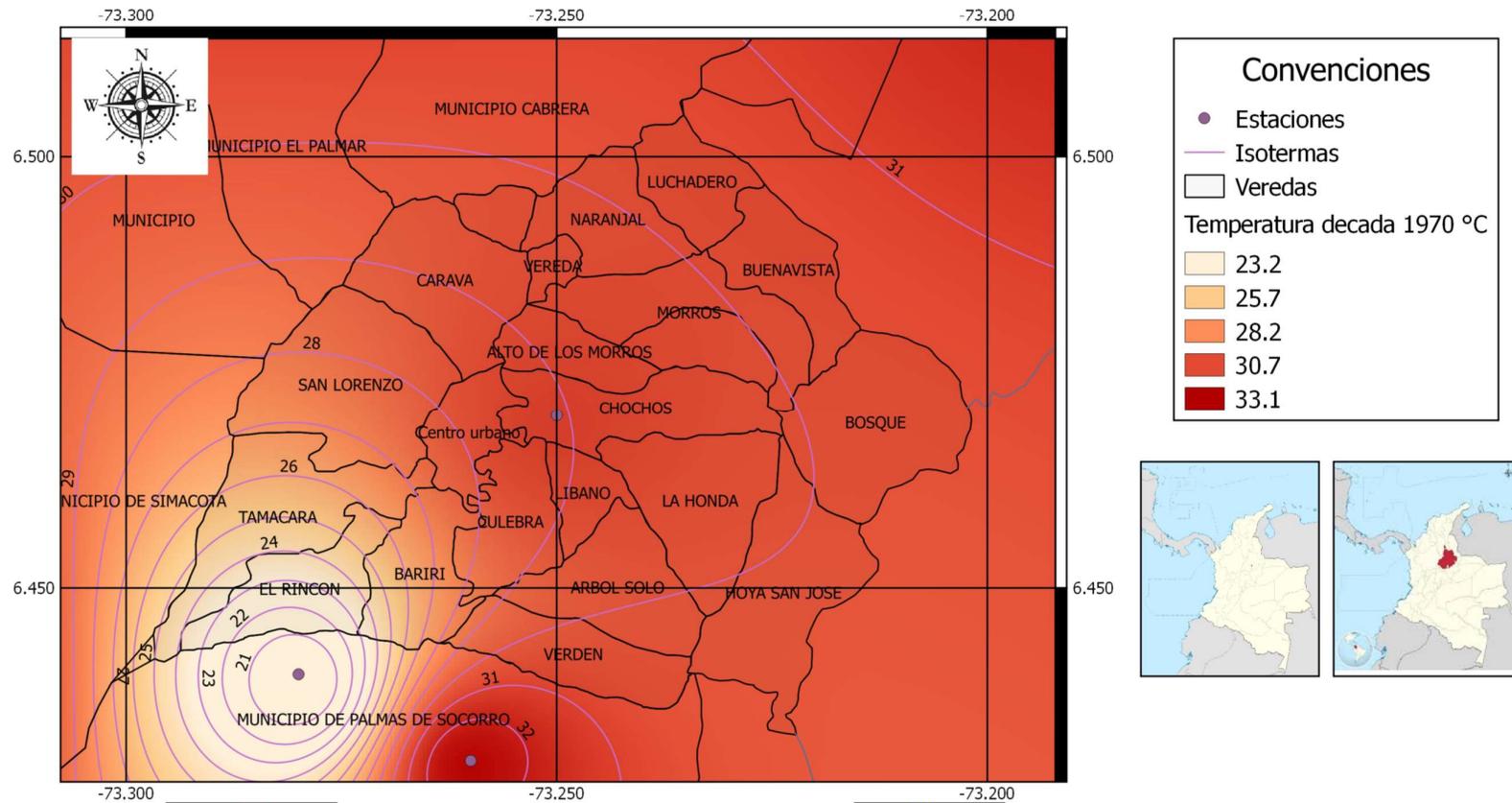
Mapa de Precipitación Municipio de Socorro década 2000



AUTOR: FABIÁN RICARDO MORENO BUSTOS
 DIRECTOR: JUAN ANTONIO ARAGÓN MORENO
 UNIVERSIDAD LIBRE DE COLOMBIA
 SEDE BOSQUE POPULAR
 FECHA : 29/07/2017



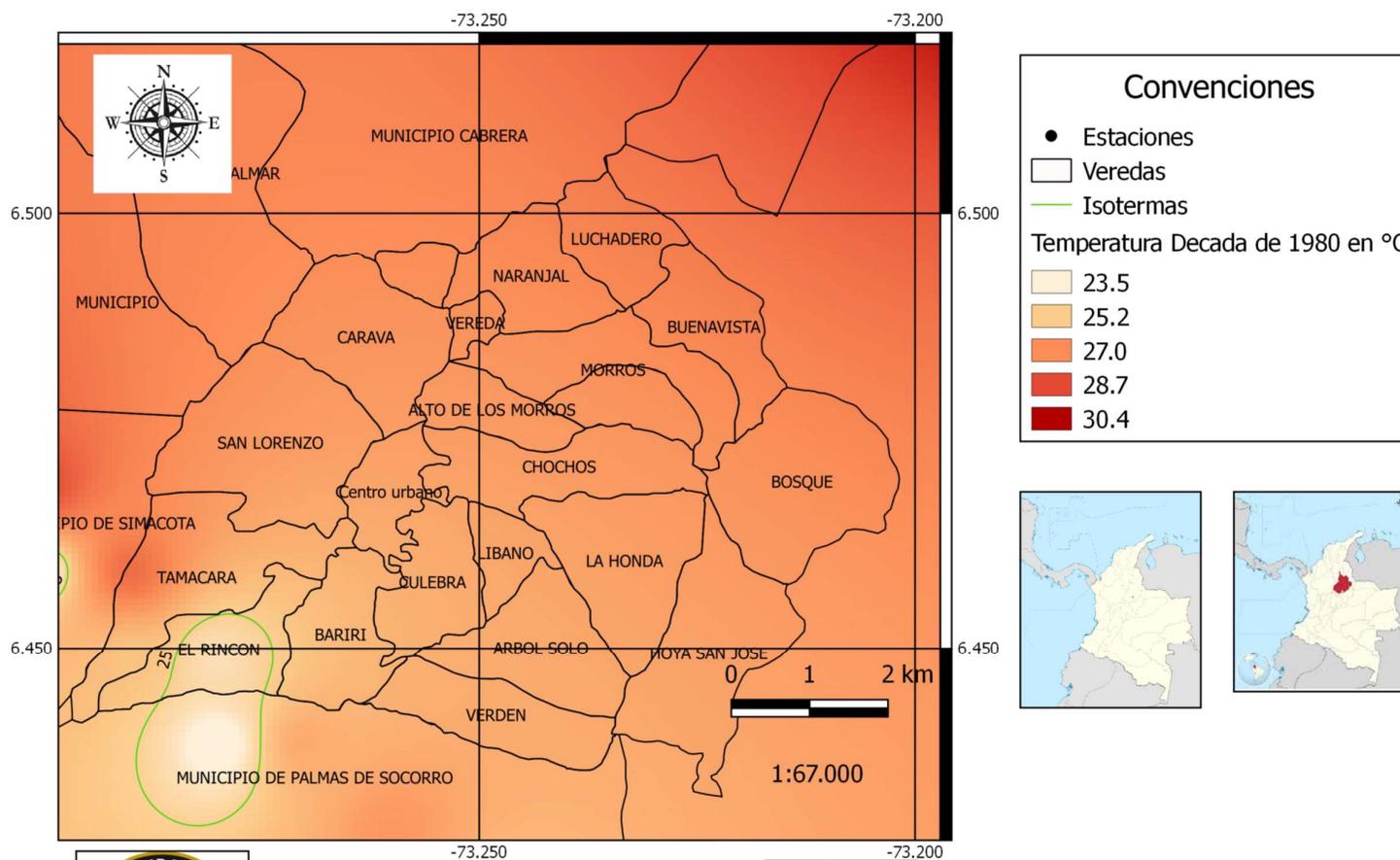
Mapa de Temperatura Municipio de Socorro decada 1970



AUTOR: FABIÁN RICARDO MORENO BUSTOS
 DIRECTOR: JUAN ANTONIO ARAGÓN MORENO
 UNIVERSIDAD LIBRE DE COLOMBIA
 SEDE BOSQUE POPULAR
 FECHA : 29/07/2017



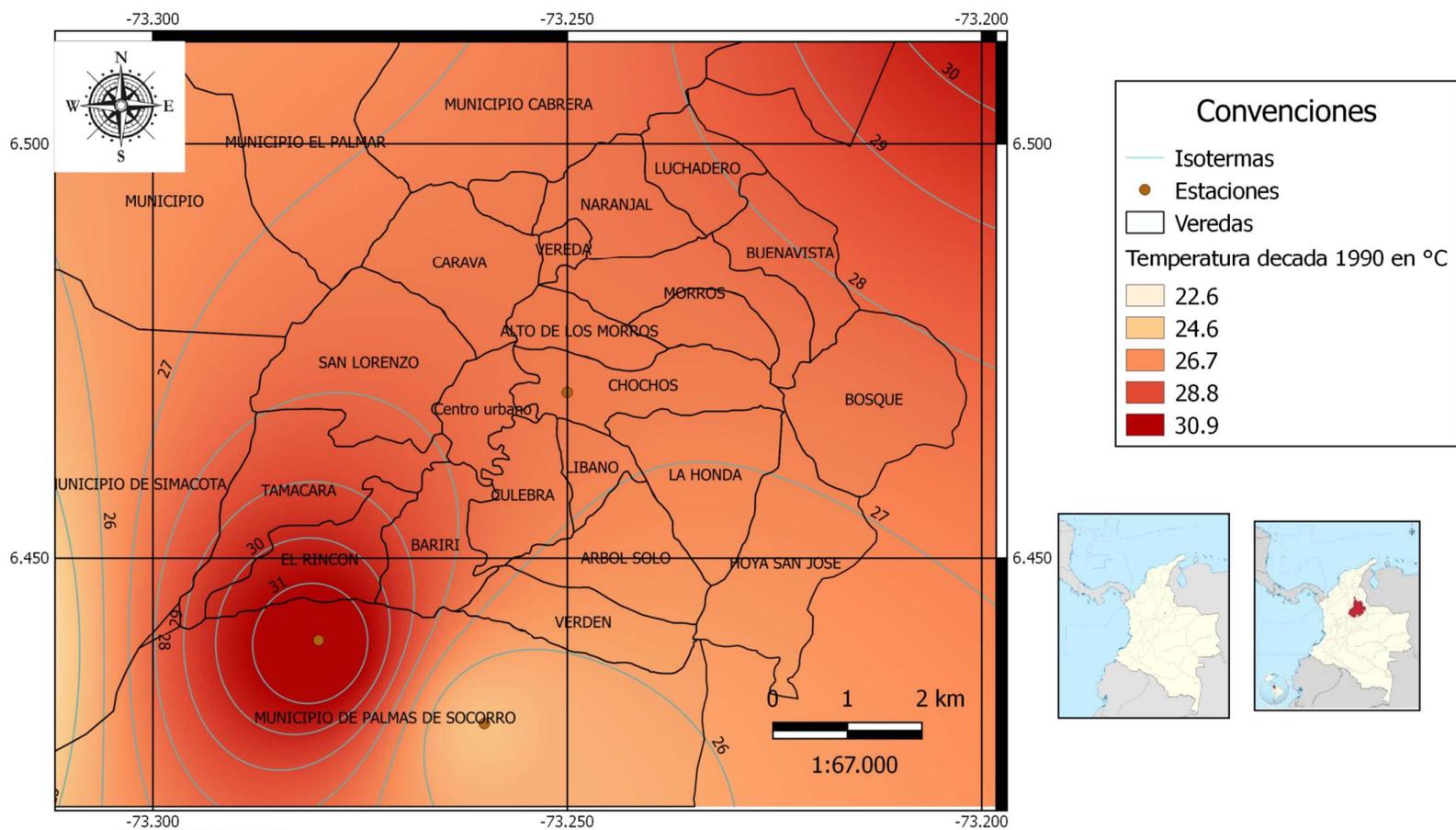
Mapa de Temperatura Municipio de Socorro decada 1980



AUTOR: FABIÁN RICARDO MORENO BUSTOS
 DIRECTOR: JUAN ANTONIO ARAGÓN MORENO
 UNIVERSIDAD LIBRE DE COLOMBIA
 SEDE BOSQUE POPULAR
 FECHA : 29/07/2017



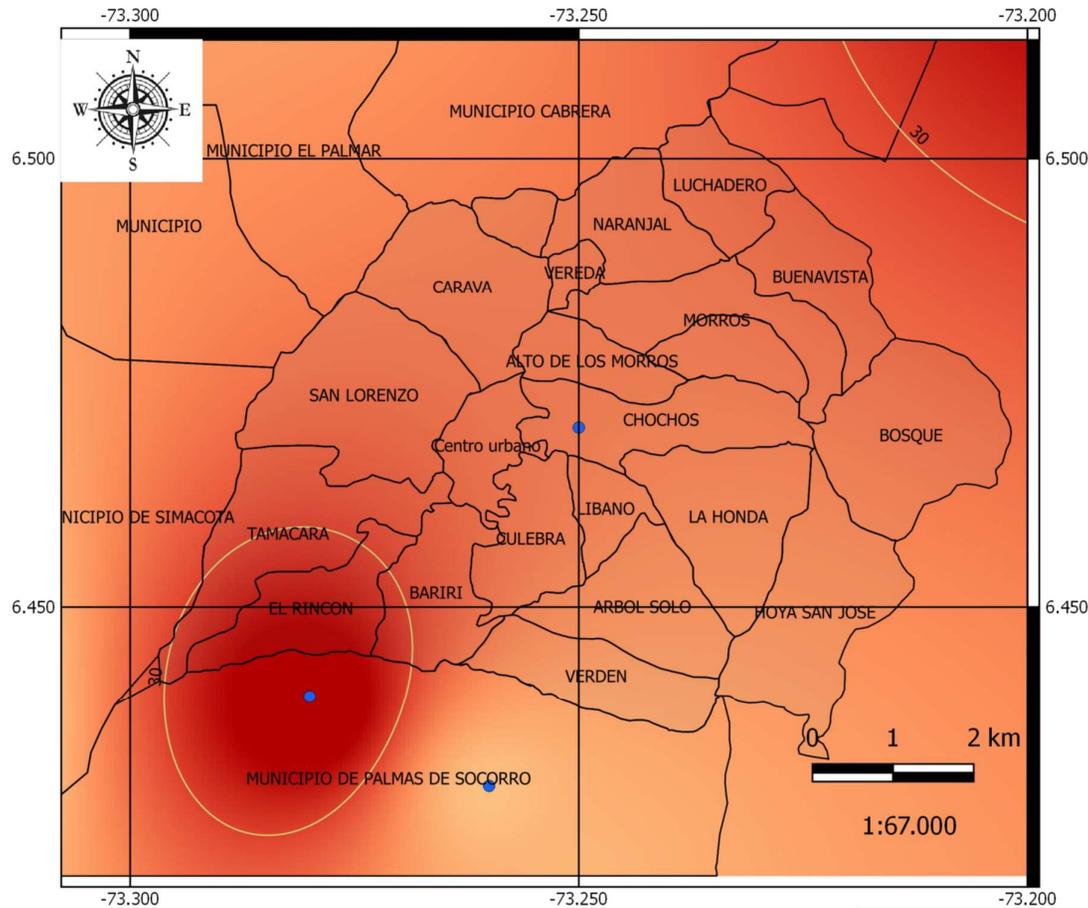
Mapa de Temperatura Municipio de Socorro decada 1990



AUTOR: FABIÁN RICARDO MORENO BUSTOS
 DIRECTOR: JUAN ANTONIO ARAGÓN MORENO
 UNIVERSIDAD LIBRE DE COLOMBIA
 SEDE BOSQUE POPULAR
 FECHA : 29/07/2017



Mapa de Temperatura Municipio de Socorro decada 2000



Convenciones

- Estaciones
- Veredas
- Isotermas

Temperatura primera decada 2000 en °C

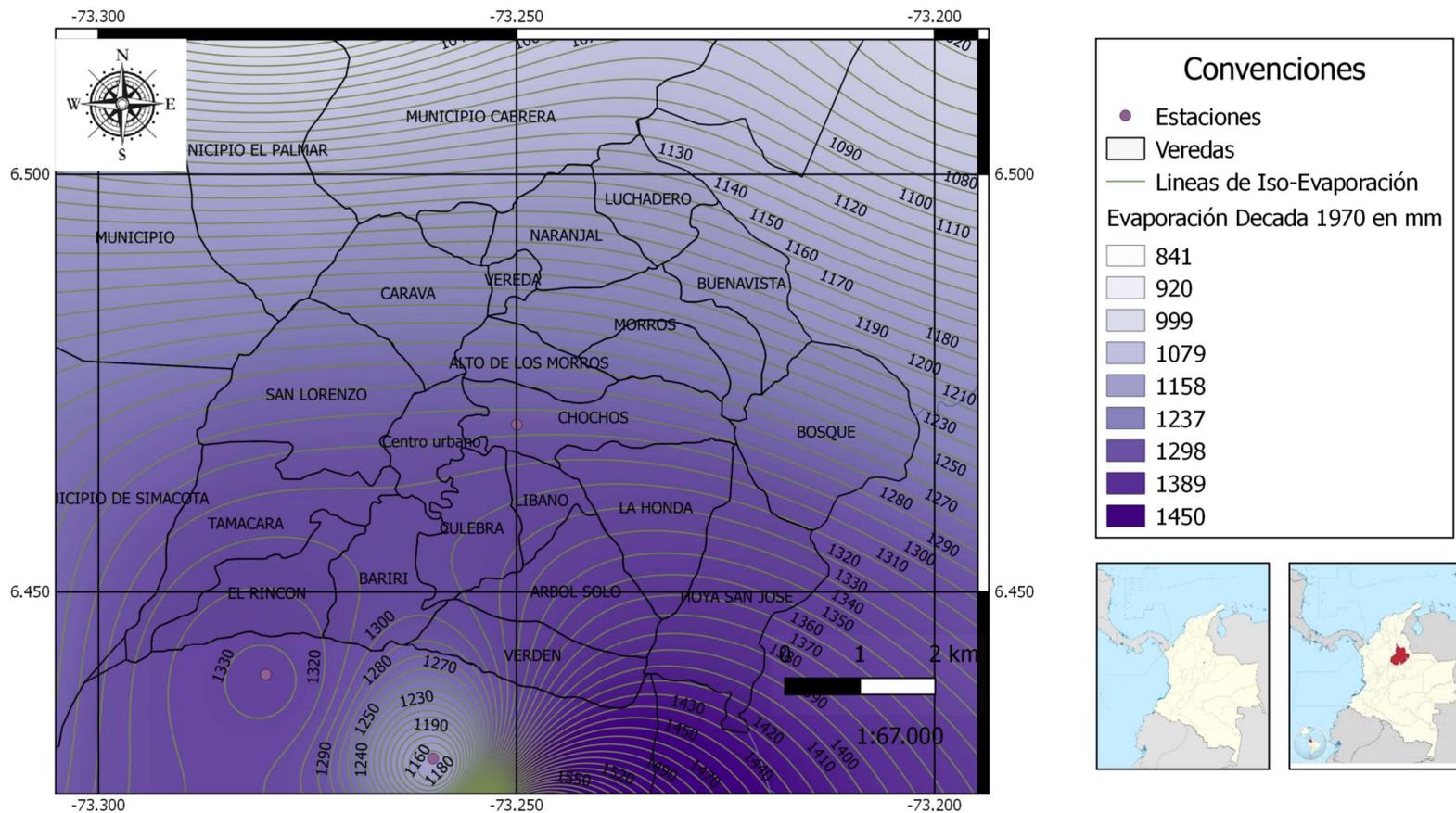
23.5
25.6
27.7
29.7
31.8



AUTOR: FABIÁN RICARDO MORENO BUSTOS
 DIRECTOR: JUAN ANTONIO ARAGÓN MORENO
 UNIVERSIDAD LIBRE DE COLOMBIA
 SEDE BOSQUE POPULAR
 FECHA : 29/07/2017



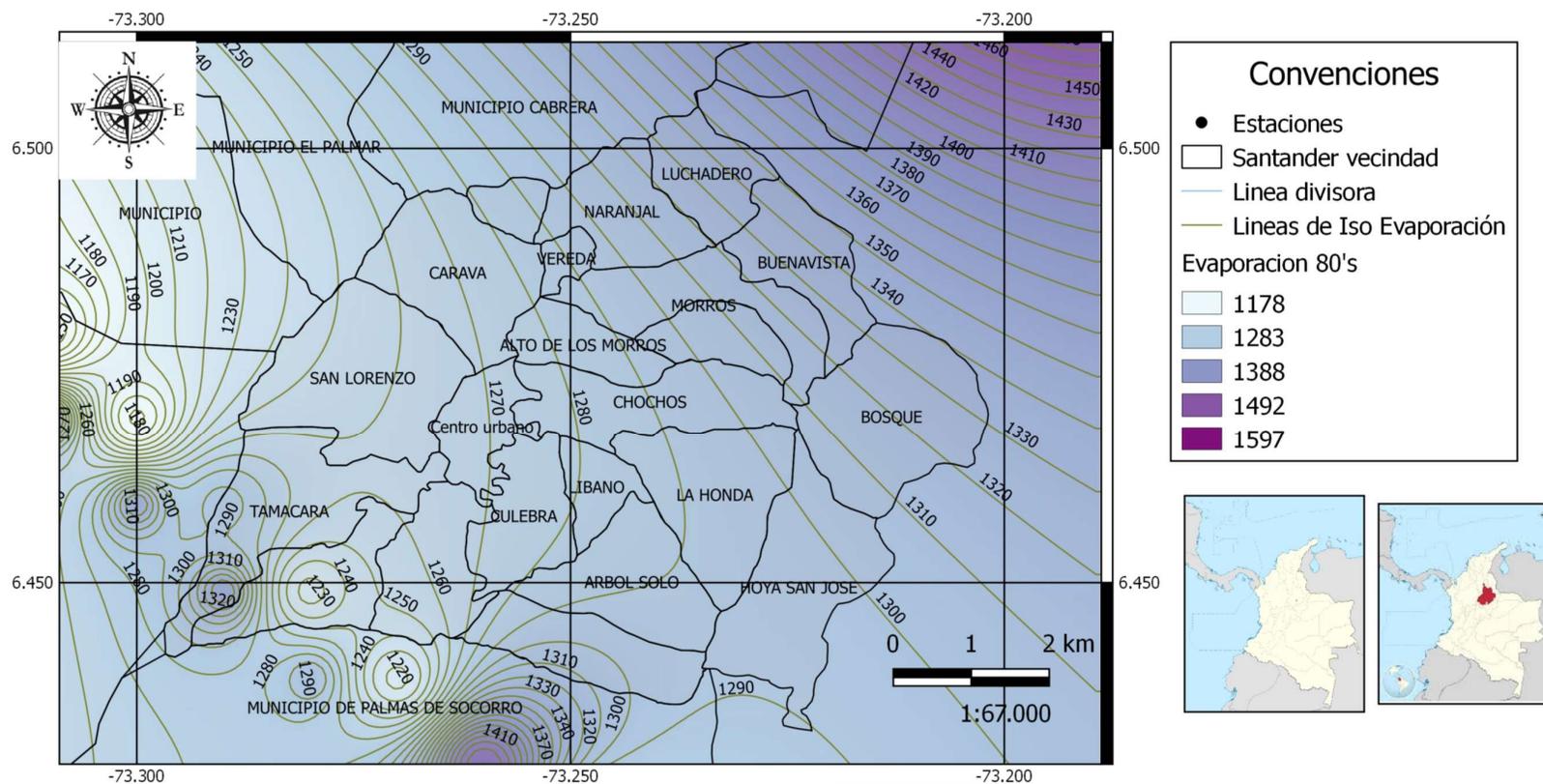
Mapa de Evaporación Municipio de Socorro decada 1970



AUTOR: FABIÁN RICARDO MORENO BUSTOS
 DIRECTOR: JUAN ANTONIO ARAGÓN MORENO
 UNIVERSIDAD LIBRE DE COLOMBIA
 SEDE BOSQUE POPULAR
 FECHA : 29/07/2017



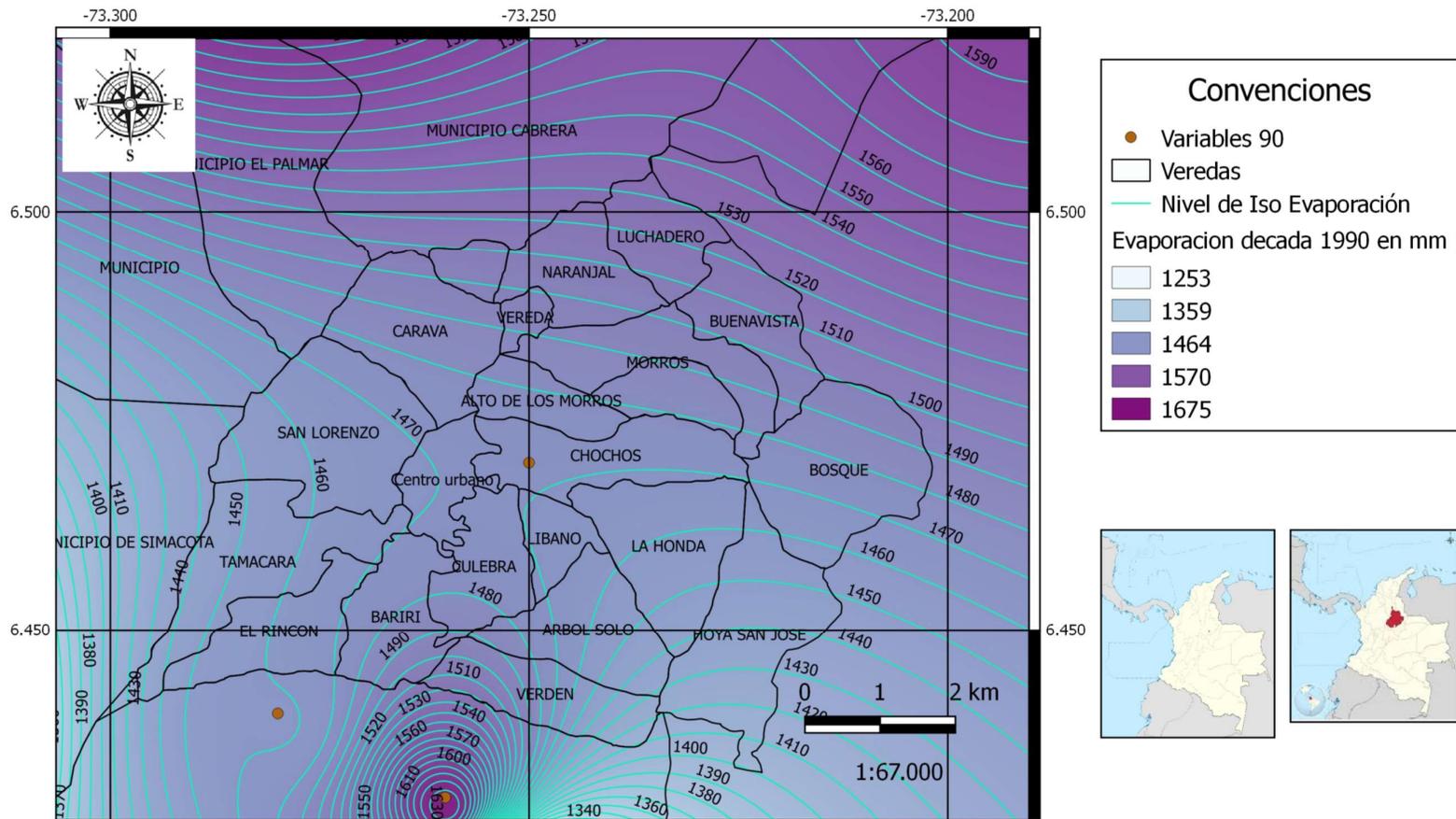
Mapa de Evaporación Municipio de Socorro decada 1980



AUTOR: FABIÁN RICARDO MORENO BUSTOS
 DIRECTOR: JUAN ANTONIO ARAGÓN MORENO
 UNIVERSIDAD LIBRE DE COLOMBIA
 SEDE BOSQUE POPULAR
 FECHA : 29/07/2017



Mapa de Evaporación Municipio de Socorro decada 1990



Convenciones

- Variables 90
- Veredas
- Nivel de Iso Evaporación

Evaporacion decada 1990 en mm

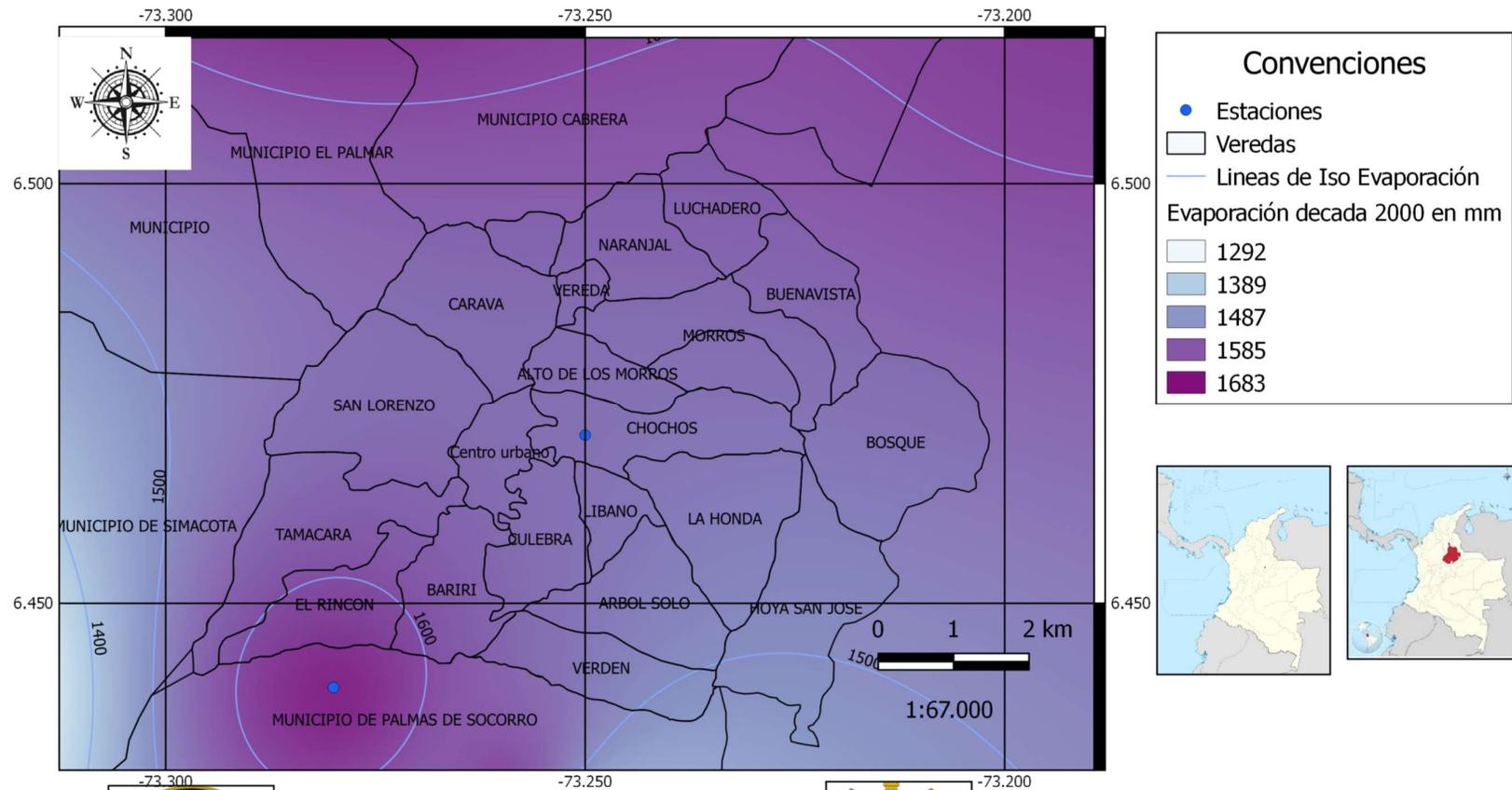
- 1253
- 1359
- 1464
- 1570
- 1675



AUTOR: FABIÁN RICARDO MORENO BUSTOS
 DIRECTOR: JUAN ANTONIO ARAGÓN MORENO
 UNIVERSIDAD LIBRE DE COLOMBIA
 SEDE BOSQUE POPULAR
 FECHA : 29/07/2017



Mapa de Evaporación Municipio de Socorro decada 2000



AUTOR: FABIÁN RICARDO MORENO BUSTOS
 DIRECTOR: JUAN ANTONIO ARAGÓN MORENO
 UNIVERSIDAD LIBRE DE COLOMBIA
 SEDE BOSQUE POPULAR
 FECHA : 29/07/2017



El archivo obtenido al llenar los datos por medio de los métodos estadísticos es el obtener un archivo de datos tratados que permitió la entrada al modelador Aquacrop. Este consta de 14795 renglones y de 5 columnas completas las cuales son los promedios diarios anuales de las estaciones durante el periodo de 40 años. Estos datos son la precipitación, temperatura máxima, temperatura mínima, radiación solar y evaporación. Los datos simplificados permitieron realizar un análisis preliminar gráfico cuyos resultados fueron una interrelación entre temperatura, pluviometría y producción reflejada en a mayor temperatura y precipitación más producción, a menor temperatura y precipitación mayor, menor producción, a menor temperatura y precipitación menor producción. Para el caso de la evaporación se puede decir que es alta en la zona de estudio habiendo un déficit de agua en ciertos meses del año, sin embargo, cuando se presentan fenómenos niña es normal que, aunque así aumente el agua, en lugares donde la pendiente sea alta mayor al 17%, permita dar lugar a escorrentía al agua y no dejar que se retenga en estos lugares ya que puede causar ahogamiento de las plantas. De manera que con las dos variables mencionadas temperatura y precipitación se pudiese haber realizado el estudio sin embargo la evaporación se tiene en cuenta para la simulación debido a que Aquacrop la requiere para balances hídricos. De igual forma la sombra dada por los cultivos de árboles como el guamo y el plátano que se observó en la zona favorece notablemente a que la evaporación disminuya un poco y haya mayor retención de agua. De manera que las variables climáticas de la zona favorecen a una mayor producción. Los estudios de caso se presentan a continuación tanto para un año “bueno” como para un año “malo” en el que influyen estas variables. Ver ilustración 41 a la 43.

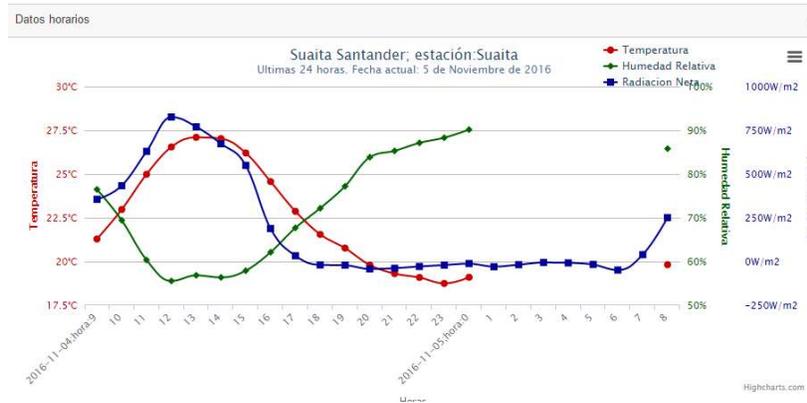


Ilustración 41 Esta imagen muestra la interrelación de 3 variables tomada de la estación de Suaita Santander. Fuente: Agroclima Federación Nacional de Cafeteros.

1974	-1.7	-1.5	-1.2	-1.0	-0.9	-0.8	-0.6	-0.4	-0.4	-0.6	-0.7	-0.6
-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------

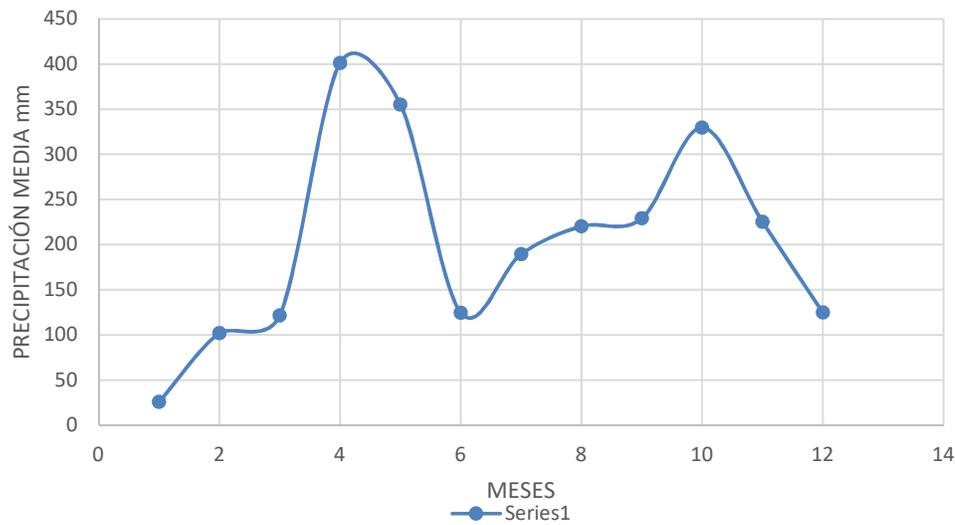


Ilustración 42 ejemplo de una serie de precipitación año 1974 fenómeno niña Fuente: Autor

Ejemplo de precipitación en periodo niño

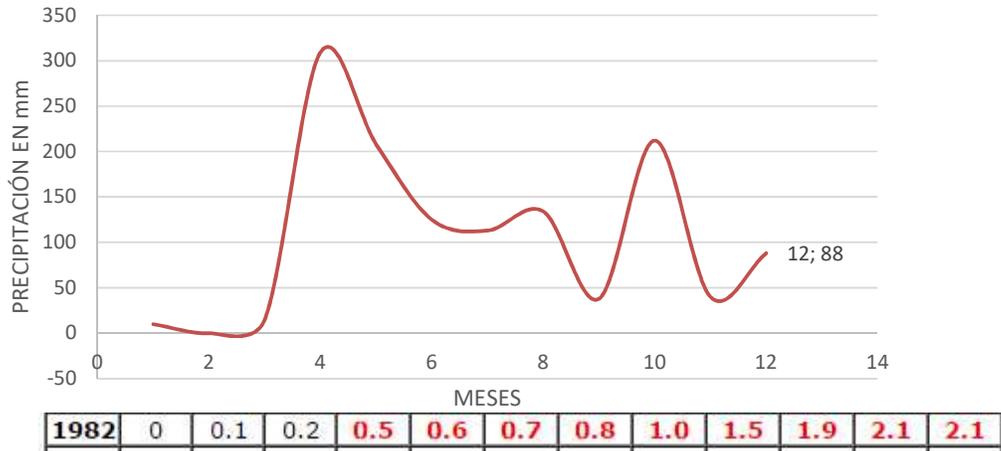


Ilustración 43 Ejemplo de precipitación del año 1982 precipitación disminuye en más de 100 mm lo que demuestra que es fenómeno niña. Fuente: autor.

La disponibilidad de agua es uno de los factores más determinantes a la hora de obtener la producción. Es necesario medirla porque es un factor limitante importante como se observa en las ilustraciones, se ve que hay una proporción inversa, entre más precipitación se presente menos producción abra debido a que fue sabido por fenología investigada en el marco teórico 4.6.1.1 que los regímenes excesivos de agua pueden afectar la producción (Cenicafé, 2015). Estos análisis climáticos permitieron dar una idea del comportamiento de la región del clima a través de los años de estudio especificados (Wilks, 2006). La correlacionaron de estos resultados junto con los de producción se presentaron en la tercera parte de esta investigación capítulo 9 y confirmación de esta correlación en el capítulo 10.

7. Resultados geofísicos de campo

La Hacienda Majavita se encuentra ubicada en el municipio de Socorro Santander, en la vereda El Líbano cerca del centro urbano del municipio. Como se comentaba en el marco geográfico histórico (véase 4.3 Marco geográfico-histórico), esta finca es productora de café variedad Castillo. Frente a los resultados se puede decir que la Hacienda Majavita cuenta con un área aproximada de 18 hectáreas dividida en 7 lotes, con una pendiente media máxima de 15,71% (Amaya, 2013), y suelos Franco arenosos que son en su mayor parte aptos para el cultivo de caña panelera y café (Bello Cortés, 2013). La Hacienda esta bañada por 3 quebradas que pertenecen a la microcuenca del río La García que a su vez pertenece al gran sistema de la cuenca del Río Suarez medio tal y como se muestra en la ilustración 44. Se encuentra a una altura promedio de 1340 msn (Amaya, 2013). La estructura de su suelo granular, según estudios de aptitud del suelo es de un pH de 5 a 6 (Sanmiguel, 2013). El café que se siembra es variedad Castillo o Colombia y es orgánico. La zona es una zona de clima templado semiárido con lluvias ocasionales mensuales de 110 mm a 180 mm, para el periodo de estudio, lo cual es beneficioso para el café aparte de la aptitud del suelo y su pendiente como se refería en los marcos. El mapa que se muestra a continuación QGis. El sistema de referencia que se utilizó fue el MAGNA SIRGAS BOGOTA EAST ZONE, sistema de coordenadas proyectado, correspondiente a la Hacienda Majavita con sus respectivos Lotes.

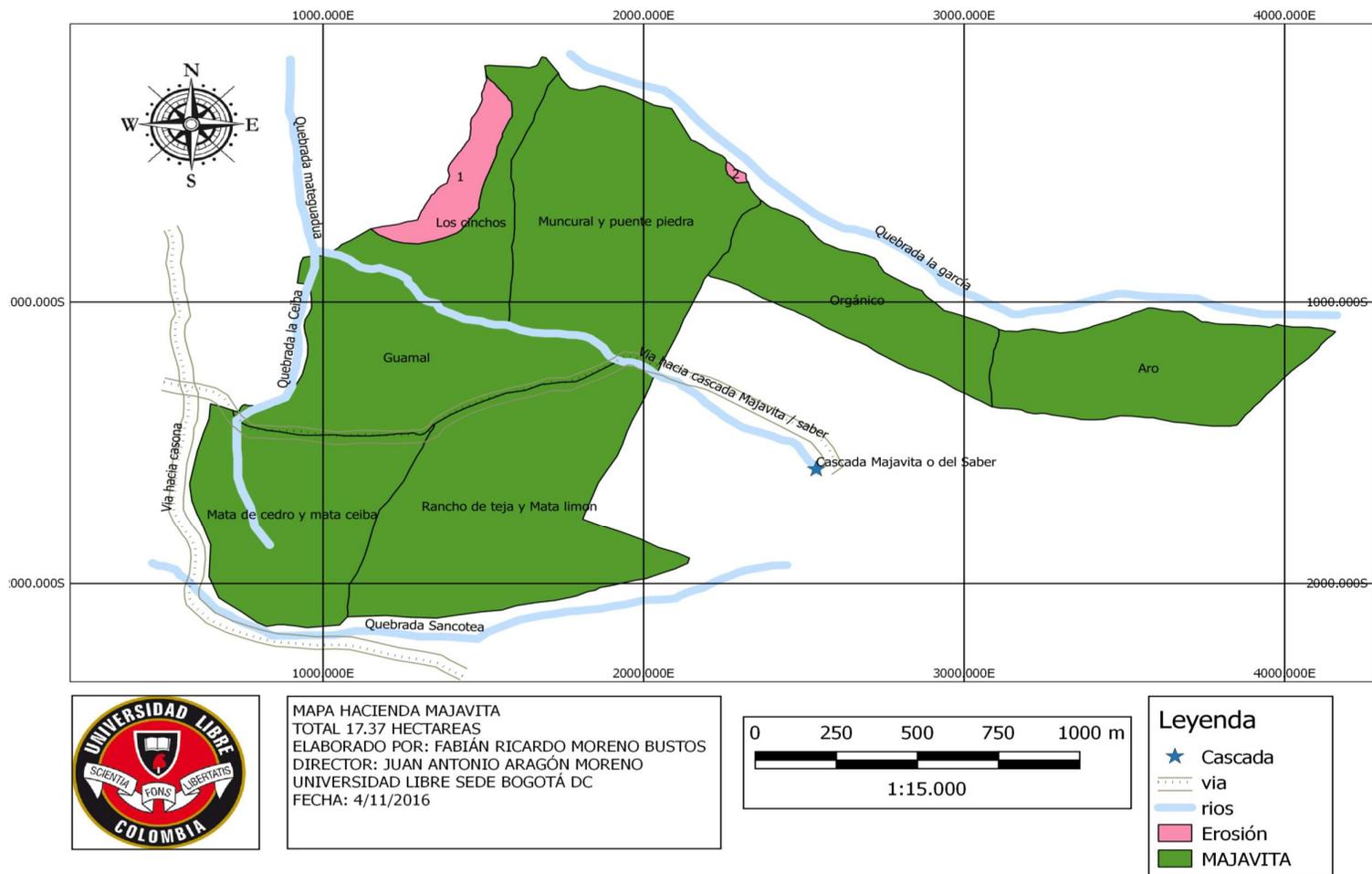


Ilustración 44 Mapa Hacienda Majavita, para poder ver este mapa con mayor detalle remítase a el anexo 3 En este mapa se puede apreciar las diferentes fuentes de agua y fincas. Fuente: Autor

La ubicación , tipo de suelo y pendiente del terreno eran de necesario conocimiento debido a que esto influye notablemente en la producción del café castillo. De igual forma para realizar la correspondiente simulación en Aquacrop, debido a que requiere de los datos de entrada mencionados en la metodología y se debe tener conocimiento de los mismos.

Las condiciones de precipitación mínimas como lo establece el Instituto Nacional de Cafeteros es de 120 mm mensuales y de 1200 mm anuales como mínimo a 2800 mm anuales como máximo, siendo recomendado el valor de 1800 mm anuales por ser el más óptimo para la planta (Ver fenología del café 4.1.6.1). Condiciones que en el departamento de Santander se dan dependiendo principalmente de fenómenos de variabilidad climática como el niño o la niña , influidos principalmente por la ZCIT , o Zona de convergencia Intertropical (Ver fenología del café 4.1.6.1). El brillo solar es de 11 horas aproximadamente para la región de Socorro Santander (Amaya, 2013) . Las que recomendaciones de la Federación Nacional de Cafeteros son las mismas por que la producción, también se puede dar en estas horas de brillo. La humedad relativa que influye en la maduración de los frutos no esta estipulada pero se correlaciona estrechamente con la precipitación, (Cenicafé, 2015) recomienda que sea de 33%. Esta se requiere en los ciclos continuos de la planta desde la primera floración anual que para el caso del Departamento de Santander se da en los meses de Enero y Marzo en un 25% y en 75% en los meses de Agosto y Septiembre (Federación Nacional de Cafeteros, 2013), a los últimos brotes de frutos de 7 a 8 meses en Octubre a Diciembre, para luego dar lugar a la primera cosecha del año siguiente en los meses de Junio a Agosto. (Sanmiguel, 2013) La precipitación anual como se comentaba debe ser de 1200 mm como mínimo y con relación al porcentaje de agua que debe llegar a los sistemas radiculares, como mínimo debe ser de un 38% que se encuentran a 12 cm de profundidad aproximadamente en etapa vegetativa y 80 cm de profundidad en etapa activa. (Cenicafé, 2015)



Ilustración 45 Cascada del saber. Fuente: Autor.

8. Resultados Productivos y Gestión del cultivo

8.1 Gestión del Cultivo en Hacienda Majavita

Recordando que las condiciones necesarias para que se dé una buena cosecha para el café va desde la siembra hasta la etapa de senescencia o decadencia de la planta (Cenicafé, 2015). El desarrollo vegetativo de la planta requiere de 1 año dentro de un almacigo, el almacigo es una bolsa que está dentro de un vivero, como se comentaba en los marcos conceptuales (Cenicafé, 2016). En el caso del Socorro Santander, Hacienda Majavita la germinación tarda 2 meses dependiendo de la parcela. De igual forma se tarda 6 meses en este vivero y da su primera floración al 1 año. Luego el almacigo se traslada a la plantación donde al 2 año da su primera cosecha, de ahí hasta el 8 año cuando alcanza su etapa de madurez y entra en senescencia, este dato fue investigado in situ. *Otros factores que influyen en el envejecimiento son las plagas, las arvenses o malezas, el estrés ambiental causado en el sistema edafológico (Ver marco referencial 4.2.9 Consideraciones de café para consumo) o en el sistema ambiental o meteorológico.* El promedio de vida de una planta en la Hacienda Majavita es de 7 años productivos durante su fase de adultez más 2 años de estado vegetativo y de crecimiento (Federación Nacional de Cafeteros, 2013). Lo cual es el promedio de vida establecido por Cenicafé. Los suelos recomendados son los Franco Arenosos y pendientes mayores al 10% requisitos que la hacienda cumple durante la fase de cosecha. Ya que la Hacienda presenta una pendiente del 15,71%. Otros factores limitantes observados en la hacienda y comentados por (Cenicafé, 2016), Basados en las investigaciones y teóricas botánicas de Justus Von Liebig que afectan el crecimiento del fruto destacan 50 , que tomadas individualmente se limitan a aniones y nutrientes necesarios en el suelo y en los factores de tiempo atmosférico y clima, entre ellas está la temperatura que es una de las más importantes y que debe estar en un rango óptimo de entre 19,5 y 23 grados Celsius con un mínimo de 13°C y un máximo de 38°C , por fuera de

estos rangos el café no presenta producciones de fruto optimas *En climas fríos, donde la temperatura media es menor de 19 grados centígrados, las variedades de café se desarrollan menos, su producción es menor y la cosecha se distribuye a lo largo del año* (Cenicafé, 2015) , mientas que, *En climas calientes, donde la temperatura media es mayor de 21.5 grados centígrados, la vida productiva del cafeto es más corta, la cosecha más temprana y más concentrada. El ataque de la roya es más severo y se incrementan plagas como la broca y el minador.* (Cenicafé, 2015). Esta condición la cumple el municipio presentando una temperatura media de 25°C así como se refería en el marco teórico se utilizan abonos orgánicos para aportar nutrientes, sin embargo, los ataques por plagas son frecuentes por lo que se debe tener cuidado porque este factor afecta la producción. De igual forma para disminuir el calor sensible y mantenerlo dentro del rango optimo se recomienda el uso de plantas de sombrío, en la Hacienda se utilizan plantas de sombrío principalmente el Guamo santafereño. Otra variable climática importante y que se ha venido nombrando a lo largo del proyecto es la precipitación. Se habla de como mínimo 1200 mm anuales en algunos casos, y como valor óptimo de 1800 mm /año. Sin embargo, lo recomendado por Cenicafé es 1800 mm / anuales en zonas muy húmedas y con temperaturas entre los 18 y 20 °C y 2800 mm/ año para zonas más cálidas o climas templados. Para el caso del Municipio de Socorro la precipitación anual se encuentra cercana al valor optimo siendo de 1650 mm/ año aproximadamente para el periodo de tiempo estudiado. La humedad relativa debe ser de un 33% como mínimo y máxima a un 38% (Cenicafé, 2015). La humedad Relativa del Socorro está en estas condiciones siendo aproximadamente de un 35%. El brillo solar requerido debe ser de 1600 horas a 2000 horas del sol al año es decir entre 4.5 horas al día y 5.5 horas al día. El sombrío es necesario para el cultivo en estas condiciones en el Socorro debido a que el brillo solar es de 11 horas aproximadamente. La radiación neta que recomienda Cenicafé y según (Santos, 2012) para las variedades arábigo o afines en el departamento de Santander deben ser de 311 Wm² en un área de 1 m² (Cenicafé, 2015). La

energía incidente sobre Socorro aproximadamente es de 322 Wm^2 , por lo que el sombrío es necesario. Plantas de Plátano o Guamo son las indicadas en el caso de Majavita las presentes son el Guamo Santaferense como se decía y también el plátano no solo para dar sombrío sino para evitar que vientos fuertes derrumben los frutos. Los valores máximos para Colombia de energía incidente son de 432 W/m^2 en el mes de marzo y 384 W/m^2 en el mes de diciembre. De igual forma en regiones de montaña por restricción del horizonte se puede presentar que el número de horas de brillo solar diario disminuya en 2 horas. Debido a que los vientos en algunos valles son muy fuertes por esta razón Cenicafé recomienda una pendiente alta para evitar arrastre de frutos y pérdidas de cosecha en dado caso que sea imposible siembra de frutos afines con sistema foliar grande, como es el caso del plátano. Los vientos “*Son los encargados de transportar el vapor de agua y las nubes, haciendo variar algunos componentes del clima como las lluvias, la temperatura y el brillo solar. En general, las zonas más adecuadas para el cultivo del café se caracterizan por presentar vientos de poca fuerza*”. (Cenicafé, 2015). Esta condición también se cumple en el lugar de estudio. Otros factores limitantes aparte de los climáticos que están estrechamente relacionados en el sistema agua, planta, suelo, ambiente es el de la presencia de nutrientes y materia orgánica como se comentaba en el marco teórico capítulo 4.2.9

Está representada por los residuos descompuestos de plantas y animales. La pulpa de café descompuesta aporta materia orgánica a los suelos. La materia orgánica tiene mucha importancia para obtener una alta productividad del cultivo. Influye en forma decisiva en el mejoramiento de las condiciones físicas del suelo, favorece la retención de humedad y es el principal sustrato para el desarrollo de pequeños organismos que la transforman en una gran fuente de alimento para el café. Los suelos buenos para

cultivar café deben tener contenidos de materia orgánica mayores al 8%. (Cenicafé, 2016).



Ilustración 46 Colinos o Almácigos dentro del vivero de Café Hacienda Majavita Fuente: Autor.

En la Hacienda Majavita del municipio de Socorro Santander, se observó que el uso de pesticidas no existe, se usa como abono las cáscaras y pulpas mezcladas con desechos sólidos de bovinos por su alto contenido rico en azufres lo cual permite que esto se vuelva un buen fertilizante y además controle las arvenses o malezas que quieren competir por luz y nutrientes con el café. De igual forma el alto contenido en azufre ayuda a alejar las plagas como la roya que se desarrolla en presencia de humedad y la broca que se desarrolla en presencia de sequía.

Después de que se da el proceso de cosecha y que se recoge el café manualmente en la Hacienda. Ver en la ilustración 51. Luego en sacos de fique se lleva a la planta de beneficio donde comienza su transformación en pergamino seco que luego será tostado para convertirse en café apto para el consumo.

En el proceso de beneficio se utiliza la tecnología Becolsub. (ver Cap. 4.2.10). Consiste básicamente en unificar el proceso de despulpado y el desmucilaginador en una sola etapa y hacerlo en seco. Esto ahorra agua y producción de lixiviados por aguas con pulpa y mucilagos que en cierta medida también tiene un impacto climático sobre el medio ambiente a largo plazo y un impacto de contaminación a corto plazo afectando todos los cuerpos hídricos superficiales y freáticos. El ahorro de agua estimado es de un 30%.

Después del beneficio se recibe el café fermentado y seco en el sol en sacos de fique donde es recibido en la entrada de la materia prima, allí se tuesta el pergamino y se muele, se selecciona y empaca para luego ser consumido. Este trabajo solo se limita al proceso productivo de la cosecha in situ, que es donde la planta se ve más impactada por el cambio climático. No se sobre extiende a otros límites como el transporte y la maquinación para ser consumido. Estos valores también afectan el proceso y el ambiente, pero el propósito no es medir el impacto de la industria cafetera en el medio, sino por el contrario medir los impactos del medio ambiente en cuanto al cambio climático en la cosecha de café. De igual forma se puede observar las fases del cultivo desde su madurez hasta el producto final en las siguientes ilustraciones de la 49 a la 57:



Ilustración 47 Frutos maduros o cerezas maduras de café listas para ser recolectadas. Fuente: Autor



Ilustración 48 Llevada o cargue de almácigos para siembra Fuente: Autor.



Ilustración 49 Mula cargando Almacigos o plántulas nuevas de café. Fuente: Autor



Ilustración 50 Siembra de nueva plántula Fuente: Autor.



Ilustración 51 Recolectora de café hacienda majavita Fuente: Autor

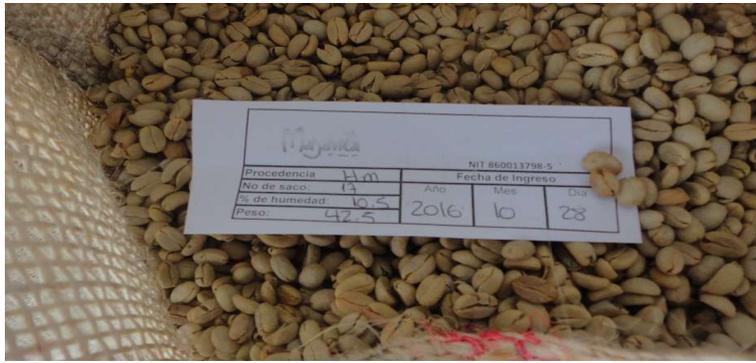


Ilustración 52 Café pergamino seco listo para trillado y tuesta.



Ilustración 53 Planta de Cafeto Café variedad Castillo de 1.80 m Porte medio alto en etapa de madurez. Fuente: Autor.

En cuanto al manejo que se le brinda al cultivo y a los suelos en general, se cuenta con sistemas de riego por goteo y riego en el lugar donde están planta. La remoción de maleza y hierbas se realiza manualmente. No se utiliza ningún tipo de herbicida o insecticida por ser un café orgánico. Otros manejos son el sombrío, limpieza de senderos y zanjas para escorrentías seguras que no arrastren los cultivos.



Ilustración 54 Guamo Santaferño Presente en la zona y usado para sombrío. Fuente: Autor.

La producción neta de sacos de café es de 350 o más al año teniendo en cuenta las pérdidas que generan plagas y arvenses, así como los factores de variabilidad climática normales productos (CIAT, 2013). Cabe aclarar que esto es sin tener en cuenta el cambio climático, al tener en cuenta el cambio climático las producciones bajarían un 50% En producción de producto para consumo y maquila de café según (Sanmiguel, 2013) se tiene 1 kg de café cada 11 min , diariamente se maquillan 400 bolsas , es decir un total de 400 kg o más dependiendo de la presentación.



Ilustración 55 Etiquetado de café majavita o café tostado. Fuente: Autor



Ilustración 56 Diversas estanterías que se encuentran del café Majavita. Fuente: Autor.



Ilustración 57 Café listo para ser enviado al proveedor para su venta. Fuente: Autor.

8.2 Producción de la Hacienda Majavita

Los datos de producción del cultivo fueron obtenidos de la Federación nacional de cafeteros y se encuentran en el anexo 2 los datos obtenidos fueron del municipio de Socorro, se solicitaron según lo explicado en la metodología. Al graficar estos datos se obtiene la gráfica que se puede observar en la ilustración 58 que corresponde a la producción municipal de 1970 a 2010. De igual forma en este apartado se tratan los volúmenes de producción a nivel nacional en la ilustración 60. Estos datos se utilizaron para tener una visión más general de lo que estaba pasando en esos años en el resto del país y en la región. En cuanto a la Hacienda Majavita y su producción se observar en las ilustraciones 58 y 59 los datos que fueron suministrados gracias a (Sanmiguel, 2013) y los obtenidos en campo en la visita realizada. Las consideraciones importantes tales como las temperaturas, precipitaciones, humedades relativas y brillos solares requeridos por la planta se comparan según lo recomendado por (Cenicafé, 2015), frente a lo que se viene manejando en la Hacienda Majavita.



Ilustración 58 Producción de café castillo en el Socorro-Santander grafica basada en los datos de producción Federación nacional de cafeteros. Fuente gráfico: Autor Fuente de datos: (Federación Nacional de Cafeteros, 2010).

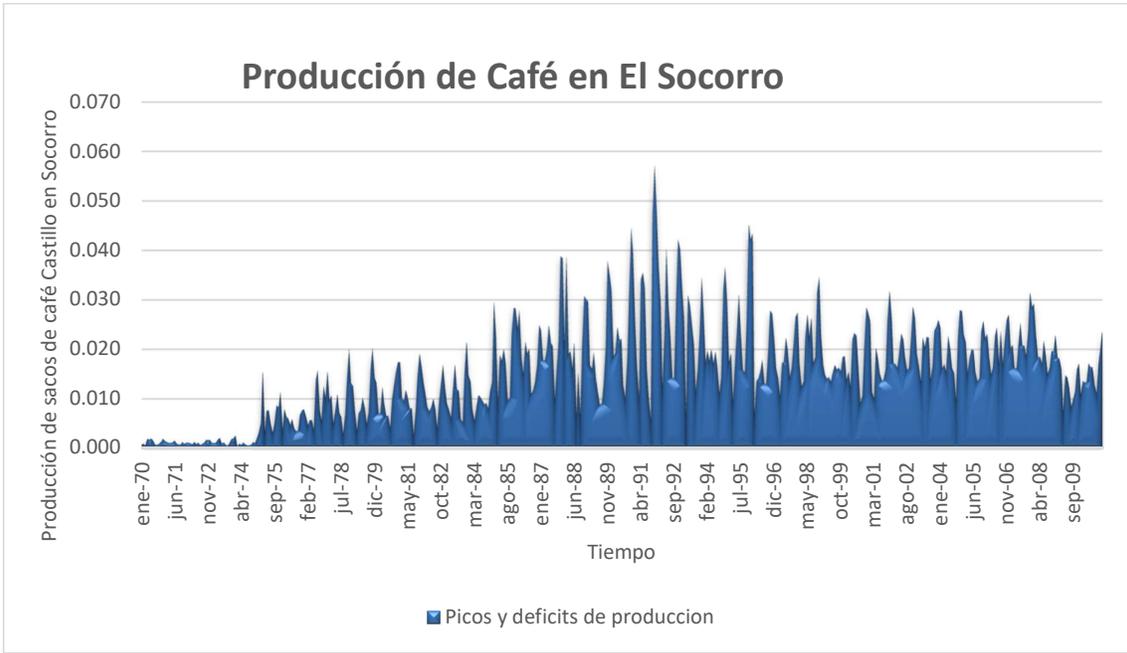


Ilustración 59 Producción de café de otras variedades en la zona de estudio, grafica basada en los datos de producción Federación nacional de cafeteros. Fuente: Autor.



Ilustración 60 Producción de café a nivel nacional grafica basada en los datos de producción Federación nacional de cafeteros. Fuente: Autor.

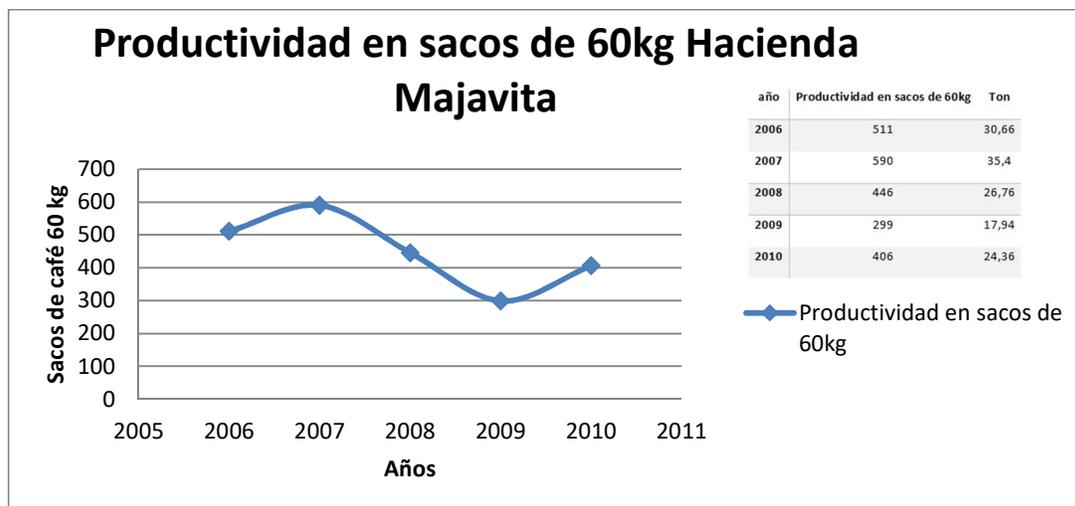


Ilustración 61 Productividad de sacos de café Hacienda Majavita dentro de los años de estudio establecidos grafica basada en datos suministrados por la Hacienda. Fuente: Autor.

La cantidad de sacos de café pergamino seco (cps) que produce la Hacienda Majavita es de 634 sacos. Para un total anual de 38 Toneladas de las cuales 75% (29) Toneladas de ellas son recogidas en la cosecha de septiembre a diciembre y el 25% (9,5) Toneladas en cosecha de Agosto –Septiembre, es decir aquellas que maduran más rápido (Sanmiguel, 2013). Sin embargo, los valores reales se encuentran en alrededor de 20 a 31 Toneladas anuales esto por perdidas que se dan en el manejo de la producción y pérdidas de alrededor del 18% en agua y biomasa (Cenicafé, 2016), además de los valores originales son de unas 91 Ton de café verde y maduro recolectado por lo que un 42% se pierde en biomasa y agua (Federación Nacional de Cafeteros, 2013). La cosecha más productiva es aquella que se da a final de año y en la que se recogen aproximadamente de 300 a 480 sacos de cps que corresponden de 18 a 28 Ton, este dato fue extraído de la visita de campo. Mientras que en la cosecha de agosto se recogen de 150 a 200 sacos. Dependiendo de las condiciones la media está en 630 sacos de 60 kg de cps. Una buena producción será aquella que esté por encima de los 600 sacos totales anuales, los valores ideales serian 630 sacos. Este valor se obtiene en base a la cantidad de plantas presentes en la hacienda. (76100). Debido a que cada planta produce aproximadamente 500g anuales de Café a 1000g (Cenicafé, 2015). Este es el estándar utilizado por la Hacienda para medir su

productividad requerida, dato que fue obtenido in situ, sin embargo, hay que tener en cuenta los porcentajes de pérdida, El valor de 38 Ton cps es un valor para el 100% de cosecha de cerezas ya procesadas sin embargo la verdadera medida estándar es la de 300 a 350 sacos de cps (Sanmiguel, 2013), que representa el 55% de producción y que no representa pérdidas ni ganancias. Luego en términos prácticos producciones por encima de los 300 sacos representan ganancias. Por ejemplo, del año 2006 se produjeron 551 sacos esto es 33.06 Ton (Se obtiene de multiplicar 60kg por los sacos 551). Estas toneladas representan 66120 plantas que produjeron cerezas lo cual da un porcentaje del 86% de producción, es decir que un valor por debajo de los 300 sacos de cps significa para una hacienda de estas proporciones representa pérdidas de más del 50% debida a plagas, factores climáticos extremos, inundaciones u otros eventos significativos. El 100% se reitera es un valor ideal pero siempre habrá pérdidas durante los procesos de cosecha y transformación de beneficio de café verde o cereza a café pergamino.

Las pérdidas totales en el proceso productivo corresponden al 47,5%, estas pueden variar con una desviación del 5%. Tienen mayor representatividad las pérdidas en trilla que corresponden al 24% y proceso de Tostado un 17%. La cifra restante significa que influyen otros factores industriales como el molido, el transporte y la pérdida en empaque sumados corresponde a un 6.5%. (Sanmiguel, 2013) .

Estas pérdidas se toman como referente ya que dan a entender que no solo los factores edáficos y climáticos influyen fuertemente en la producción sino otros como los económicos (Samuelson, 2015). Acá solo se toman en cuenta los climáticos.

9. Análisis multivariado de “clima variable representativas” contra “producción de hacienda”

Para la región como se puede observar en la tabla 16 se realizó un análisis multivariado en el que el comportamiento es de hipótesis alternativa como lo plantea el método y la estadística (Triola, 2013), esto quiere decir que hay una correlación significativa entre cambio climático y producción de la Hacienda Majavita. El valor correspondiente de F cayó en 21.19, mientras que el valor crítico fue de 4.19. Sin embargo, antes de llegar a este resultado se realizaron ANOVA de un factor para cada una de las variables que están involucradas y que se observan en las siguientes tablas de la 13 a la tabla 15, las variables más representativas fueron la temperatura y la precipitación. A partir de estas se realizó el análisis de varianza de varios factores que está en la tabla: mencionada al inicio de este capítulo.

Análisis de varianza de un factor						
RESUMEN						
Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza		
115,8	12	2119	176,583333	324,82697		
351450	12	7139550	594962,5	7,031E+10		
ANÁLISIS DE VARIANZA						
η de las variancia de cuadrados de libertad de los cua				F	Probabilidad /or crítico para F	
Entre grupos	2,1226E+12	1	2,1226E+12	60,3790253	9,54E-08	4,3009495
Dentro de los	7,7341E+11	22	3,5155E+10			
Total	2,896E+12	23				

Tabla 13 Análisis de varianza producción vs precipitación. Fuente: Autor

Análisis de varianza de un factor						
RESUMEN						
Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza		
Temperatura	42	281	6,69047619	18,6091754		
Produccion	42	406	9,66666667	37,7398374		
ANÁLISIS DE VARIANZA						
η de las variancia de cuadrados de libertad de los cua				F	Probabilidad /or crítico para F	
Entre grupos	186,011905	1	186,011905	6,60213536	0,011996	3,95738832
Dentro de lo	2310,30952	82	28,1745064			
Total	2496,32143	83				

Tabla 14 Análisis de varianza producción vs evaporación. Fuente: Autor

Análisis de varianza de un factor Hacienda Majavita				
RESUMEN				
Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
115,8	12	2119	176,583333	324,82697
351450	12	7139550	594962,5	7,031E+10
ANÁLISIS DE VARIANZA				
Grados de libertad de cuadrados de libertad de los cua		F	Probabilidad por crítico para	
Entre grupos	2,1226E+12	1	2,1226E+12	55,89
Dentro de los	7,7341E+11	22	3,5155E+10	9,54E-08
Total	2,896E+12	23		2,3

Tabla 15 Análisis de varianza producción vs temperatura. Fuente: Autor

Resumen									
Estadísticas de la regresión									
Coefficiente de correlación múltiple	0,67803362								
Coefficiente de determinación R^2	0,38499834								
R^2 ajustado	0,36742686								
Error típico	3,51714645								
Observaciones	1173								
ANÁLISIS DE VARIANZA									
		Grados de libertad de cuadrados de los cua		F	Valor crítico de F				
Regresión	1	271,038829	271,038829	21,9104152	4,1905E-05				
Residuos	35	432,961171	12,3703192						
Total	36	704							
		Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	Inferior 95%	Superior 95%	Inferior 95,0%	Superior 95,0%
Intercepción	2,53850419	1,11481052	2,27707233	0,02900406	0,27531851	4,80168986	0,27531851	4,80168986	
Variable X 1	0,43786564	0,09354392	4,68085625	4,1905E-05	0,24796139	0,62776989	0,24796139	0,62776989	
Variable X 2	0,53859051	0,09354392	4,68085625	4,1905E-05	0,24796139	0,62776989	0,24796139	0,62776989	

Tabla 16 Anova de varios factores en los que se evaluó temperatura precipitación y producción. Da como resultado una alta correlación. $F=21,9$ que sobrepasa el valor crítico de f que es 4.19 esto cae en el valor de hipótesis alternativa, que establece: Correlación entre las variables del fenómeno y la producción. Fuente: Autor.

Luego de haber realizado el análisis multivariado correspondiente se graficó la relación, o el porcentaje de relación que se observa en la imagen: en la que como azul aparece el 67% de probabilidad de relación entre este fenómeno y la producción de la Hacienda Majavita. El restante 33% es de no relación por efectos que no fueron estudiados, pero que de igual forma son importantes. Sin embargo, esto no representa que los efectos climáticos tengan más porcentaje de peso y probabilidad que otras variables y que sea más importante (Wilks, 2006), sino que representa la relación conocida con la producción. Luego en la imagen: se graficó el juicio de la hipótesis, en grafico de Fisher se observa que está en hipótesis alternativa.

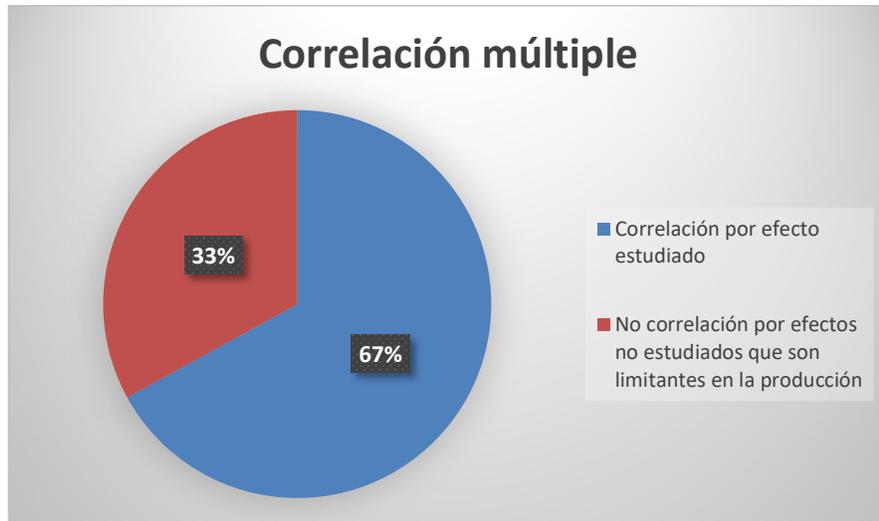


Ilustración 62. Representación de la relación del efecto estudiado con la producción. Fuente: Autor a partir de los datos suministrados. Fuente: Autor

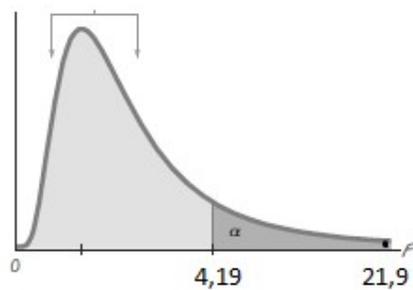


Ilustración 63. Formada a partir de la información de la tabla 16, en la que se observa que el gráfico de Fisher cae en hipótesis alternativa. Fuente: Autor.

De los valores de la tabla obtenida después de haber realizado el análisis múltiple se extrajeron la intercepción y los valores “x” y “x2” para la formación de la ecuación que comprometiera la Variable de respuesta, que es la producción con la variable independiente de clima formada a partir los parámetros climáticos más relacionados con la producción que en este caso fueron la temperatura y la precipitación. Esto se puede observar en la tabla 17 y en la ilustración 64 que representa la regresión múltiple ajustada. Este gráfico se derivó de la tabla 67 de Excel y fue realizado de forma automática por este mismo programa al realizar el mismo análisis de datos. Se corroboró si el intercepto da cada una de las variables, estaba en orden por medio de la tabla 67 y si coincidían.

Coeficientes	
Intercepción	2,53850419
Temperatura	
Variable X 1	0,43786564
Precipitación	
Variable X 2	0,53859050

Tabla 17. De la cual parte la ecuación que se muestra en la figura que se ve a continuación, información extraída de la tabla 67 Fuente de la tabla: Autor.

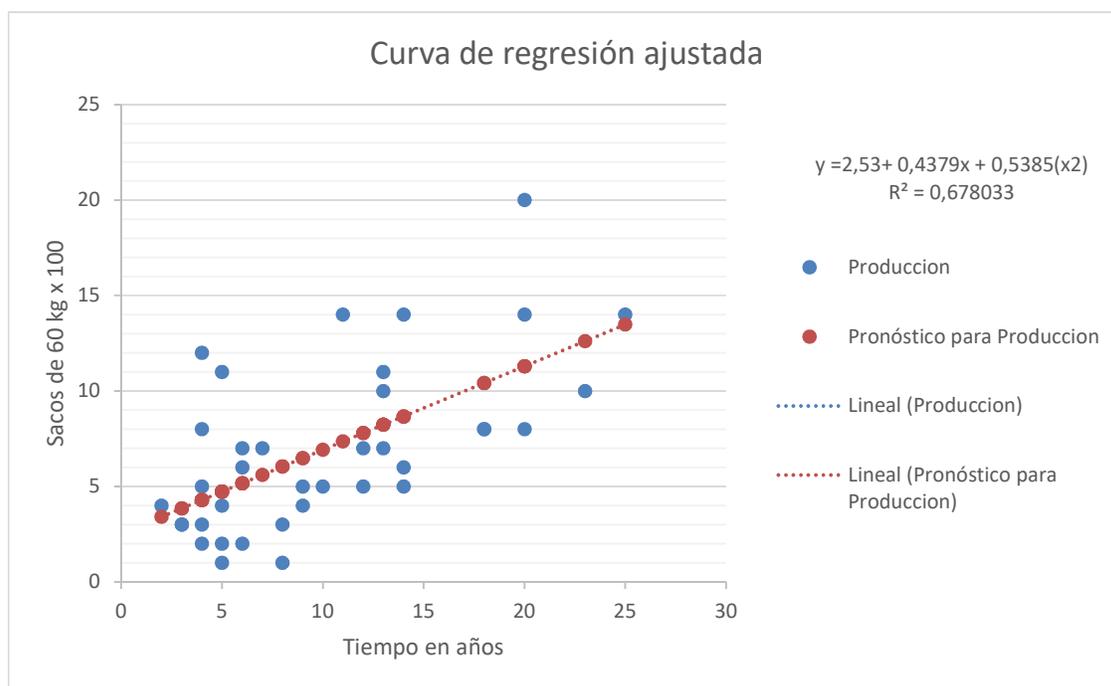


Ilustración 64 Los coeficientes de correlación para temperatura y precipitación son 0,44 y 0,54 respectivamente, teniendo una correlación más fuerte la precipitación. No por esta razón la temperatura puede excluirse (CIAT, 2013) así como factores edáficos (FAO, 2015), como económicos (Samuelson, 2015).

Como se puede observar en la imagen: el pronóstico para la producción afirma que existe una gran probabilidad de crecimiento de la producción, sin embargo, esto se confirmó tal y como se expuso en la metodología con el fin de hacer más realista el modelo y ver su comportamiento a través del tiempo.

Vale la pena de igual forma, mencionar el análisis empírico que se realizó antes de los ANOVA y análisis multivariado ya mencionados, sorprendentemente las conclusiones de las que este se derivaron coinciden con en análisis multivariado anteriormente expuesto, en las que un tiempo más seco propicia el crecimiento de la producción. Este análisis se realizó basado en las líneas de tiempo de la producción a nivel nacional, municipal y en la zona de estudio de interés que

en este caso es la Hacienda Majavita suministrados por (Federación Nacional de Cafeteros, 2013) así como por el informe del (NOAA, 2017), para cada uno de los años en los que se presentó fenómeno niño y fenómeno niña. Tal y como se observan en las ilustraciones 65, 66 y 67, se ve que el comportamiento del café es de tendencia al crecimiento cuando hay fenómeno niña que es el que se presenta en letras rojas, mientras que hay un decremento cuando es fenómeno niño caracterizado por lluvias que se presenta en azul. El informe de (IDEAM, 2016) sostiene que el comportamiento que se va observar en el clima en los próximos años tenderá a tener un comportamiento de variabilidad climática tipo niña para Colombia, caracterizado por disminución de lluvias y aumento de temperaturas para todo el país. En el caso de nivel nacional se observar que esto es cierto para los años que se plasmaron en la ilustración 66 en el que se aprecia que en 1982 y 1992 hay un aumento de la producción, mientras que para el año 1999 hay un decremento por presentarse fenómeno niño tal y como se observa, estos datos reportan entonces una situación similar a lo largo de los años a distintas escalas. De igual forma se observa que para el municipio de Socorro hay un comportamiento similar para los años 1998, en el que se presentó fenómeno niña para nuestro país y 1999 fenómeno niño de igual forma, esto incidió en que se presentara aumento y disminución de la producción respectivamente. Para la Hacienda Majavita la situación es similar para los años de producción disponible 2008 y 2009, en el que se presenta un déficit en periodo niña 2008 y un aumento a finales de 2009 cuando se empieza a dar el fenómeno niña.

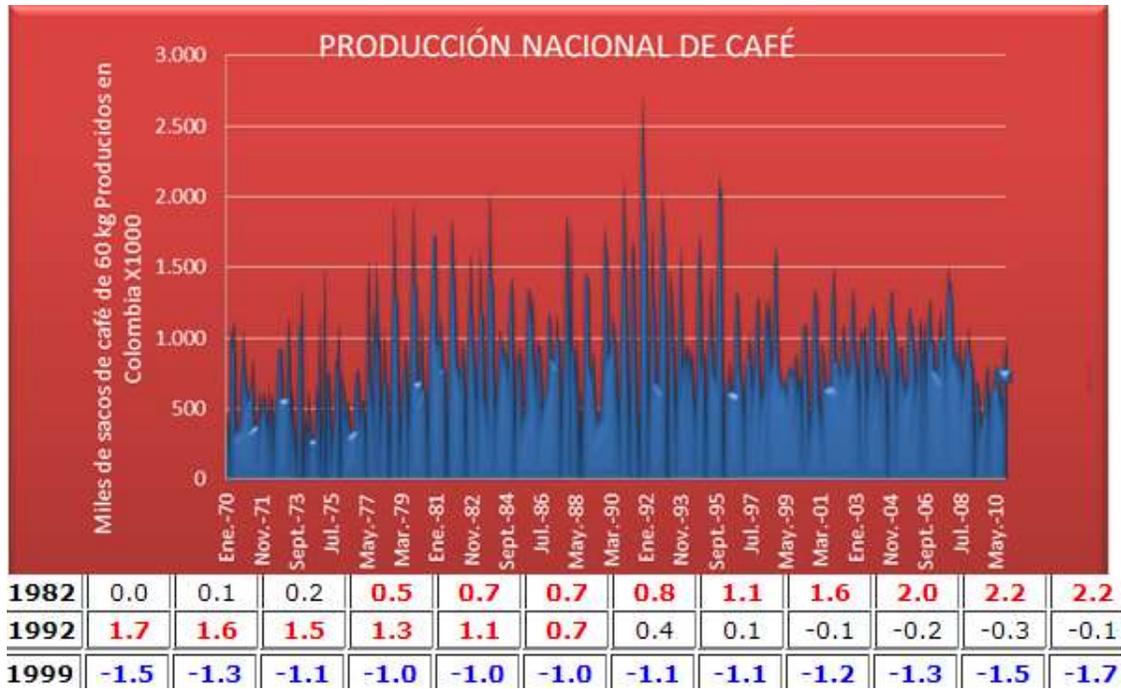


Ilustración 65 donde se relaciona la producción nacional con los valores ENSO extraídos de la (NOAA, 2017).

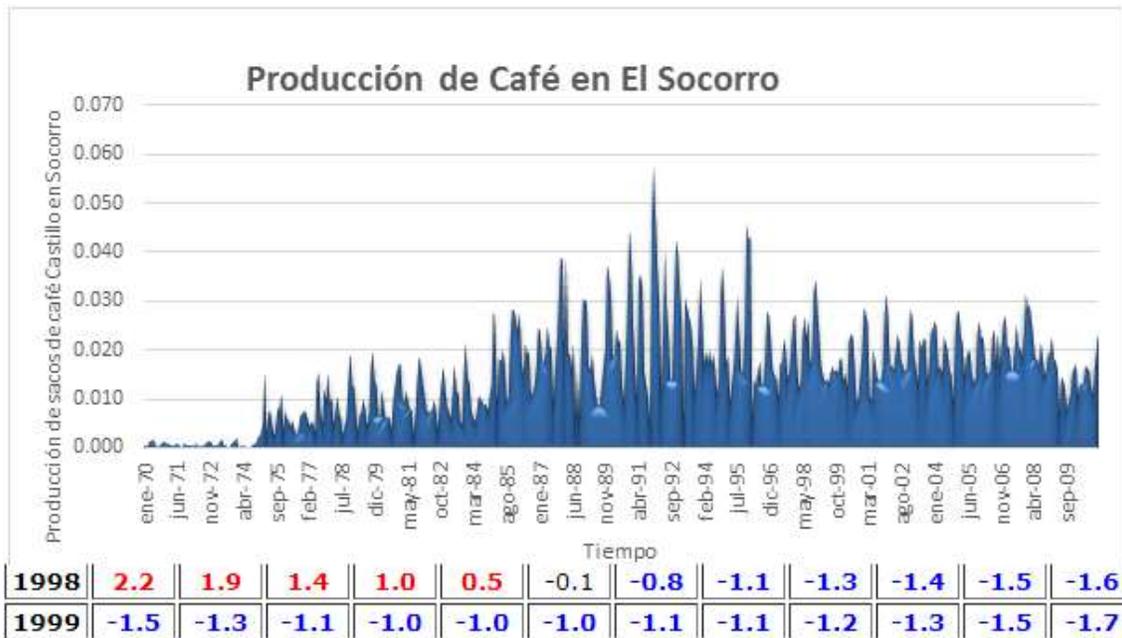


Ilustración 66 imagen muestra un análisis sencillo de aumento de temperatura en un periodo niño en donde la producción nacional aumenta. Fuente: Autor. A partir de datos de (NOAA, 2017) y (Federación Nacional de Cafeteros, 2013).

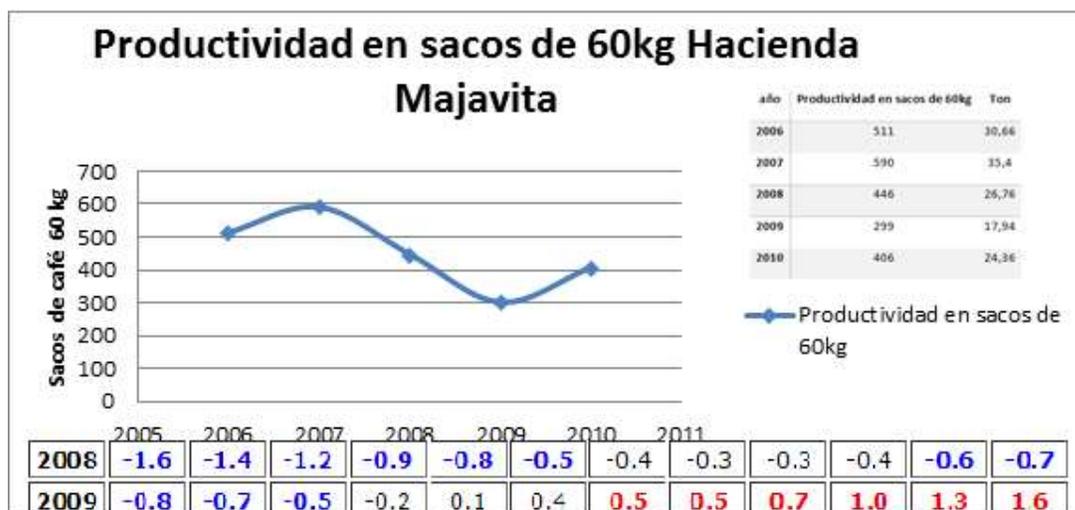


Ilustración 67 Análisis de relación de datos climáticos (NOAA, 2017) con los datos de producción de la Hacienda Majavita.

De manera que, analizando el comportamiento de los análisis ANOVA de un solo factor entre la producción de café y la estadística respectiva, así como el análisis multivariado y el empírico que se acaba de exponer se concluye preliminarmente que puede ser positivo para el café, mientras que para otras actividades quizá no lo sea (IPCC , WMO , PNUMA, 2014).

Se demostró que los resultados se comportan de la siguiente manera. Positivo a pesar de que y la temperatura aumenta y la precipitación disminuye, es decir en un régimen seco de comportamiento niña, siempre y cuando se mantenga la disponibilidad hídrica que como se comentaba en el capítulo 7 sobre resultados geofísicos es de 120 mm/mensuales para la hacienda; sin embargo si se presentan cambios drásticos y extremos, el carácter evaluado puede ser negativo, en caso de sequía extrema o humedad extrema, por lo que si la precipitación y la temperatura cambian drásticamente, es decir se presenta un fenómeno niño y un fenómeno niña muy fuertes como el de 1999 y 1992 respectivamente (IDEAM, 2007), es posible que movilicen al café de su zona óptima y lo ubiquen de nuevo a zonas de estrés, donde su producción no sea óptima. Sin embargo, siempre será más favorable el tiempo seco que el húmedo.

10. Modelos de Aquacrop© y análisis

Finalmente se confirmó la conclusión que se obtuvo a partir de los ANOVA para cada variable y del análisis multivariado, que establece que con el pasar de los años va a aumentar la producción para escenarios futuros, esto por simulación en Aquacrop©. Como se puede observar en la ilustración 68 y 69 se establecieron los parámetros de entrada que son clima, cultivo, gestión del cultivo y suelo se crean archivos con las extensiones correspondientes tal y como se explicó en la metodología de la presente investigación, se simula como se observa en las ilustración 70 y se obtienen los resultados de la imagen que fueron graficados a partir de los datos obtenidos de la simulación en la imagen. de igual forma se pueden observar en la imagen 81 para los tres escenarios que se plantearon en la metodología un escenario actual y dos escenarios futuros.

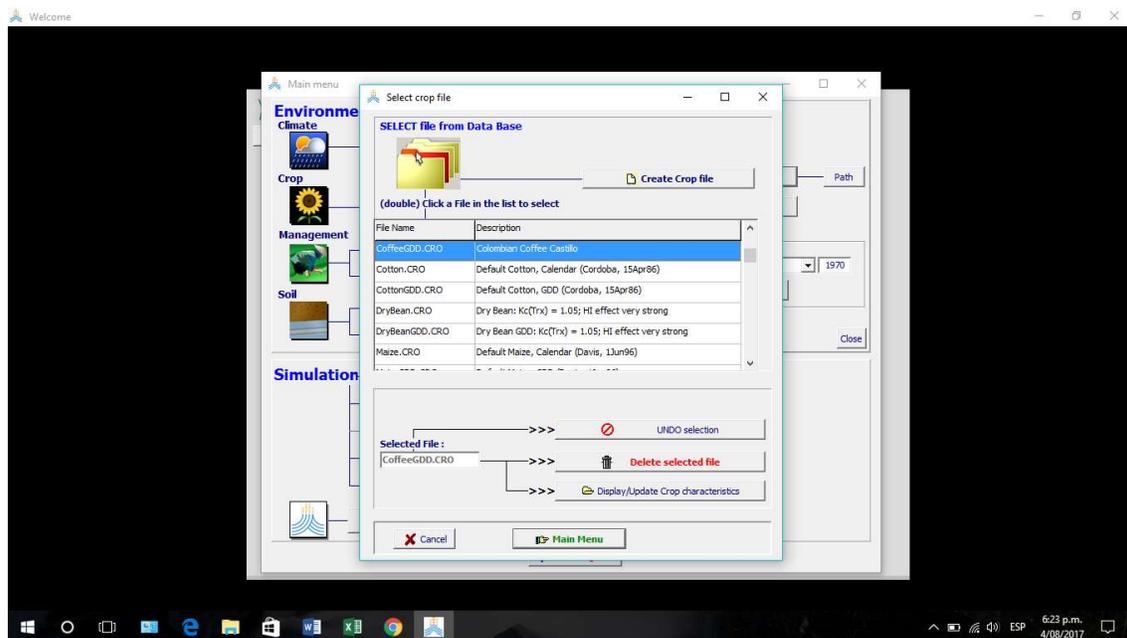


Ilustración 68 Selección del cultivo creado, en este caso el Café Castillo nombrado Coffee Castillo. Al iniciar la simulación nos pedirá el día de trasplante. Como se comentaba en el marco teórico este café se trasplanta de vivero a campo no se siembra directamente en el suelo así que, se tomara la simulación a partir del primero de 1 Agosto de 1970, Es decir ya han pasado 6 meses desde que la plántula creció y está en campo La época de siembra en vivero 1 de Enero de 1970 . Fuente. Autor.

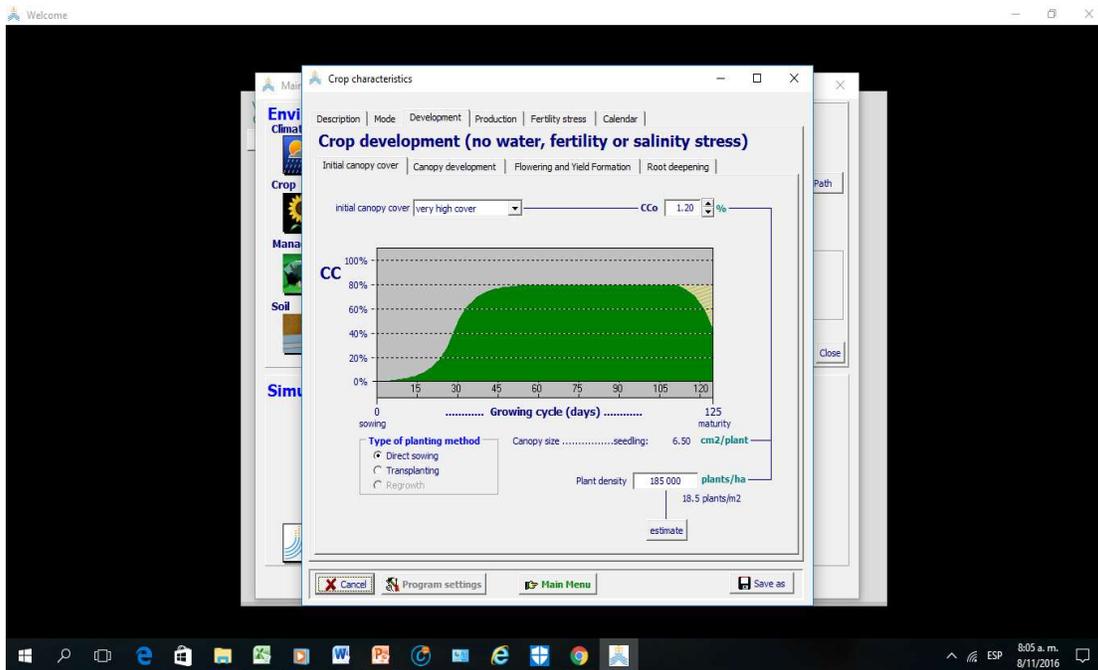


Ilustración 69 En esta imagen se está diseñando el cultivo Coffee Castillo según la fenología estudiada.

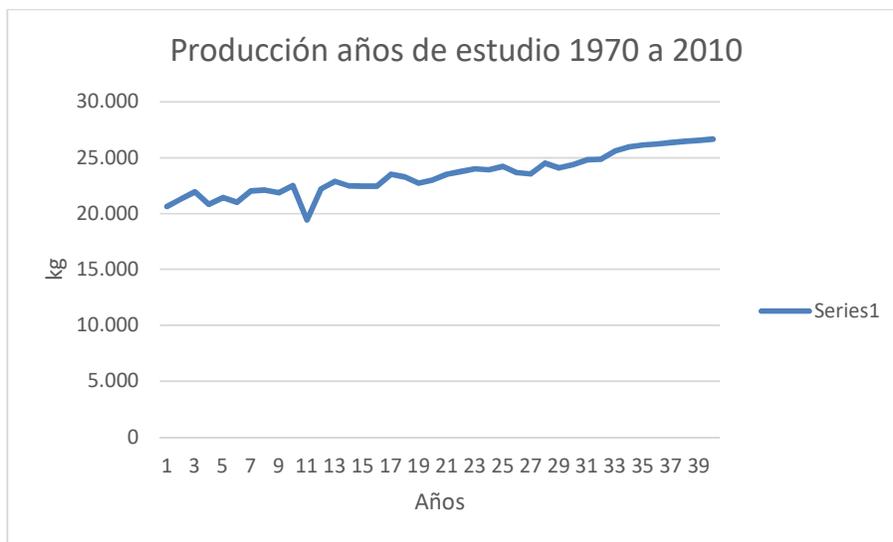


Ilustración 70 En esta imagen se está diseñando el cultivo Coffee Castillo según la fenología estudiada.

Luego de tener todos los datos y variables que requiere el programa que son Climate, Crop, Management, Soil, este nos pide correr la simulación que dará como resultado la productividad ideal, que corresponde a los años de estudio, esta sale en un archivo de salida que se puede exportar a aun archivo Excel para ser analizado. El archivo se puede visualizar en el Anexo 1

en la carpeta que se encuentra con el nombre “Archivos de salida” dentro se llama al archivo “Simulacion.xls” que corresponde a los valores de producción ideales de los años de 1970 a 2011. Cabe aclarar que todos los archivos que genera el programa son archivos de .txt y para poder manipularlos se deben exportar a Excel, delimitados por espacio.

Después de haber obtenido los resultados teóricos, se comparan con los resultados reales de la Hacienda Majavita para el periodo de producción disponible y se ajusta a un coeficiente de 0,69 aproximadamente. Como se observa en la tabla 18 y en la ilustración 71

COEFICIENTE DE CORRELACIÓN DE PEARSON	0,69069877
---------------------------------------	------------

Tabla 18 coeficiente de correlación entre datos reales y datos teóricos. Fuente: Autor.

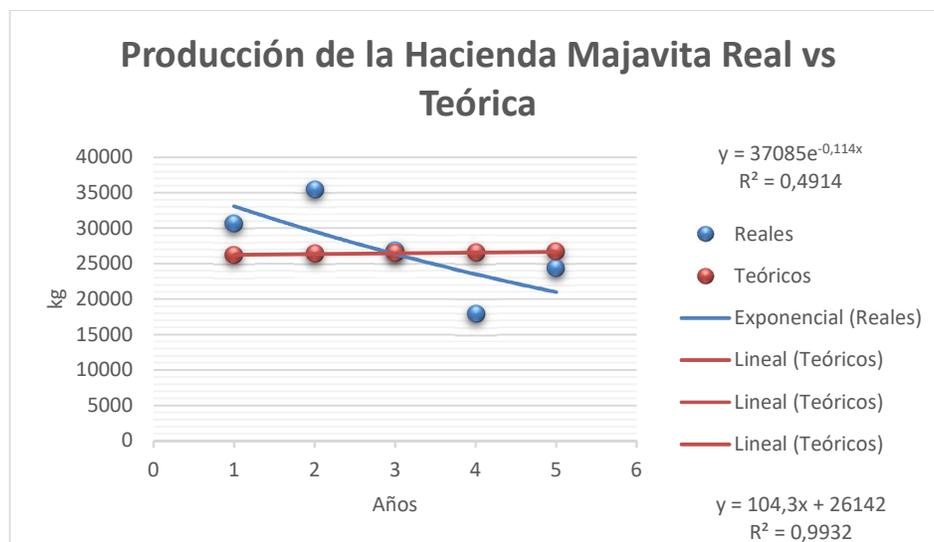


Ilustración 71 En esta imagen se muestra la correlación del cultivo teórico con el cultivo real, se observa que el cultivo real tiene un comportamiento exponencial dado por la ecuación que se ve en la imagen y el cultivo teórico posee un comportamiento lineal sin embargo ambos poseen una alta correlación. Fuente: Autor.

Para el caso de la modelación de escenario futuro se deben tratar de igual forma los datos climáticos que se tuvieron en cuenta, esta modificación se realiza con los escenarios de cambio climático para el departamento de Santander. Como se observa en la ilustración 72.

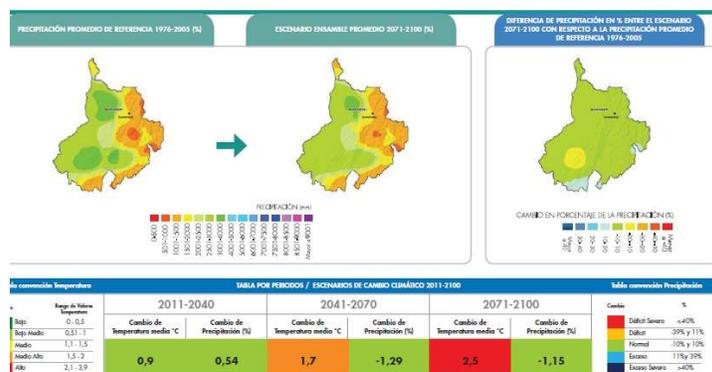


Ilustración 72 Tomada de (IDEAM, 2016) Nuevos escenarios para el cambio climático informe que estipula los incrementos y decrementos para nuestro país. Fuente: (IDEAM, 2016).

Este documento nos propone dos expansiones en la línea del tiempo, una para 2011 hasta 2041 y luego otra desde 2041 hasta 2070. La modelación se hizo para el caso de los dos escenarios. El primer escenario propone un incremento de 0.9°C y disminución de la precipitación de 0,54% para el caso del segundo escenario se habla de 1.7 °C de aumento y 1,29% de disminución en precipitaciones. Los cambios respectivos de los datos climáticos de las variables precipitación y temperatura, por ser las más correlacionadas con la producción, se graficaron en las ilustraciones de la 73 a la ilustración 76 y luego fueron introducidos en la variable Climate de Aquacrop©, junto con las demás variables para obtener la producción de años futuros.

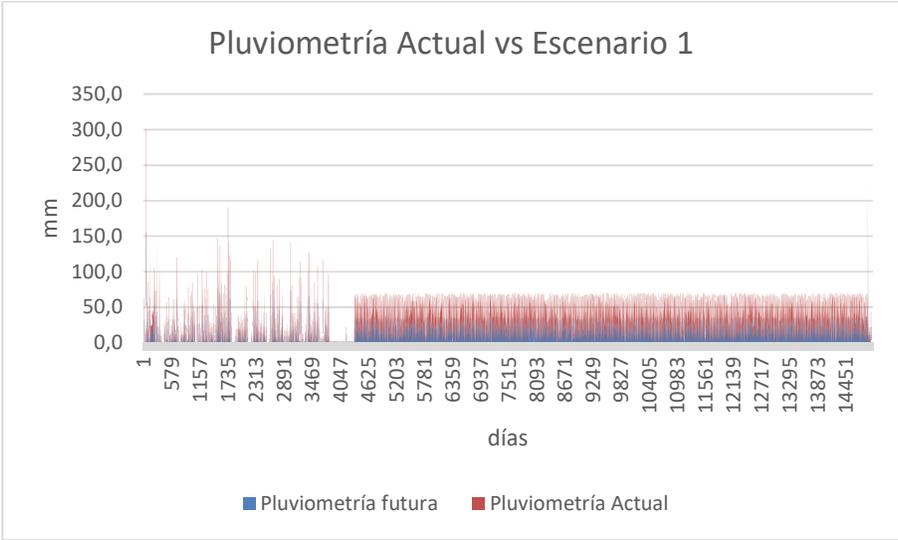


Ilustración 73 Presenta precipitación actual vs precipitación futura con disminución de escenario. Fuente: Autor

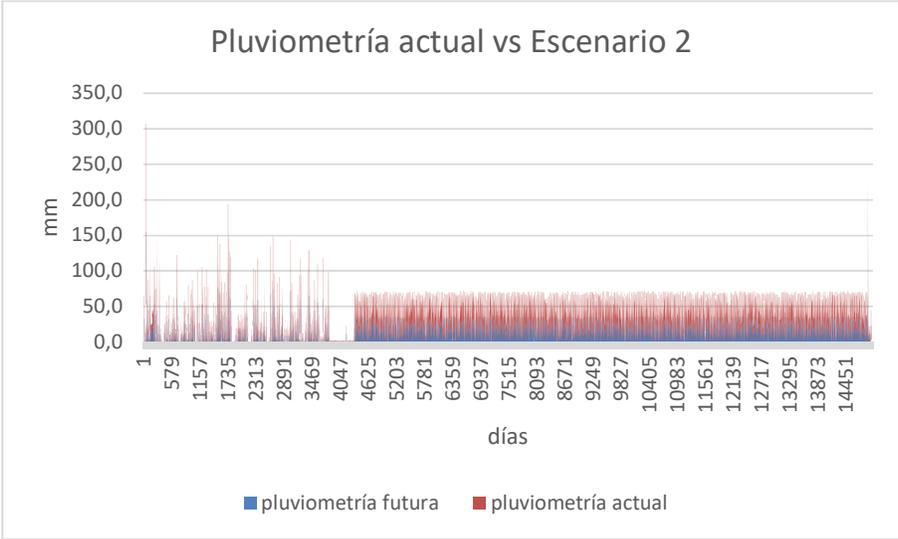


Ilustración 74 Presenta precipitación actual vs precipitación futura con disminución de escenario. Fuente: Autor.

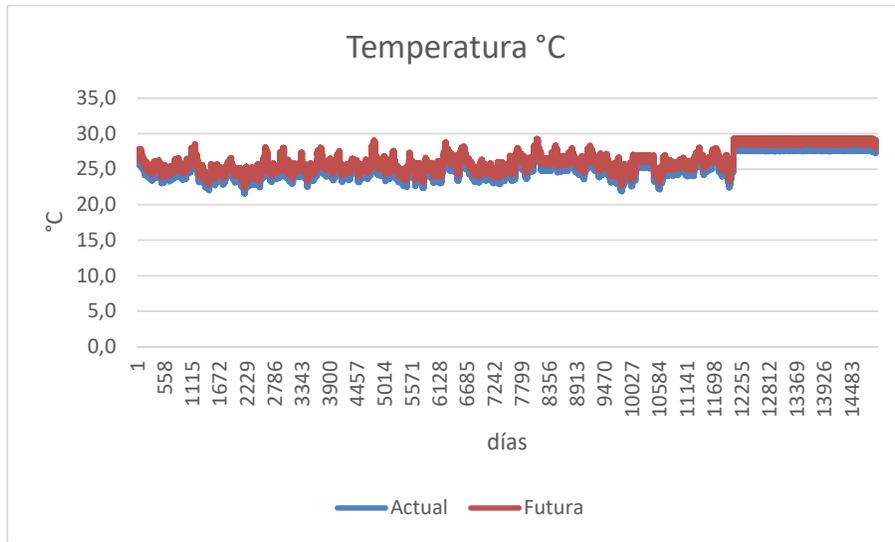


Ilustración 75 Presenta temperatura actual vs precipitación futura con disminución de escenario. Fuente: Autor

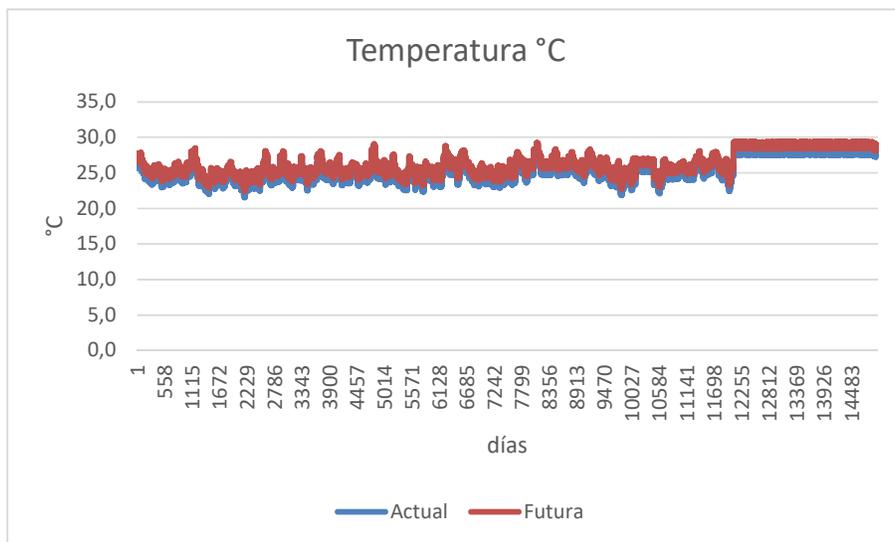


Ilustración 76 Presenta temperatura actual vs precipitación futura con disminución de escenario. Fuente: Autor

La simulación se corrió con los cambios establecidos y se puede observar en las ilustraciones 77 y 78. Al correr los dos escenarios se tiene que para el caso del primero la productividad sigue igual al comienzo, pero hay tendencias de aumento llegando al 17%. Para el caso de la segunda hay un incremento en la productividad del 9% en promedio. Esto se puede apreciar en la Ilustraciones 79, 80,81 y 82. Debe tenerse en cuenta que esta simulación se corrió haciendo los cambios que proponía el documento de escenarios de cambio climático.

Para ver los resultados en forma de datos de estas dos simulaciones por favor remitirse al Anexo 1 carpeta “Archivos de Salida”. El comportamiento de las variables temperatura y precipitación se puede apreciar en los mapas del Anexo 3. La producción obtenida se graficó y se puede apreciar en la ilustración 82.

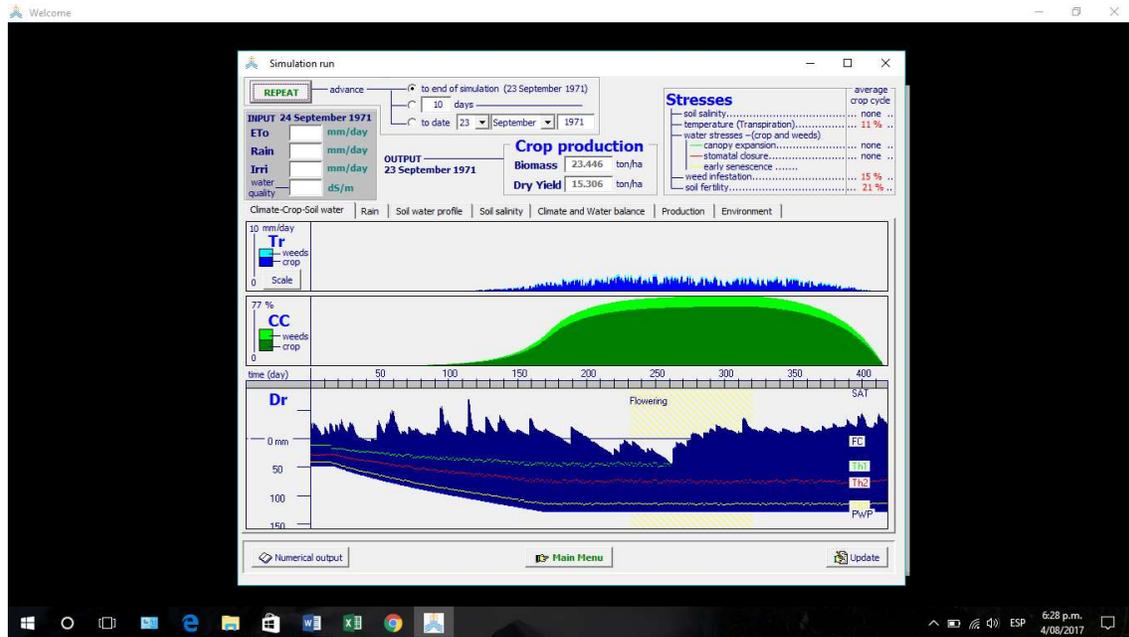


Ilustración 77 Este es un ejemplo de simulación anual a medida que se va dando en repeat se sigue dando la simulación para luego finalizar. Preguntará al usuario si desea guardar la simulación o repetirla de nuevo. Las simulaciones para el escenario de 1970 a 2010 se encuentran en el archivo Simulaciones xls de la carpeta Archivos de salida. Fuente: Autor.

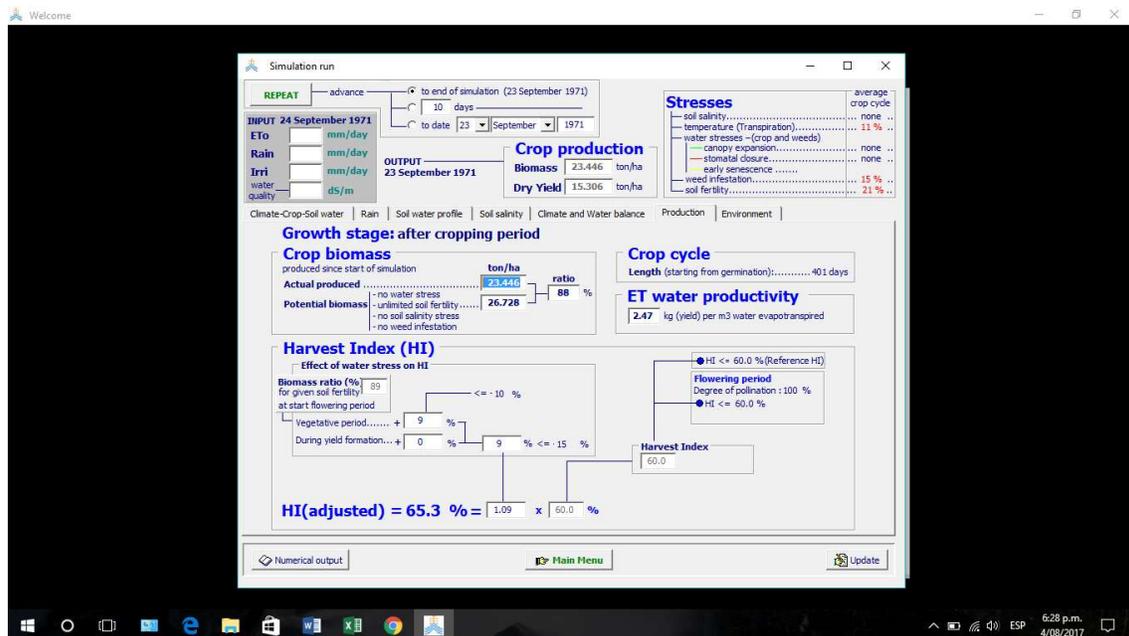


Ilustración 78 En esta imagen se puede observar el valor de la producción para el 1 año. Esta es la producción ideal del cultivo. Fuente: Autor.

El aumento de la productividad en cierta medida se debió a que aumenta la temperatura mínima como la máxima. Se vuelven más ideales para el cultivo (Cenicafé, 2015). La temperatura además propicia que los frutos maduren mucho más rápido por lo que la cosecha será antes (Cenicafé, 2008). Sin embargo, esto tiene otros factores implícitos que a simple vista no se ven y es la disminución de calidad del cultivo. Puede que se produzca más, pero es desconocida la cantidad de producto útil, además como cita el Dr Peter Baker de la CAB (Corporate Advisory Board) “*A medida que la temperatura sube, el café madura más rápidamente provocando una calidad inferior. Esta conclusión está comprobada por el hecho de que los cafés cultivados en las bajas regiones tropicales sometidas a temperaturas más elevadas rinden un sabor inferior en la tasa cuando comparado con el mismo café cultivado en altitudes más elevadas*”. (Baker, 2016). En cuanto a la altura en la Hacienda es un punto a favor. De igual forma “*Las temperaturas elevadas no solo favorecerán la proliferación de ciertas plagas y enfermedades, sino que también resultarán en su esparcimiento a otras regiones donde normalmente no se manifestaron antes*” (Baker, 2016)

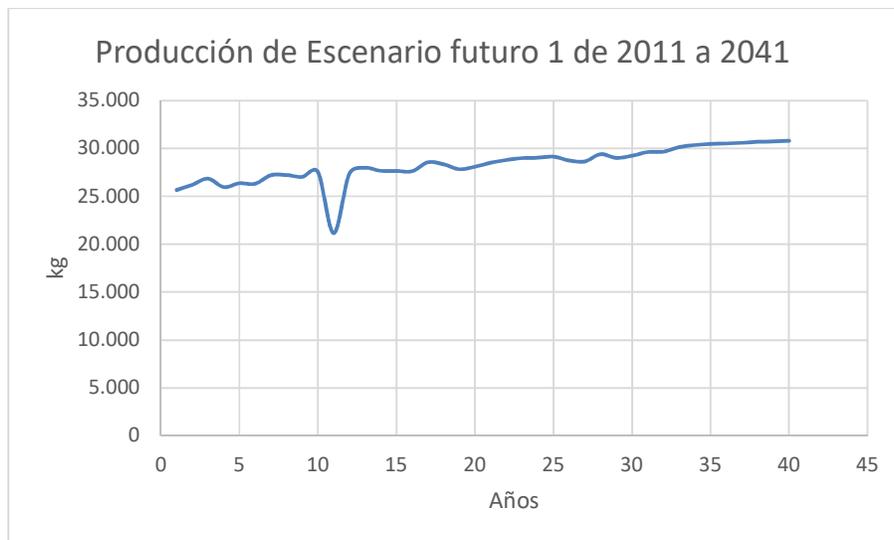


Ilustración 79 Grafica del aumento de producción para el primer escenario de cambio climático, los datos para graficar estos se obtuvieron a partir de los resultados del modelo. Fuente: Autor.

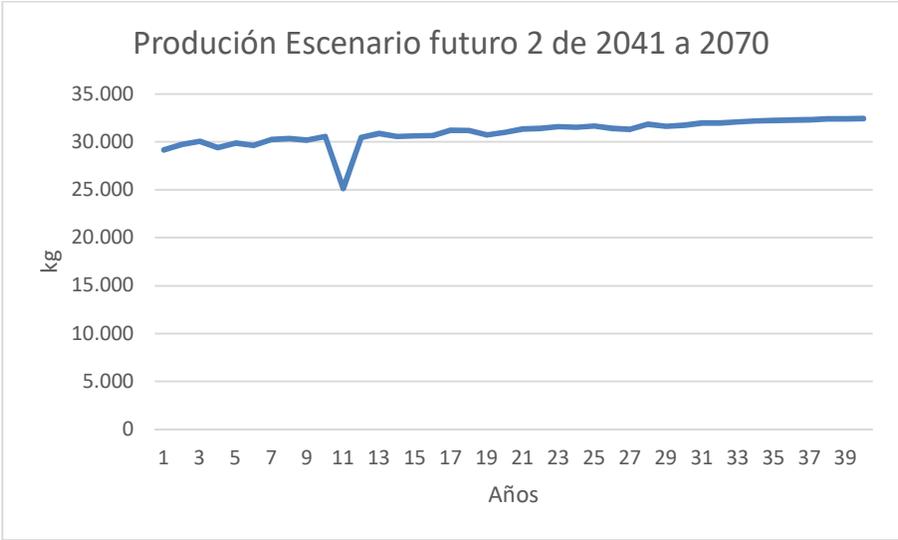


Ilustración 80 Grafica del aumento de producción para el segundo escenario de cambio climático, los datos para graficar estos se obtuvieron a partir de los resultados del modelo. Fuente: Autor.

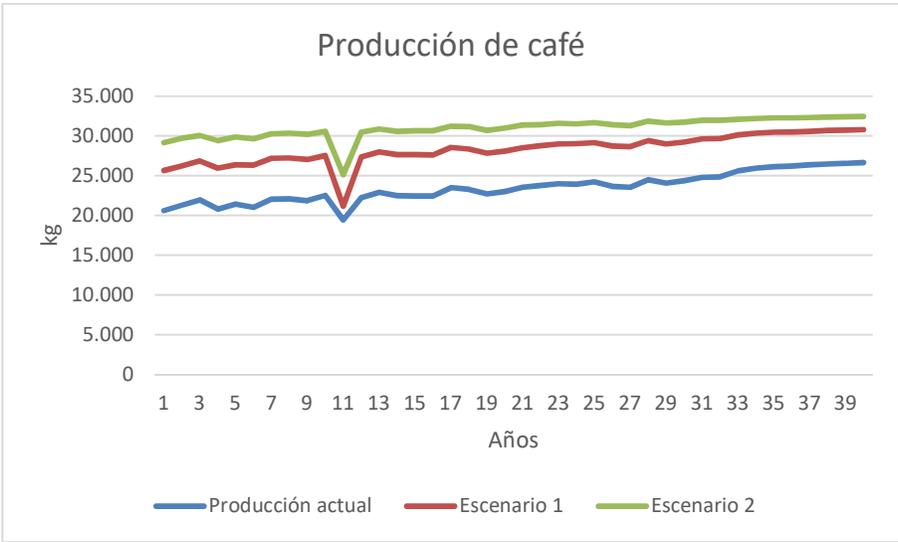


Ilustración 81 Muestra el cambio de producción para los escenarios futuros, contra los escenarios actuales que se viene dando. Fuente: Autor.

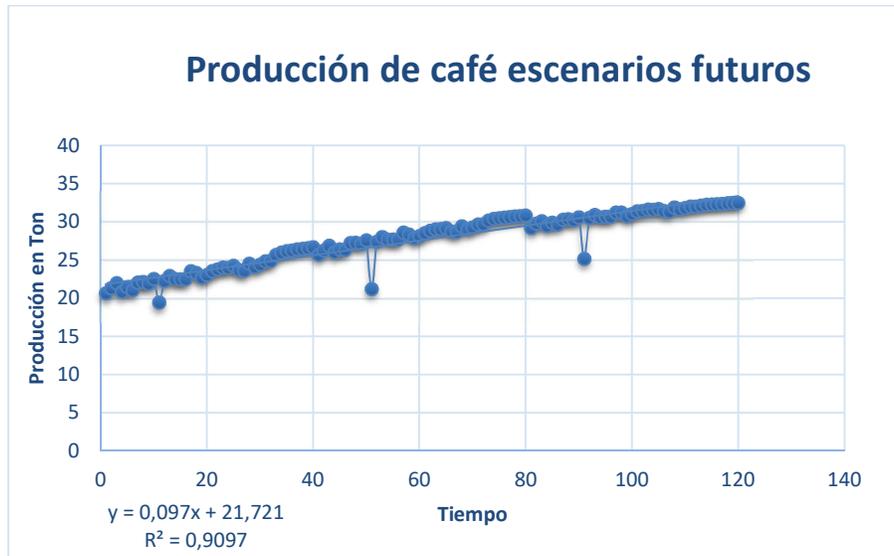


Ilustración 82 Grafica de producción futura versus tiempo. En esta se muestra la producción de café en la Hacienda Majavita a futuro. Los aumentos correspondientes son de un 17% para la primera simulación que cubre una normal de 2011 a 2041 y la segunda de un crecimiento de 9% que cubre una normal de 2041 a 2081.

Después de realizar las simulaciones y descubrir que aumenta la productividad se concluye que al incluir los datos y aumentar unos grados más de temperatura y manteniendo la precipitación a 120 mm anuales da como resultado que el café o la producción se vería favorecida, sin embargo, esto incidiría en costos de mano de obra debido a que el café tenderá a sobre madurarse. Por lo que se debe recoger la cosecha antes. Por el contrario, al aumentar la precipitación, la producción se vería truncada debido a que ambientes muy húmedos afectan a la planta, es más propensa a las malezas cuya variable en la simulación fue nombrada como “Weeds” y se aprecia en la ilustración 77 donde aparece en color verde claro, por lo que un aumento excesivo del agua tendría consecuencias igual de nefastas o peores que si disminuyese. Estos escenarios se contemplaron de esta forma agresiva debido a que así será el comportamiento del sistema climático.

Lo que se puede decir es que los aumentos de temperatura no afectan a la planta siempre y cuando la disponibilidad del agua sea la misma. Por lo que se puede recomendar mantener la cantidad de agua disponible por medio de regadores e implementar o innovar aún más el

sistema Becolsub visto en el capítulo 4.2.10, que se posee actualmente para evitar así mayores pérdidas de producción y de agua que será uno de los factores limitantes más importantes del crecimiento.

Se tiene una gran certeza a nivel mundial de que el producto en taza disminuirá su calidad a pesar de que se va a ver aumentada la producción (FAO, 2015). Y que en sitios donde antes se sembraba el café como el Brasil por su poca presencia de montañas va a tener disminuciones en su producción (Baker, 2016), así como por estar alejado de la línea ecuatorial (Foro mundial de productores de café, 2017). Por el contrario, en Colombia y en el sitio de estudio la altura es uno de los factores que favorece al cultivo, pero se deben tener las otras variables con mayor cuidado para que la producción sea mayor o igual. (DNP-BID, 2014) Hay que observar esto como una oportunidad para mejorar la producción, pero con un escaso margen de seguridad debido a la rudeza de los eventos meteorológicos que van a ser cada vez más periódicos y de igual forma más agresivos.

Conclusiones

- Se evidencia que las variables climatológicas poseen tendencias diferentes. Para el caso de la temperatura la tendencia es creciente, mientras que para el caso de la precipitación es decreciente, tal y como lo evidencian los escenarios para el cambio climático en Colombia propuestos por el IDEAM.
- Con el impacto del cambio climático y siendo uno de los países más afectados por este cambio la carga disminuiría por reducción de regímenes de agua y cambios en los ciclos de variabilidad climática siendo más intensos. La implementación de nuevos sembradíos en mayores alturas como los que se presentan en la Hacienda permite que este impacto disminuya no afectando las cargas sino por el contrario aumentándolas, sin embargo, es indispensable mantener el riego de la planta.
- Como es evidencia en Colombia y sobre todo en el municipio de Socorro Santander, Hacienda Majavita, se verá beneficiado en su producción por el cambio climático.
- El aumento de temperatura junto con la disminución de la precipitación son unos de los factores que más afectan a la planta, estas variables no afectan a la planta siempre y cuando la disponibilidad del agua sea la misma, sin embargo, los regímenes de lluvia cambiarían afectando a la planta por lo que el sombrero que se presenta actualmente se debe mantener de la misma forma el regadío.
- Existe un aumento promedio de 17% en la producción de café según lo establecido por el modelo de Aquacrop del periodo del 2011 al 2041 y de un 9% de 2041 a 2081. Tomando en cuenta que la disponibilidad de agua para el cultivo es adecuada. Si esta no lo fuese se demuestra que los cultivos madurarían más rápido lo que cambiaría la época de madurez del fruto y por ende su calidad. Se concluye entonces que hay más incertidumbre en el proceso y disminución de seguridad en el cultivo. Se presentarán

entonces escenarios más drásticos; de abundancia en dado caso que se controlen bien las variables limitantes o de escasas en dado caso de que estas no se controlen bien.

- Se concluye que se debe proteger el café presente en la hacienda por medio de regadíos como los que se tiene actualmente sin embargo se debe contemplar la medida de mejorarlos.
- El comportamiento de Socorro posee correlaciones fuertes con la producción nacional debido a que la especie más sembrada hoy en día en el país es castillo y variedad caturra.

Recomendaciones

- Se recomienda seguir manteniendo los datos climáticos y meteorológicos de la región de una forma organizada y completa como se evidencio para los últimos 10 años, esto es favorable para la realización de estudios futuros.
- Se recomienda mantener la cantidad de agua disponible por medio de regadores en épocas de escasez de agua. Debido a que los eventos meteorológicos como niño y niña van a ser más intensos y agresivos. Esto puede disminuir la cosecha, de igual forma lluvias prolongadas provocan deficiencias de nitrógeno se recomienda evitar el exceso de erosión en la zona, así como seguir practicando el desagüe por medio de zanjas.
- Implementar e Innovar aún más el sistema Becolsub que se posee actualmente para evitar así mayores pérdidas de producción como contaminación de agua que de manera indirecta afecta la precipitación y los regímenes de lluvia en el municipio. Seguir utilizando los desperdicios como fertilizantes.
- Investigar medidas de control natural contra plagas que se vean favorecidas por aumentos de temperatura y humedad, así como nuevas medidas de protección en viveros y zonas de cultivo para evitar pérdidas y daños en estas. Se recomienda de igual

forma que las medidas de control edáfico se estudien para ver como se ven afectadas por estos cambios climáticos.

- Se recomienda llevar contabilidad de plantas enfermas por diversas plagas debido a que es necesario realizar estudios que correlacionen las enfermedades de estas con el cambio climático la falta de información imposibilita esta labor.
- Se evidencia que altas temperaturas aumentan la maduración de los frutos y esta es una de las razones, del aumento de la producción sin embargo esto también puede afectar la fenología de la planta en su fotosíntesis, causar anomalías en las flores, aparición de mayor ocurrencia de plagas y enfermedades. Se recomienda seguir implementando y manteniendo las plantas de sombrío de forma permanente.
- Aunque no se tuvo en cuenta en esta investigación fuertes vientos y frecuentes no favorecen el crecimiento longitudinal de la planta, ocasionan desfloración, así como deshidratación por movimiento del agua del aire que la planta capta en horas de la madrugada y al caer de la tarde. De igual forma aumenta la transpiración. Ocasionan la pérdida de los frutos. Se recomienda seguir manteniendo las plantas de Guamo santafereño porque, así como brindan sombrío permiten establecerse como barreras que desvían el viento de forma natural sin necesidad de implementar costosas barreras rompe vientos. Otras plantas recomendadas son: El plátano, por su sistema foliar de gran tamaño, el Guamo y el Guineo. De igual forma no se debe plantar aquellas que sean huéspedes de enfermedades o retengan mucha humedad que promueva la roya.
- Investigación en medidas de mitigación y adaptación al cambio climático que afecta al cultivo de café. Una medida de adaptación es la creación de regadíos a partir de las aguas mieles que recircule el agua por la hacienda, por otra parte, una medida de Mitigación es cambiar las fuentes de combustibles tradicionalmente fósiles por otras alternativas o energías limpias. Se recomienda apuntar a medidas de mitigación como

políticas de protección o cambio tecnológico, ya que son estas las que mejoran otros aspectos de la vida de la humanidad que son susceptibles al cambio climático como los cultivos que las medidas de adaptación.

- Se recomienda el apoyo investigaciones similares en regiones diferentes a las realizadas a este estudio, sobre todo aquellas regiones que fueron azotadas por la violencia, para que se compruebe la factibilidad de siembra de café en estos lugares y se pueda llevar a cabo una sustitución de cultivos que beneficie a los campesinos afectados por el conflicto.

Referencias

- DNP-BID. (2014). *Impactos Económicos del Cambio Climático en Colombia*. Bogotá.
- GOBARAGON. (25 de 10 de 2017). *Aragon*. Obtenido de Aragon: http://www.aragon.es/DepartamentosOrganismosPublicos/Departamentos/DesarrolloRuralSostenibilidad/AreasTematicas/MA_CambioClimatico/ci.01_Cambio_climatico_calentamiento_global_efecto_invernadero.detalleDepartamento?channelSelected=afc736552883a210VgnVCM100
- Alcaldía de Socorro - Santander. (07 de 10 de 2015). *Alcaldía de Socorro - Santander*. Obtenido de Alcaldía de Socorro - Santander: http://www.socorro-santander.gov.co/Publicaciones_Municipio.shtml
- Amaya, M. S. (2013). *Actualización de los datos topográficos e implementación del plan de manejo ambiental en la Hacienda Majavita*. Socorro Santander: Ingeniera Ambiental.
- Baker, P. (04 de 08 de 2016). <http://www.laguiadelcafe.org/>. Obtenido de La guía del café: <http://www.laguiadelcafe.org/>
- Bello Cortés, C. A. (2013). *Uso de modelo de Aquacrop para estimar rendimientos para el cultivo de maíz en los departamentos de Córdoba, Meta, Tolima y Valle del cauca*. Cali: Ministerio de agricultura de Colombia & FAO.
- Biggs, H. H. (2012). Biología General. En W. C. Alton Biggs, *Biología* (págs. 119-120). Columbia: Mc graw Hill Education.
- Bluemink, E. (27 de June de 2016). *Alaska Dispatch News*. Obtenido de Alaska Dispatch News: <https://www.adn.com/economy/article/size-exxon-spill-remains-disputed/2010/06/06/>
- Bridgman, H., & Oliver, J. (2015). The climate system. En O. Bridgman, *The Global Climate System* (págs. 21-54). Londres: Cambridge University Press.

- Café de Colombia. (28 de 08 de 2015). *Café de Colombia al 100%*. Obtenido de http://www.cafedecolombia.com/bb-fnc-es/index.php/comments/el_nino_preve_mejores_niveles_de_cosecha_cafetera
- Cenicafé. (2008). *CALIDAD EN TAZA DE LAS VARIEDADES DE Coffea arabica L.* Chinchina, Caldas: Cenicafé.
- Cenicafé. (28 de 08 de 2015). *Cenicafé Centro Nacional de Investigaciones de Café*. Obtenido de http://www.cenicafe.org/es/index.php/quienes_somos/historia
- Cenicafé. (2016). Controle los flujos de café y agua en el módulo becolsab. *Avances Técnicos Cenicafé*, 1.
- Céspedes, E. (2012). *MONTAJE DEL LABORATORIO DE CALIDAD DE CAFÉ EN CAMPUS MAJAVITA UNIVERSIDAD LIBRE SECCIONAL SOCORRO*. Ingeniería Ambiental. Socorro Santander: Universidad Libre. doi:10.10025
- Céspedes, P. B. (2 de 12 de 2009). LA ROYA DEL CAFETO EN COLOMBIA: REALIZACIONES DE IMPACTO NACIONAL E INTERNACIONAL EN EL SIGLO XX. (UN, Ed.) *Revista Facultad Nacional de Agronomía UN, Vol.63 Número (1), 2*. doi:10.15446/rfnam
- CIAT. (2013). *Agricultura Colombiana: Adaptación al Cambio Climático Políticas en síntesis no.1*. Cali.
- Colón, R. (2016). *Fisiología vegetal*. Buenos Aires: Río de la Plata.
- Craig, J. R., Vaughan, D. J., & Skinner, B. J. (2014). *Recursos de la tierra*. Madrid: Pearson.
- DANE. (2005). «Resultados y proyecciones (2005-2020) del censo 2005».
- El País. (25 de 10 de 2017). *El País*. Obtenido de El País: https://elpais.com/diario/1994/10/26/sociedad/783126004_850215.html
- Engels, F. (1891). *El origen de la familia y la propiedad privada*. Bogotá: Panamericana.
- FAO. (2013). *Adaptación de la agricultura al cambio*. -: FAO.
- FAO. (2015). *Climate Change and Food Systems*. (A. Elbehri, Ed.) New York: Food and Agriculture Organization of the United Nations 2015.
- FAO. (2015). *Climate Smart Agriculture*. New York : Food and Agriculture Organization of the United Nations 2015.
- FAO. (11 de 10 de 2015). *FAO*. Obtenido de Aquacrop: <http://www.fao.org/aquacrop/overview/whatisaquacrop/en/>
- FAO. (2017). Aquacrop v 6.0. En FAO, *Chapter 3 Calculations procedures* (págs. 1-151). Rome: FAO publications.
- Federación Nacional de Cafeteros. (2010). *Producción Departamental y Municipal de Santander*. Bogotá: Federación Nacional de Cafeteros.
- Federación Nacional de Cafeteros. (2013). *Sistemas de producción de café en Colombia*. Bogotá D.C: Cenicafé publicaciones.

- Fernández, M. E. (2013). *Efectos del cambio climático en el rendimiento de tres cultivos mediante el uso del Modelo Aquacrop*. BOGOTÁ: IDEAM.
- Figuerelo, D., & Dávila, M. (2009). *Química-Física Del Ambiente y de los Procesos Medioambientales*. Barcelona: Reverté.
- FMJ. (2009). *Gestión Integral Hacia la Calidad del Café Módulo: Agroecología del cultivo del café. ¿Cómo mejoro los sistemas de producción del café en la finca para garantizar su calidad?* Bogotá: MANUEL MEJIA.
- Foro mundial de productores de café. (2017). *Nuevos retos S XXI*. Bogotá.
- Fundación Española para la ciencia y la tecnología. (2004). *Unidad Didáctica Meteorología y climatología*. Madrid: FECYT.
- Gómez, J. C. (9 de 10 de 2015). *Banco de la República Biblioteca Virtual*. Obtenido de Banco de la República Biblioteca Virtual: www.banrepubvirtual.com
- Greenpeace. (2012). *El artículo la última frontera*. Madrid: greenpeace. Obtenido de http://www.greenpeace.org/espana/Global/espana/report/cambio_climatico/elartico2012web2.pdf
- Hernandez Sampieri, R. (2005). *Metodología de la investigación*. Ciudad de México: McGraw Hill Educación.
- ICA. (09 de 10 de 2015). *ica instituto Colombiano Agropecuario*. Obtenido de ica instituto Colombiano Agropecuario: <http://www.ica.gov.co/Normatividad/Normas-nacionales/Decretos.aspx?aliaspath=%2fNormatividad%2fNormas-nacionales%2fDecretos&searchtext=caf%C3%A9>
- IDEAM. (2007). El medio ambiente en Colombia. En J. D. Pabón, J. Zea, & G. León, *La atmósfera, el tiempo y el clima* (págs. 35-85). Bogotá: ideam.
- IDEAM. (2010). *Clasificaciones Climáticas de Colombia*. Bogotá: IDEAM.
- IDEAM. (4 de 09 de 2015). *IDEAM*. Obtenido de IDEAM: <http://www.ideam.gov.co/solicitud-de-informacion>
- IDEAM. (2016). *Nuevos escenarios para el cambio climático*. Bogotá: 3ra comunicación nacional de cambio climático.
- IGAC. (31 de 03 de 2017). *Red pasiva Magna Sirgas*. Obtenido de Instituto Agustín Codazzi: http://www.igac.gov.co/wps/portal/igac/raiz/iniciohome/TramitesServicios/FueraDeServicio!/ut/p/c4/04_SB8K8xLLM9MSSzPy8xBz9CP0os3hHT3d_JydDRwN3A083A08jJ1MDlxBXYwsnE_2CbEdFAGrs9jg!/?WCM_PORTLET=PC_7_AIGOB1A0G0IF0I2B50DTE38R4_WCM&WCM_GLOBAL_CONTEXT=/wps/wcm
- IPCC - OMM. (2014). *Cambio Climático Impactos, Adaptación y vulnerabilidad*. Zúrich: OMM PNUMA.
- IPCC, WMO, PNUMA. (2014). *Climate Change Impacts, Adaptations and Vulnerability Part A and Part B*. Washington D.C: IPCC 2014.

- Krivoruchko, K. (2013). *Geostatics for environmental applications*. Valencia España: Kluwer academic publishers.
- Leskinen, P. (2012). *Environmental Social Sciences: Methods and Research Design*. Londres: Cambridge.
- Manahan, S. (2012). Química Ambiental. En S. Manahan, *Las cinco esferas ambientales* (págs. 3-5). Ciudad de México: Reverté UNAM.
- Marin, H. A. (2011). Diagnóstico global de la situación ambiental producción de café orgánico Café Majavita. *Universidad de Manizales*.
- Mayra Alejandra Hernandez Bautista, H. A. (2012). *Evaluación del tratamiento de lixiviado de pulpa de café con destilación y evaporación mediante concentradores solares parabólicos en la Hacienda Majavita*. Socorro: Ingeniera Ambiental.
- Meadows, D. H., & Randers, J. (1972). *The limits to grow (5th ed)*. New york: Universe book new york.
- Megh Raj Goyal, V. H. (2011). *Elementos de agroclimatología*. Santa rosa de cabal: UNIVERSIDAD DE SANTA ROSA DE CABAL.
- Mihelic, J. R., & Zimmerman, J. B. (2013). *Enviornmental Engineering , Fundaments , Sustentability , Design*. New Jersey, USA: John Wiley & Sons, Inc.
- Monsalve, H. B. (2012). *Café Orgánico Una experiencia Colombiana*. Socorro Santander: Universidad libre.
- Nieto Arteta, L. E. (2009). *El café en la sociedad Colombiana Ed 21*. Bogotá: La oveja negra.
- NOAA. (2017). *Cold & Warm Episodes by Season*. Washington DC: NOAA Publications.
- Oceanography, S. (28 de 08 de 2015). *Aragon Valley*. Obtenido de Aragon Valley: <http://www.aragonvalley.com/oficial-el-aire-en-la-tierra-es-ya-como-el-de-un-recinto-cerrado/>
- PNUD & UNDP. (2 de 01 de 2017). <http://www.undp.org>. Obtenido de <http://www.undp.org>: <http://www.undp.org/content/undp/es/home/sustainable-development-goals.html>
- PUND, & IDEAM. (2015). *Nuevos escenarios de cambio climático para Colombia 2011 a 2100*. Bogotá: Comunicación nacional.
- Samuelson, P. (2015). *Economía con aplicaciones a Latinoamerica*. Ciudad de México: Mac graw hill Educacion.
- Sanmiguel, E. M. (2013). *De los cafés especiales*. Sede Socorro: Universidad Libre.
- Santos, J. &. (2012). *Balance de café arabica y variedad caturra*. Medellín: Cenicafé.
- Seonaez, M. C. (2006). *Tratado de climatología para ingeniería medioambiental*. Barcelona: Mundiprensa.
- Silva, H. Y. (2012). *Actualización a las normas Rain Forest , orgánico y UTZ para cafés especiales en la Hacienda Majavita*. Socorro, Santander.

- Triola, M. F. (2013). *Estadística*. Ciudad de México: Pearson.
- UNFAO (Dirección). (2016). *Aquacrop Training* © FAO [Película].
- UNIOVIEDO. (26 de 10 de 2016). <http://www6.uniovi.es/>. Obtenido de <http://www6.uniovi.es/~feli/CursoMDT/Tema1/Page16.html>: <http://www6.uniovi.es/~feli/CursoMDT/Tema1/Page16.html>
- Vega, H. A. (2010). *Alternativa de manejo para los subproductos del beneficio ecologico MasBek Colombia*. Socorro: Centauro.
- Wilks. (2006). *STATICAL METHODS IN THE ATMOSPHERIC SCIENCES*. Oxford: Elsevier.
- WMO. (2010). *Cambio climatico y desertización* (Vol. 1). New York: WMO.
- Yara Colombia. (2016). *Basic Nutriments*. Washington.
- Yoo, Y. S. (2012). *The potential impacts of global climate change on United States agriculture*. Austin, Texas: Proquest.
- Zea Mazo, J. A. (2002). *"Estudio Sobre el Fenómeno "El Niño"*. Bogota: UN.
- Zuñiga, I. L., & Arco, E. C. (2010). *Meteorología y climatología. España: UNED - Universidad Nacional de Educación a Distancia*. Madrid: Pearson Uned.

Anexos

Anexo 1

Información climatológica de las diversas estaciones usadas en este proyecto si el lector o la lectora así lo desean pueden descargar para observar utilizar si así lo desea en la siguiente, copie el link en navegador Google Chrome y descargue los datos. https://drive.google.com/drive/folders/0B7NV_sxMO5DxUE5DYTJSbDFEQnc



O bien puede dirigirse al siguiente código Qr

Y descargar los archivos y abrirlos como archivos de texto. Estos archivos están en formato de texto debido a que los archivos de Excel ocupan un espacio considerable sin embargo se presentan las regresiones realizadas con curvas de dobles masas, este método consiste básicamente en generar una estación patrón que tenga un coeficiente de correlación alto y con la ecuación generada completar los datos faltantes, la ecuación puede presentar formas logarítmicas en algunos casos o lineales en otros. Las curvas de dobles masas también multiplican por un delta o cambio, la idea es mirar en que día, mes o año hay un cambio con respecto a la estación patrón y multiplicar por el delta de cambio para ajustarla y que su coeficiente sea $r = 0,80$ o superior. Las estaciones están organizadas de esta manera en el mismo archivo de texto. En el archivo Excel se encuentran de otro orden.

- 1- HDA MAJAVITA UL [24015370]
- 2- SOCORRO [24010780]
- 3- SIMACOT[24010660]
- 4- CEIBA LA [24017640]
- 5- PALMAR EL [24050080]
- 6- SUAITA (Federación nacional de cafeteros Agroclima)

Las estaciones presentes se utilizaron para evaluar todas las condiciones de la región. Para evaluar la especificidad del cultivo en la Hacienda Majavita se utilizaron las estaciones lo más posiblemente cercanas a la zona debido a que la estación de Berlín no estaba funcionando y la de Morros de igual forma no estaba sirviendo. La estación Majavita del IDEAM y SUAITA de la federación nacional de cafeteros. <http://agroclima.cenicafe.org/resumen-diarios> CUCHARO EL [24025020]. En este caso se presentan ejemplos de precipitación para la estación de Simacota. El llenado de datos se realizó utilizando métodos normales, curvas de dobles masas a partir de una estación patrón así como métodos estadísticos como interpolación de Gandini, regresiones lineales y múltiples basadas en curvas de dobles masas a partir de una estación patrón.

Los ANOVAS se realizaron en Excel, si desea comprobar remítase a opciones , complementos , ir a complementos de Excel luego se instalarán los complementos de las opciones de Análisis de datos , existen varios Análisis de varianza, principalmente son análisis de varianza de uno de dos factores.

Anexo 2

A continuación se dan a conocer los datos de producción de café castillo en el municipio de Socorro Santander y el porcentaje de otras variedades. Estos datos fueron graficados en el capítulo 7 por favor remitirse a este para ver la gráfica resultante, los datos fueron tomados de los históricos de producción, de la federación nacional de cafeteros, la producción está en miles de sacos. Ejemplo Para Enero de 1970, La producción nacional fue de 426000 sacos de café

verde equivalente (Café de cosecha) , Para el municipio de Santander 23000 sacos y para el municipio de Socorro 2793 solo en ese mes.

Miles de sacos de café 60 kg cps Santander Socorro



Para ver los volúmenes de producción remítase al código qr o al siguiente link.

https://drive.google.com/drive/folders/0B7NV_sxMO5DxUE5DYTJSbDFEQnc

Anexo 3

A continuación, se presentan los mapas que fueron elaborados con el propósito de ubicar al lector y mostrar donde fue realizado el proyecto, dan detalle de los mostrados anteriormente. Se muestran mapas de evaporación, temperatura y pluviometría a través de las diferentes décadas que fueron estudiadas. Se igual forma mapas de escenario futuro de precipitación y temperatura para el municipio y sus alrededores según índices de aumento de temperatura y disminución de precipitación del informe de escenarios de cambio climático para Colombia y el departamento de Santander así como sus municipios.

MAPA DE MUNICIPIO SOCORRO SANTANDER COLOMBIA CON SUS VEREDAS





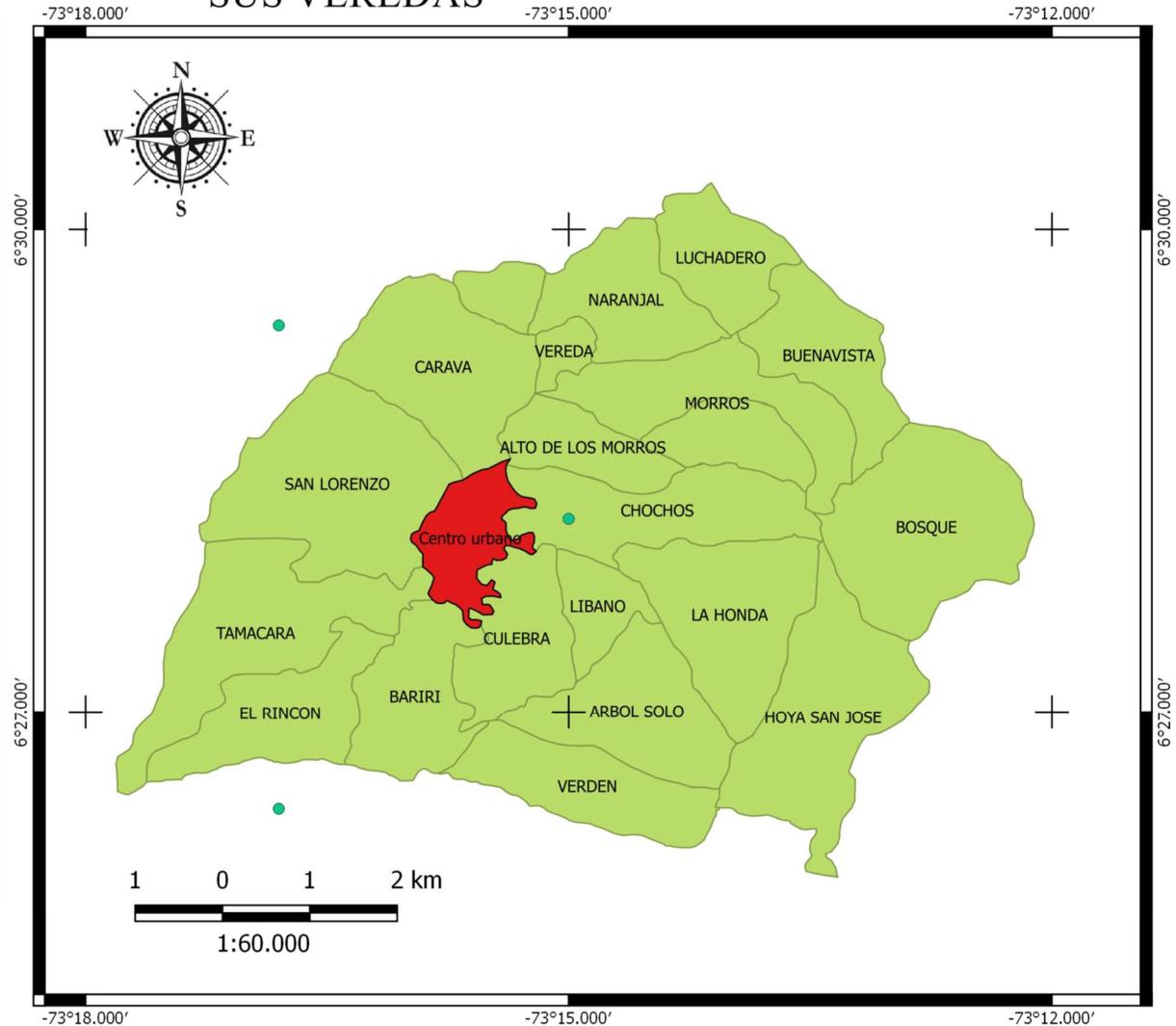
Convenciones

- Estaciones
- Zona urbana
- Veredas

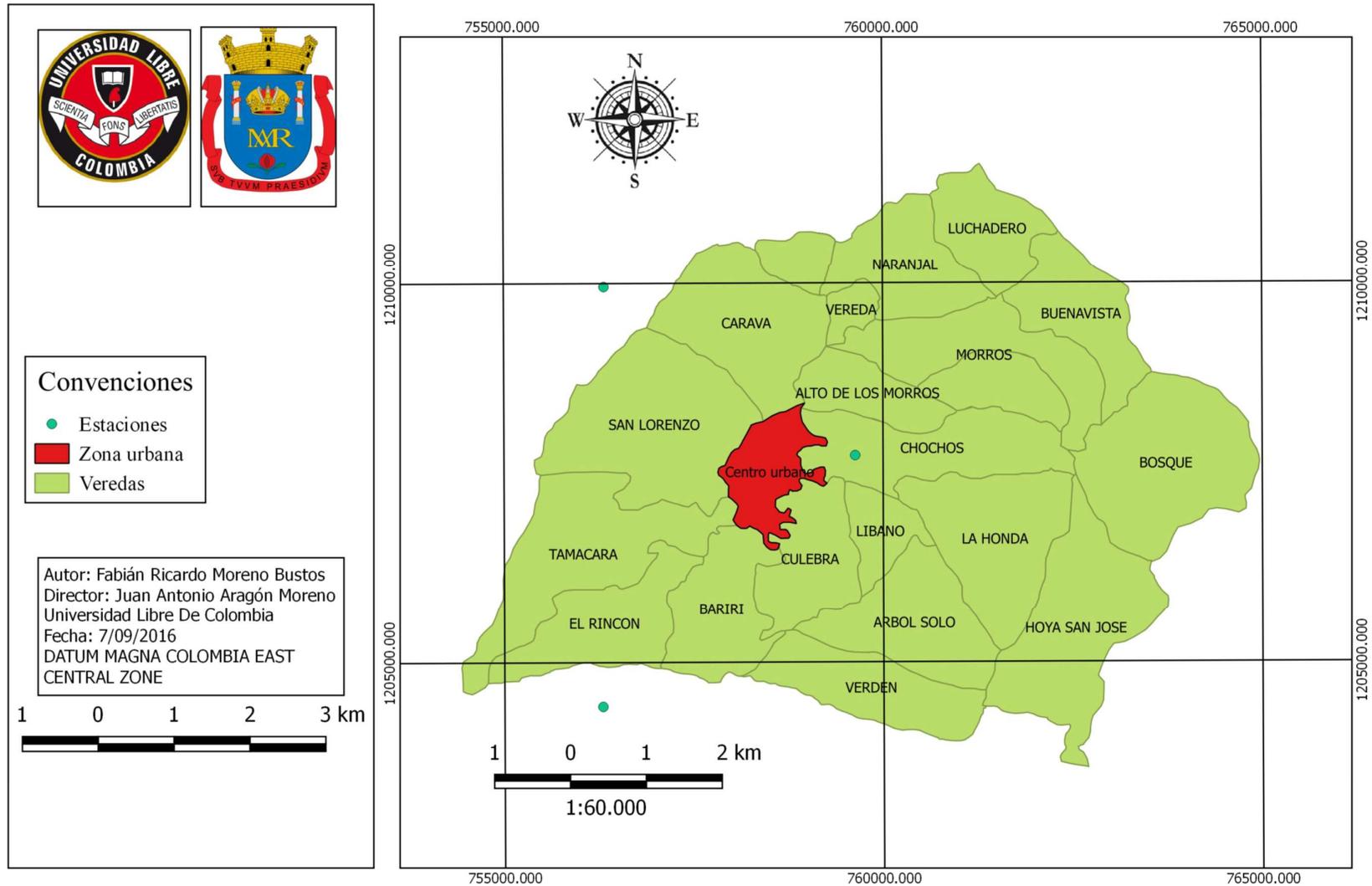
Autor: Fabián Ricardo Moreno Bustos
Director: Juan Antonio Aragón Moreno
Universidad Libre De Colombia
Fecha: 7/09/2016

1 0 1 2 3 km

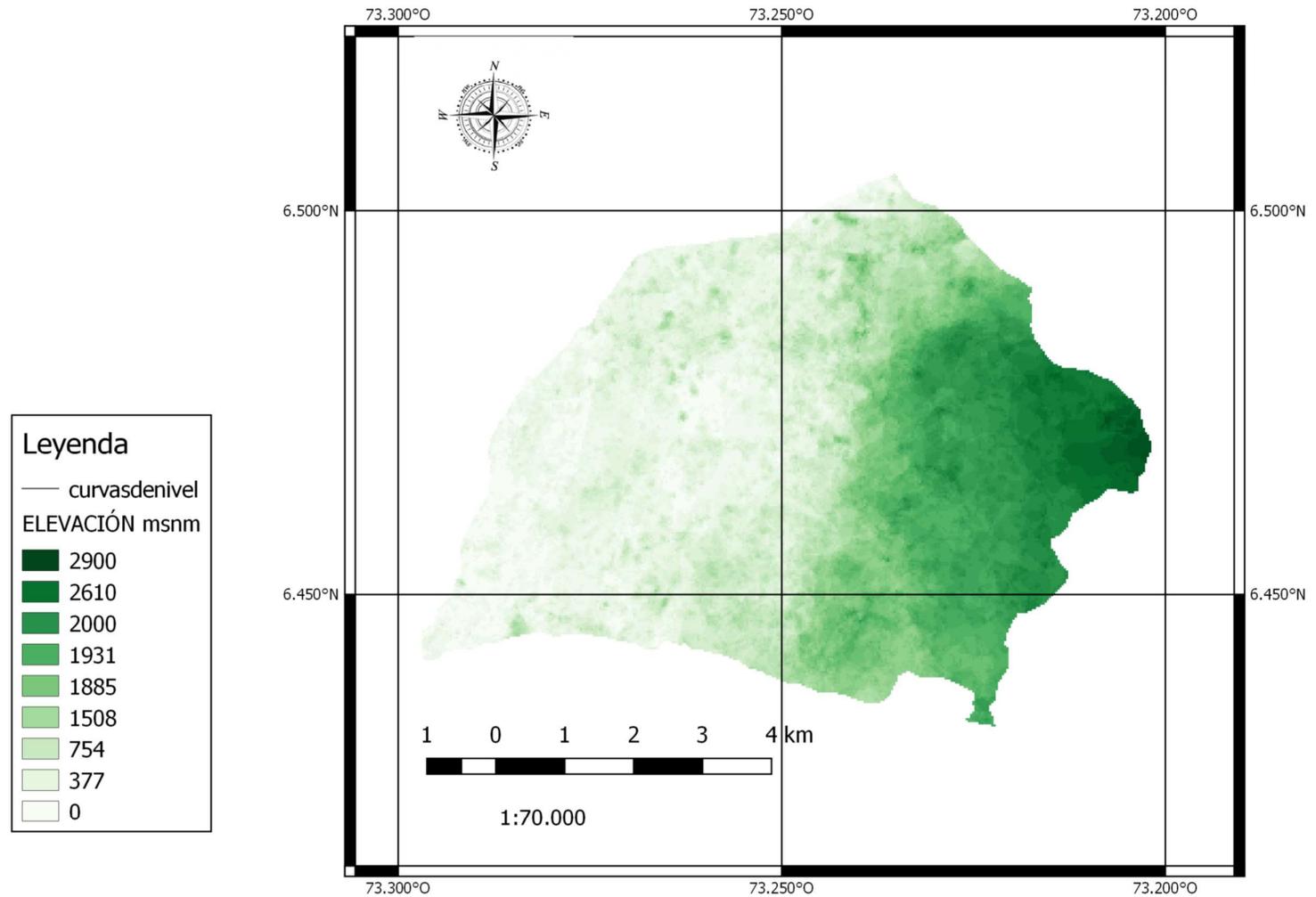




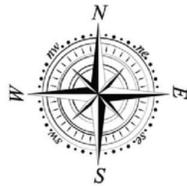
MAPA DE MUNICIPIO SOCORRO SANTANDER COLOMBIA CON SUS VEREDAS



MAPA DE ELEVACIÓN DEL MUNICIPIO DE SOCORRO



MAPA DE EMISIVIDAD DE 1970 SOCORRO SANTANDER

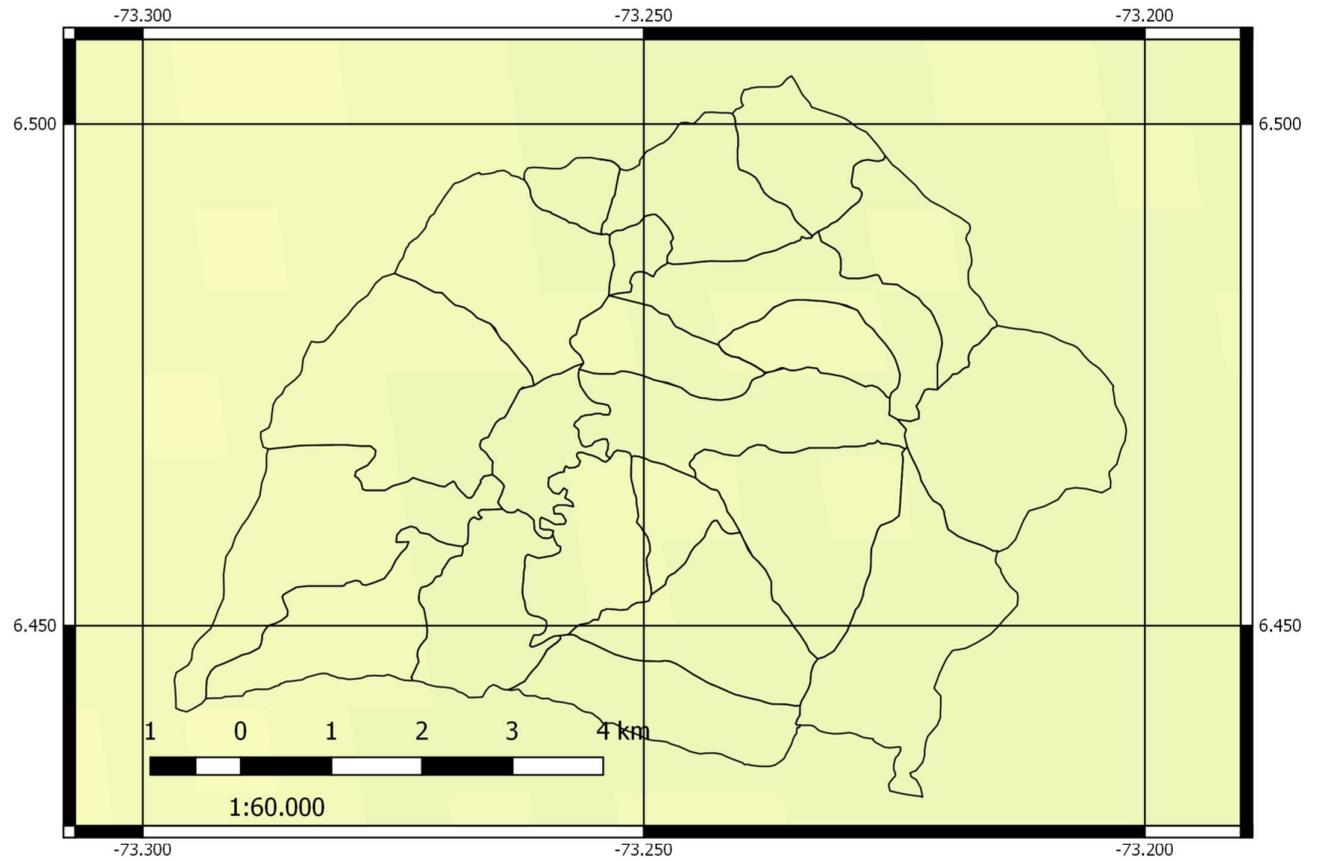


Leyenda

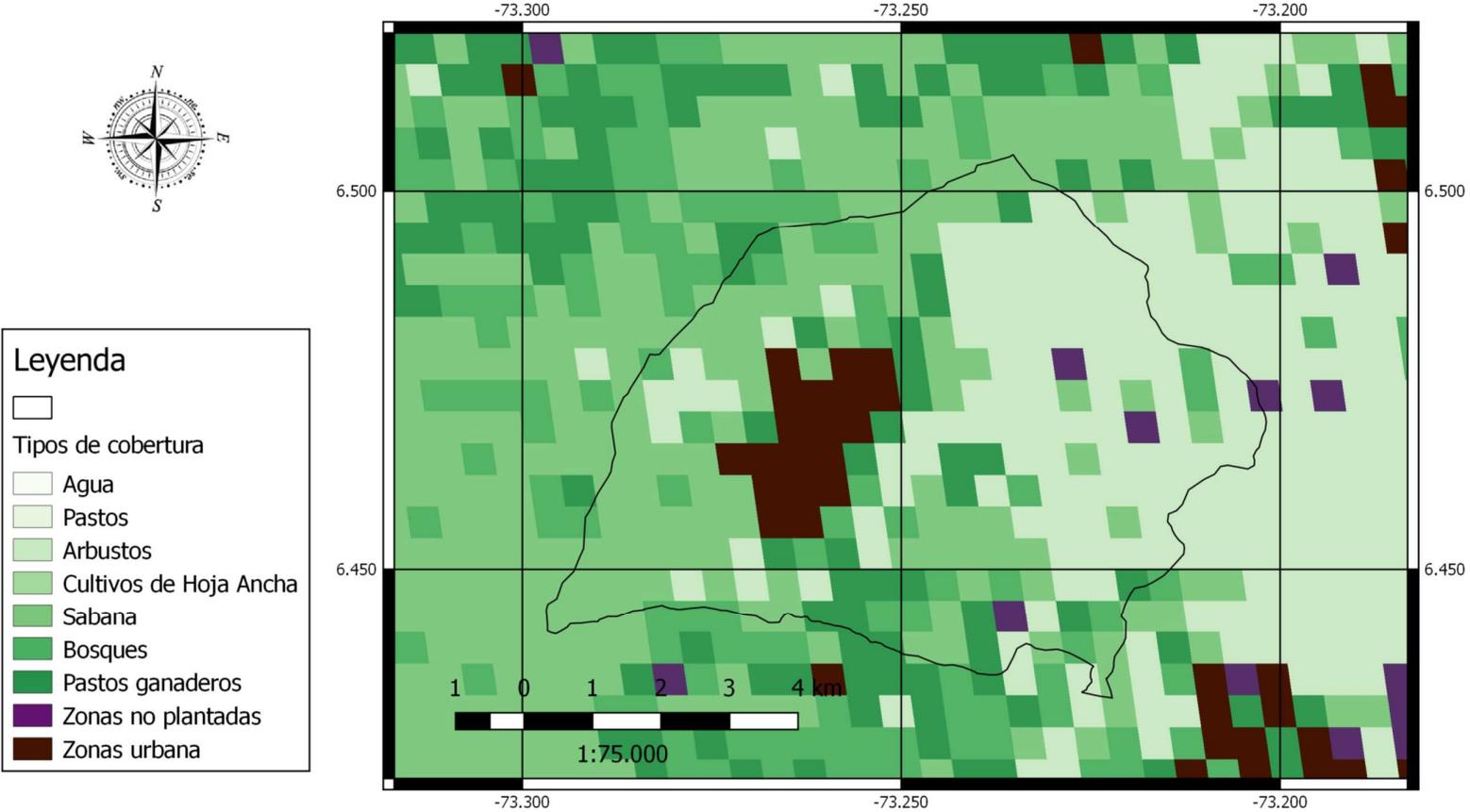
□ Veredas

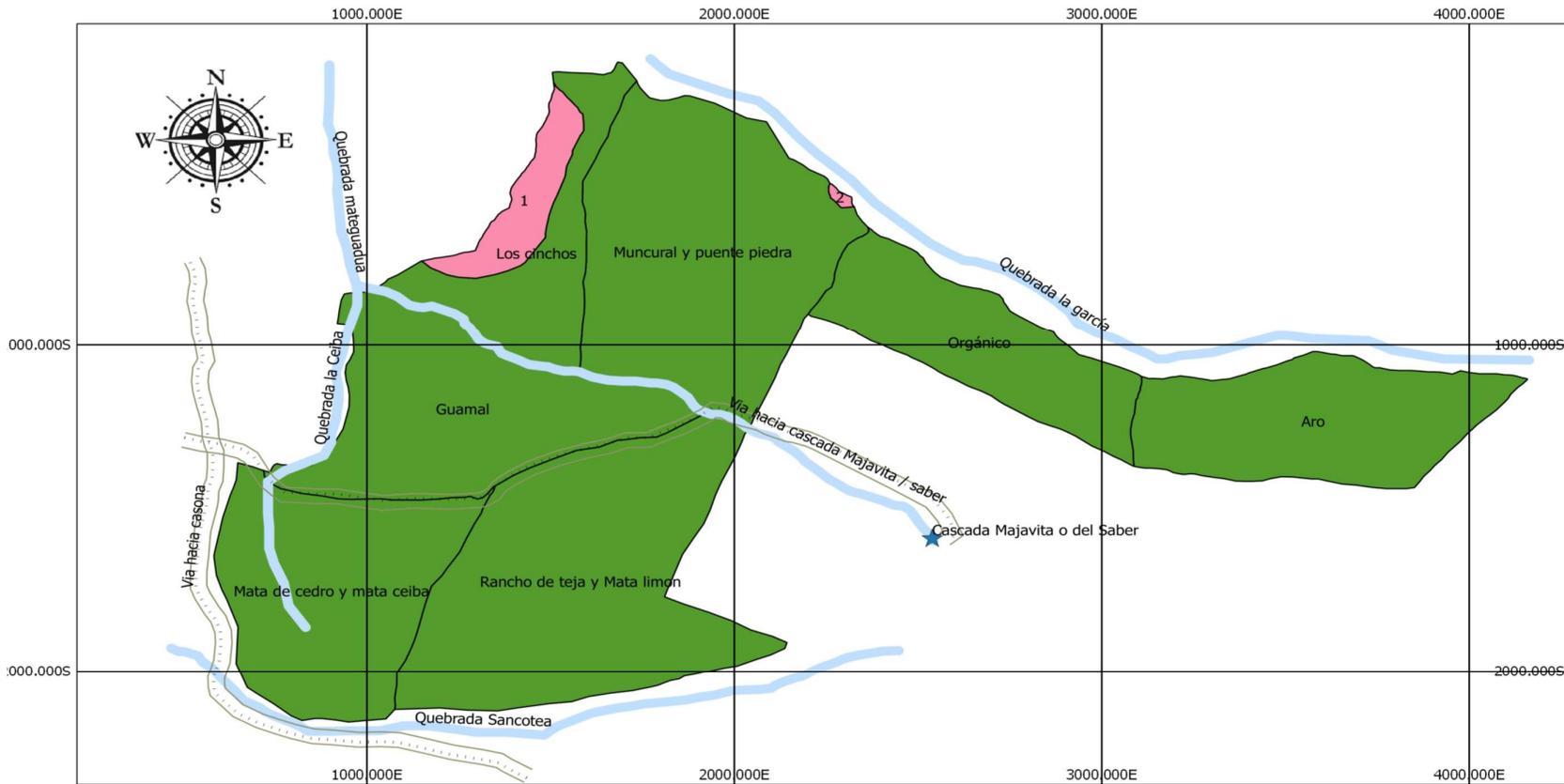
PORCENTAJE DE EMISIVIDAD

- -30.000000
- -13.250000
- 3.500000
- 20.250000
- 37.000000

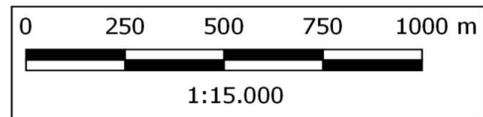


MAPA DE COBERTURA DE SUELO SOCORRO SANTANDER





MAPA HACIENDA MAJAVITA
 TOTAL 17.37 HECTAREAS
 ELABORADO POR: FABIÁN RICARDO MORENO BUSTOS
 DIRECTOR: JUAN ANTONIO ARAGÓN MORENO
 UNIVERSIDAD LIBRE SEDE BOGOTÁ DC
 FECHA: 4/11/2016



Leyenda

- ★ Cascada
- via
- rios
- Erosión
- MAJAVITA

MAPA DE ESTACIONES METEOROLOGICAS ESCOGIDAS

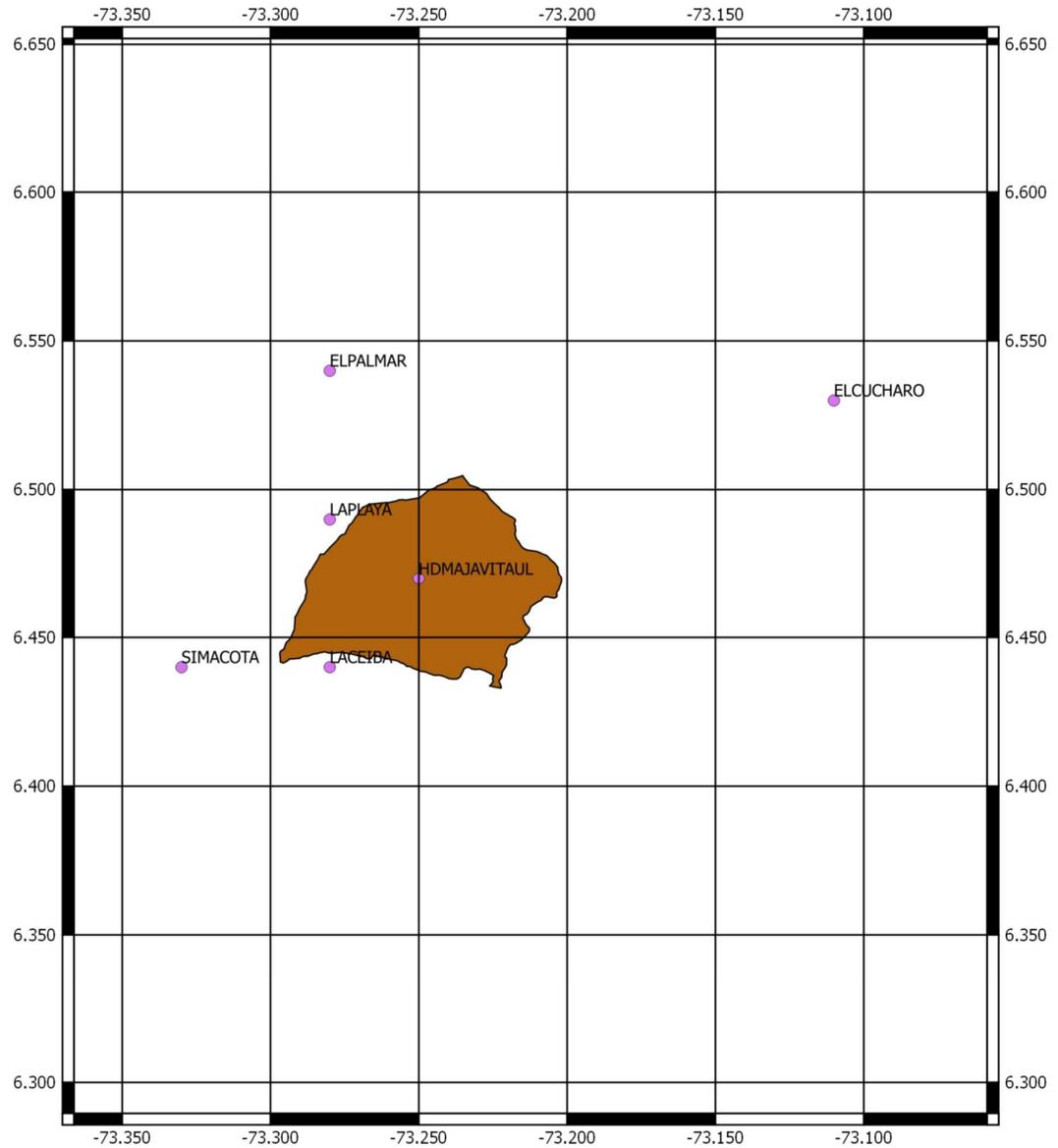


Leyenda

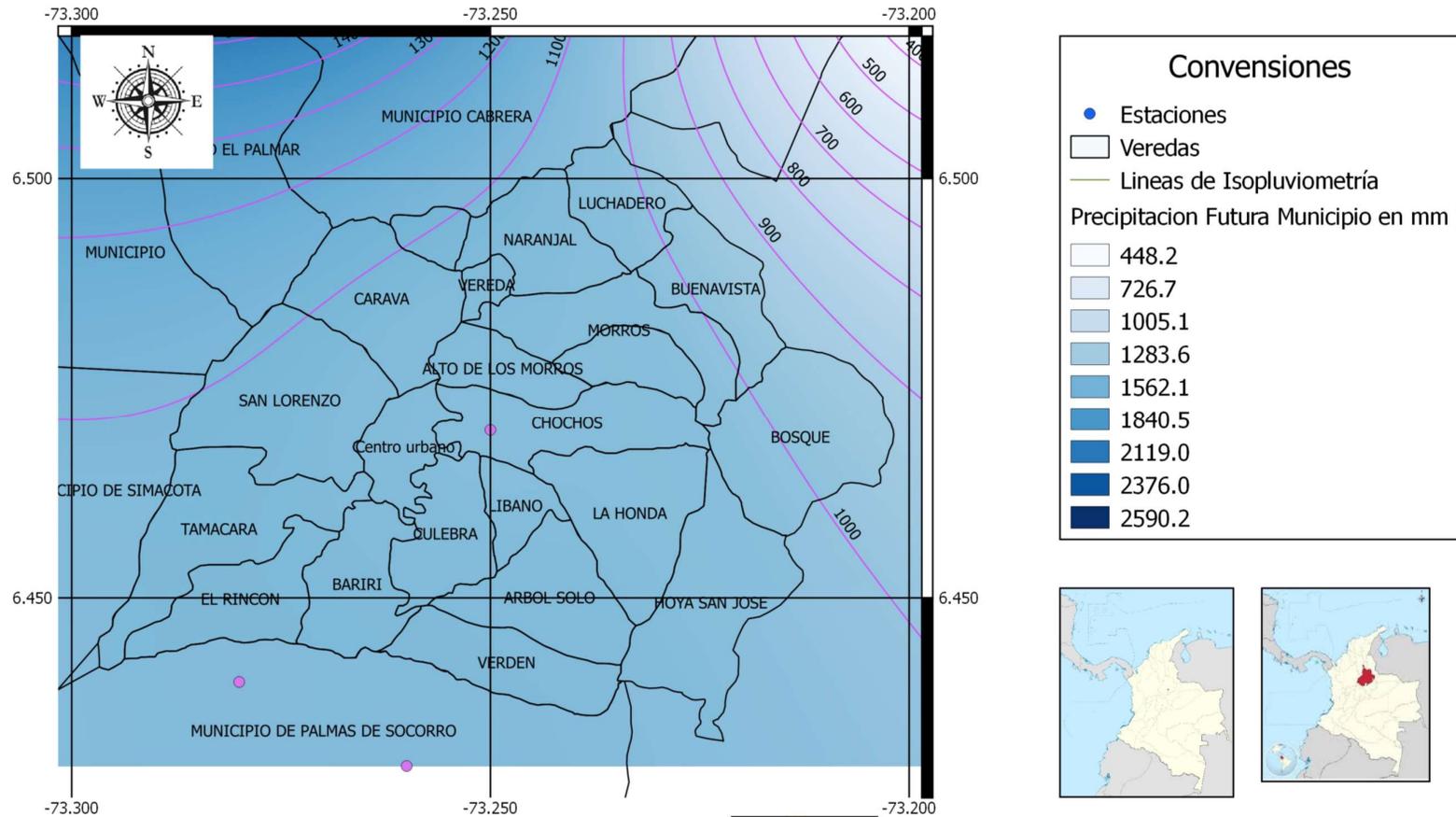
- ESTACIONES
- CONTORNO

ID	ESTACION	LONGITUD	LATITUD	ELEVACION
1	HDMAJAVITAU	-73.25	6.47	1382
2	SIMACOTA	-73.33	6.44	1050
3	LACEIBA	-73.28	6.44	900
4	LAPLAYA	-73.28	6.49	595
5	ELPALMAR	-73.28	6.54	940
6	ELCUCHARO	-73.11	6.53	975

1:200.000



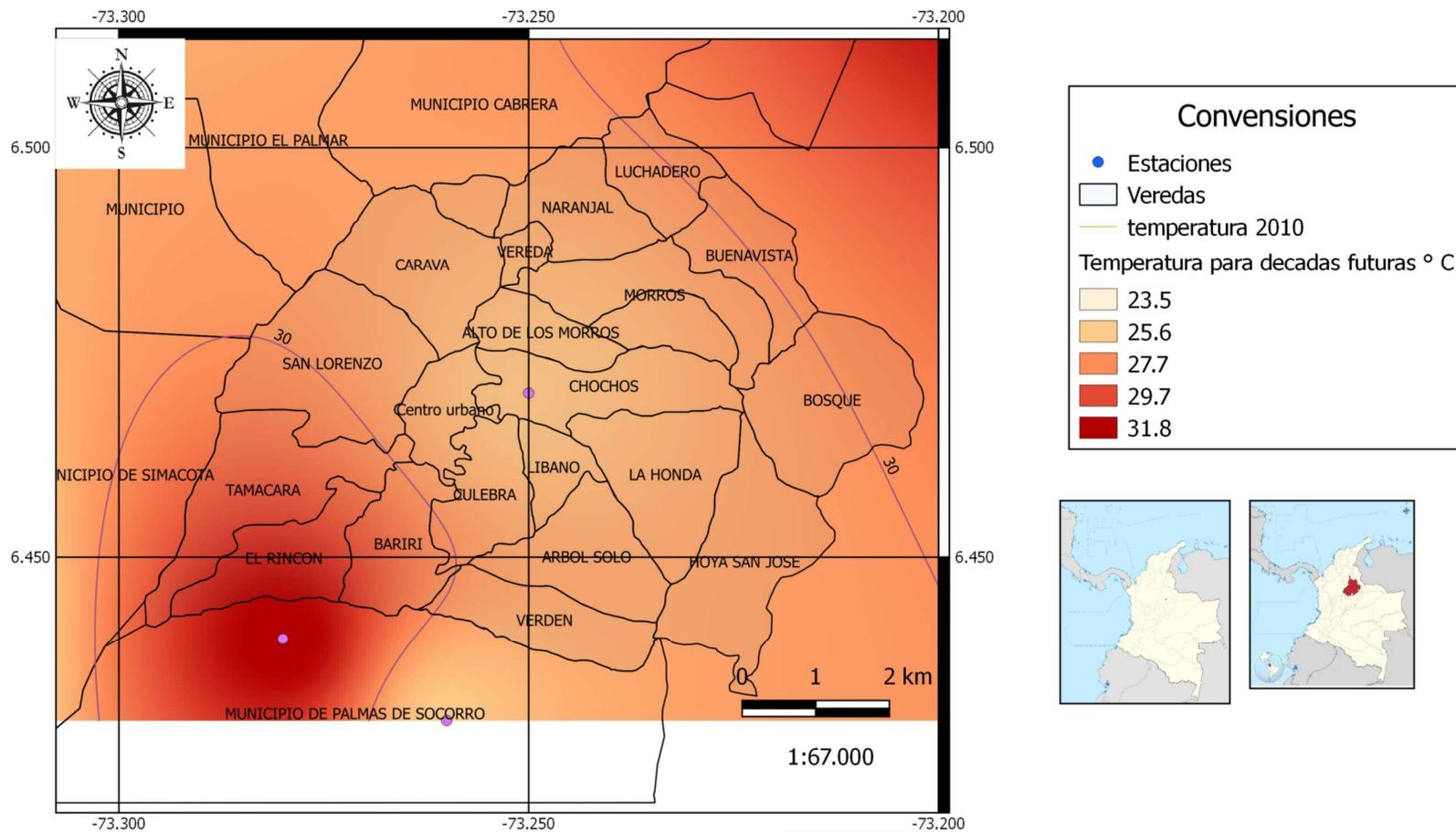
Mapa de Precipitación Municipio de Socorro Futuro



AUTOR: FABIÁN RICARDO MORENO BUSTOS
 DIRECTOR: JUAN ANTONIO ARAGÓN MORENO
 UNIVERSIDAD LIBRE DE COLOMBIA
 SEDE BOSQUE POPULAR
 FECHA : 29/07/2017



Mapa de Temperatura Municipio de Socorro para decadas futuras



AUTOR: FABIÁN RICARDO MORENO BUSTOS
 DIRECTOR: JUAN ANTONIO ARAGÓN MORENO
 UNIVERSIDAD LIBRE DE COLOMBIA
 SEDE BOSQUE POPULAR
 FECHA : 29/07/2017



