

**FORMULACIÓN DE ESTRATEGIAS DE ADAPTACIÓN AL CAMBIO
CLIMÁTICO PARA LOS SISTEMAS PRODUCTIVOS AGROALIMENTARIOS
DEL MUNICIPIO DE FACATATIVÁ.**

DANIEL ARMANDO ROBLEDO BUITRAGO

TRABAJO DE GRADO

UNIVERSIDAD DE MANIZALES

**FACULTAD DE CIENCIAS CONTABLES, ECONÓMICAS Y
ADMINISTRATIVAS**

MAESTRIA EN DESARROLLO SOSTENIBLE Y MEDIO AMBIENTE

MAYO DE 2021

**FORMULACIÓN DE ESTRATEGIAS DE ADAPTACIÓN AL CAMBIO
CLIMÁTICO PARA LOS SISTEMAS PRODUCTIVOS AGROALIMENTARIOS
DEL MUNICIPIO DE FACATATIVÁ.**

DANIEL ARMANDO ROBLEDO BUITRAGO

**Ing. Ambiental. Candidato a Magíster Scientiae en Desarrollo Sostenible y Medio
Ambiente**

**Trabajo de Grado presentado como requisito parcial para optar al título de Magíster
Scientiae en Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente**

Director

Manuel Francisco Polanco Puerta PhD.

UNIVERSIDAD DE MANIZALES

**FACULTAD DE CIENCIAS CONTABLES, ECONÓMICAS Y
ADMINISTRATIVAS**

MAESTRIA EN DESARROLLO SOSTENIBLE Y MEDIO AMBIENTE

MAYO DE 2021

CONTENIDO

RESUMEN EJECUTIVO	6
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	7
1.1. PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN.....	8
2. OBJETIVOS.....	9
2.1. OBJETIVO GENERAL.....	9
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	9
3. JUSTIFICACIÓN.....	9
4. MARCO TEÓRICO.....	11
4.1. VARIABILIDAD Y CAMBIO CLIMÁTICO	11
4.1.1. Cambio climático.....	11
4.1.2. Variabilidad climática en Colombia.....	11
4.2. SISTEMAS AGROALIMENTARIOS.....	12
4.3. IMPACTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LA AGRICULTURA MUNDIAL 13	
4.3.1. Rendimiento y productividad de cultivos.....	14
4.3.2. Seguridad alimentaria.....	15
4.4. ADAPTACIÓN DE LA AGRICULTURA ANTE EL CAMBIO CLIMÁTICO. 15	
4.4.1. Adaptación basada en comunidades (AbC).....	15
4.4.2. Adaptación basada en ecosistemas (AbE).....	16
5. METODOLOGÍA	16
5.1. DISEÑO CONCEPTUAL:	16
5.2. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS.....	17
5.3. POBLACIÓN Y MUESTRA.....	17
5.4. FUENTES DE INFORMACIÓN	18
5.5. ANÁLISIS DE DATOS.....	19
5.6. DISEÑO PROCEDIMENTAL:	19
6. RESULTADOS Y ANÁLISIS.....	24
6.1. CLIMATOLOGÍA DE FACATATIVÁ.....	24
6.2. TENDENCIAS DE CAMBIO CLIMÁTICO EN EL MUNICIPIO DE FACATATIVÁ.....	37

6.3. EFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LA AGRICULTURA DEL MUNICIPIO DE FACATATIVÁ	42
6.3.1. Caracterización de la agricultura en Facatativá.....	42
6.3.2. Percepción e impacto del cambio climático.	44
6.4. ESTRATEGIAS DE ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO EN EL MUNICIPIO DE FACATATIVÁ	47
6.4.1. Adaptación implementada	47
6.4.2. Propuesta de estrategias de adaptación.....	49
7. CONCLUSIONES	57
8. REFERENCIAS	60

Lista de Figuras

Figura 1 Ubicación de zona de estudio y red de estaciones hidrometeorológicas utilizada. Fuente: Autor con base en CAR, 2021; IDEAM, 2021.....	20
Figura 2 Distribución espacial de encuestas realizadas. Fuente: Autor.	23
Figura 3 Comportamiento geográfico de la precipitación total anual (mm/año) en Facatativá. Fuente: Autor.	25
Figura 4 Comportamiento geográfico de la temperatura media, máxima y mínima anual (°C) en Facatativá. Fuente: Autor.....	26
Figura 5 Comportamiento interanual de la precipitación en las estaciones de estudio. Fuente: Autor.....	27
Figura 6 Comportamiento interanual de la temperatura media en las estaciones de estudio. Fuente: Autor.....	28
Figura 7 Comportamiento interanual de la temperatura mínima en las estaciones de estudio. Fuente: Autor.....	29
Figura 8 Comportamiento interanual de la temperatura máxima en las estaciones de estudio. Fuente: Autor.....	29
Figura 9 Variación mensual de la precipitación en Facatativá. Fuente: Autor.....	30
Figura 10 Variación mensual de la temperatura media en Facatativá. Fuente: Autor.....	31
Figura 11 Variación mensual de la temperatura mínima en Facatativá. Fuente: Autor.	32

Figura 12 Variación mensual de la temperatura máxima en Facatativá. Fuente: Autor.	33
Figura 13 Tendencia de la temperatura media, máxima y mínima anual (C/Año) en el municipio de Facatativá. Fuente: Autor.	40
Figura 14 Tendencia de la variación de la precipitación total anual (mm/año) en el municipio de Facatativá. Fuente: Autor.	41
Figura 15 Unidades productivas por sistemas agroalimentarios en Facatativá.....	44
Figura 16 Niveles de pérdidas relativos por sistema productivo agroalimentario Fuente: Autor.....	45
Figura 17 Esquema de propuesta de Zanjias de infiltración. Fuente: Autor.	51
Figura 18. Esquema de propuesta de Mulching o acolchado orgánico. Fuente: Autor.....	53
Figura 19 Esquema de Propuesta cosecha de agua con vivienda. Fuente: Autor.....	55
Figura 20 Esquema de propuesta cosecha de agua complementada con zanjias de infiltración. Fuente: Autor.	55
Figura 21 Esquema de propuesta policultivo – agroforestería. Fuente: Autor.....	57

Lista de tablas

Tabla 1 Estaciones hidrometeorológicas usadas	20
Tabla 2 Balance hídrico estación Base aérea Madrid.....	35
Tabla 3 Balance hídrico estación Sabaneta	35
Tabla 4 Balance hídrico estación Granja Providencia.....	36
Tabla 5 Balance hídrico estación Venecia.....	36
Tabla 6 Balance hídrico estación La Primavera	37
Tabla 7 Tendencias de temperatura y precipitación en estaciones de Facatativá y municipios circundantes	39

RESUMEN EJECUTIVO

La presente investigación tiene como finalidad formular estrategias de adaptación a los impactos producidos por el cambio climático en el municipio de Facatativá, Cundinamarca; El cambio climático consiste en una modificación del comportamiento promedio del clima durante un largo periodo de tiempo, generado por fenómenos naturales o causas antropogénicas, este cambio tiene un importante impacto en las variables climáticas como temperatura y precipitación a nivel mundial, siendo la agricultura una de las actividades con mayor perturbación a causa de ello, por lo cual se deben establecer mecanismos de adaptación en los territorios. Los mecanismos de adaptación se dividen en dos grupos principales, la adaptación basada en comunidades, en la cual se hace aprovechamiento de la cultura, saberes y experiencias de los integrantes de la comunidad, y la adaptación basada en ecosistemas, que es un proceso en el cual se aprovechan los servicios ecosistémicos para mitigar los efectos adversos de la variación y cambio del clima. Se analizaron las variables climáticas de precipitación, temperatura, humedad relativa, velocidad del viento y brillo solar de estaciones climatológicas del IDEAM y la Corporación autónoma regional de Cundinamarca, que rodean el municipio de Facatativá, encontrando una temperatura media de 12.5 °C, precipitación de 922 mm/año y un régimen bimodal con déficit hídrico de julio a septiembre y de enero a febrero, con lo cual se generaron mapas de la distribución espacial y temporal de temperatura y precipitación mediante un sistema de información geográfica. A continuación, se realizó la determinación de las tendencias a fin de conocer y pronosticar el comportamiento de las variables climáticas, presentando tendencias al alza de temperatura media de hasta 0.3 °C/10 años y alza en la precipitación de hasta 12 mm/año, con esta información se construyeron los respectivos mapas, esto fue complementado con una encuesta de percepción de los agricultores locales sobre el clima y los impactos que ha tenido sobre sus cultivos, en donde la comunidad comentó que se han visto afectados por el cambio climático por medio de eventos más extremos, proliferación de plagas y déficit hídrico. A partir de ello se procedió a realizar consulta en artículos e informes técnicos sobre estrategias usadas a nivel mundial, así mismo se indagó con los agricultores locales de mecanismos de adaptación que han implementado o que tengan en sus conocimientos, ambas estrategias se ajustaron según el análisis de las variables climáticas, así como a las

características propias del territorio, proponiendo estrategias como el mulching, la cosecha de agua, sistemas de policultivos y zanjas de infiltración, que permiten una gestión del agua más adecuada, así como reducir las pérdidas por la evapotranspiración.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El clima está cambiando, este cambio viene impactando la producción de alimentos a nivel mundial (Lobell et al., 2011, citado por Eitzinger et al., 2012), esta es una situación que además de que ya está ocurriendo podría ser irreversible (IPCC, 2013).

Esto se ha hecho evidente a nivel global con el cambio de los regímenes de precipitación, así como el incremento en las temperaturas, esto tiene impacto directo sobre el rendimiento de los cultivos, e impactos indirectos como las variaciones de disponibilidad de agua para riego, proliferación de plagas y enfermedades (problemas fitosanitarios), cambios en los ciclos vegetativos de las plantas y pérdidas de fertilidad de suelos, lo que además pone en riesgo la seguridad alimentaria (Fernandez, 2013; FAO, 2009).

Por consiguiente, la reducción en el rendimiento de los cultivos (hablando específicamente de sistemas agroalimentarios), producida por el cambio climático generaría encarecimiento del precio de los alimentos, esto provoca la reducción en la cantidad de alimentos adquiridos por persona; si hablamos de familias campesinas, puede verse decaída la seguridad alimentaria, lo que trae un peligro en los medios de vida principalmente de pequeños agricultores, que sobreviven de un sistema de autoconsumo, lo que hará de la agricultura una actividad insostenible (Eitzinger et al., 2012).

Sumado a lo anterior, los agricultores de países en vías de desarrollo como Colombia son los más vulnerables al cambio climático, ya que hay una capacidad institucional limitada, tecnologías reducidas y acceso limitado a recursos financieros (Valdivia & Barbieri, 2014).

Se espera que para el 2040, en Colombia, la temperatura media tenga un incremento de 0,9 °C, y un cambio de la precipitación entre -14 % a 8 % dependiendo la zona del país, esto tendrá efectos negativos directos en la disponibilidad de agua, la salud, y la agricultura, estos efectos se relacionan con la capacidad de resiliencia del territorio (Magoni & Munoz, 2018).

La evaluación de impactos del cambio climático en las zonas agrícolas más vulnerables de Colombia evidenció que no se están tomando medidas de adaptación; 80% de los cultivos se verían impactados en más del 60% de las áreas actuales de cultivo de no tomarse medidas certeras (Ramirez-Villegas et al., 2012; citado por Eitzinger et al., 2012).

Centrando lo anterior al municipio de Facatativá, la Secretaría de Desarrollo Agropecuario y Medio Ambiente, revela que este municipio posee una economía basada esencialmente en la agricultura, la cual sostiene al municipio, y aporta productos agrícolas por su cercanía a Bogotá y municipios aledaños (Municipio de Facatativá, 2019). Viendo eso, las pérdidas de rendimiento de los cultivos a causa del cambio climático tendrían un impacto social y económico desastroso.

El plan municipal de gestión del riesgo de Facatativá revela que la adaptación al cambio climático no ha sido un tema de trabajo y las comunidades no se encuentran preparadas o capacitadas frente a lo que a este fenómeno respecta, siendo vulnerables, teniendo en cuenta el aumento de la ocurrencia de eventos climatológicos extremos, que ha impactado la producción de los agricultores (Municipio de Facatativá, 2019). La ocurrencia de eventos extremos requiere generar respuestas adaptativas para mitigar los efectos sobre la producción de alimentos; según la organización de las naciones unidas para la alimentación y la agricultura (FAO), si continúa la tendencia de consumo actual, en el 2050 el sector agrícola deberá incrementar su producción un 60 % para satisfacer la demanda de alimentos futura (FAO, 2015).

Adicionando a lo anterior, el municipio no ha formulado ni puesto en marcha un plan de adaptación al cambio climático donde se presenten diseño de prácticas, estrategias o lineamientos que permitan a los agricultores del municipio mitigar el impacto del cambio climático para mantener los rendimientos de los cultivos, esto hace que con el paso del tiempo la actividad agrícola se convierta en insostenible (FAO, 2009).

1.1. PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN

¿Cuáles deberían ser las estrategias de adaptación para hacer frente a los impactos del cambio climático en los sistemas productivos agroalimentarios del municipio de Facatativá, Cundinamarca?

2. OBJETIVOS

2.1.OBJETIVO GENERAL

Formular estrategias de adaptación a los impactos del cambio climático en los sistemas productivos agroalimentarios del municipio de Facatativá, Cundinamarca.

2.2.OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analizar el comportamiento histórico de las variables climatológicas en el municipio de Facatativá, y su relación con fenómenos macroclimáticos como una herramienta para la adaptación local de los productores agroalimentarios.
- Determinar los impactos del cambio climático en el contexto de los sistemas productivos agroalimentarios del municipio de Facatativá.
- Proponer mecanismos de adaptación frente al cambio climático en los sistemas agroalimentarios de Facatativá.

3. JUSTIFICACIÓN

Las investigaciones y estudios que han desarrollado caracterización y evaluación del impacto provocado por el cambio climático evidencian la necesidad de desarrollar modelos y estrategias que se ajusten a los territorios y comunidades con la finalidad de definir mecanismos de adaptación ante eventos climáticos, que permitan minimizar al máximo posible los efectos negativos generados. Con base en esto se ve la necesidad de realizar un estudio concreto y delimitado debido a que cada zona tiene unas particularidades especiales de las cuales depende su capacidad de resiliencia y adaptación, determinando los impactos en el rendimiento y productividad de los cultivos.

La presente investigación justifica su realización articulando diversos objetivos de desarrollo sostenible; el ODS 13 denominado “acción por el clima”, menciona en su meta 13.1 y 13.3 la necesidad de mejorar la educación, la capacidad de adaptación, mitigación y resiliencia tanto humana como institucional a los riesgos asociados al cambio climático, capacidad humana e institucional con respecto a la adaptación y mitigación del cambio climático. Sin embargo la meta de mayor relación con el tema de esta investigación se

encuentra dentro del ODS 2 “Hambre cero” en la meta 2.4 refiere que para el año 2030 se requiere asegurar la sostenibilidad de producción de alimentos, aplicando prácticas resilientes que mejoren la producción agrícola y fortalezcan la capacidad de adaptación al cambio climático y fenómenos meteorológicos extremos (Naciones Unidas/CEPAL, 2019). Por otro lado, el ODS 11 “Ciudades y comunidades sostenibles”, tiene como meta promover la mitigación y adaptación al cambio climático y la resiliencia ante desastres en comunidades según lo establece el Marco Sendai para la reducción del riesgo de desastres 2015 – 2030, y ODS 1 “Fin de la pobreza”, relaciona la necesidad de “fomentar la resiliencia en personas en situación de vulnerabilidad a fenómenos relacionados con el clima”, desastres económicos, sociales y ambientales; teniendo que la población objeto de estudio es rural en un país en vías de desarrollo, son altamente vulnerables en los pilares sociales, ambientales y económicos (Naciones Unidas/CEPAL, 2019).

Adicionalmente, el plan nacional de desarrollo 2018 – 2022 “Pacto por Colombia, pacto por la equidad”, tiene establecido en el capítulo “Pacto por la sostenibilidad” el objetivo de promover el conocimiento de la comunidad sobre el cambio climático y gestión del riesgo, siendo una de sus metas implementar acciones para adaptarse al cambio climático implementando iniciativas de adaptación al cambio climático que minimicen los impactos de sequías e inundaciones en los territorios (Departamento Nacional de Planeación, 2018).

Es importante detallar, cómo se mencionó en la descripción del problema, que el municipio no cuenta en la actualidad con siquiera la formulación del plan municipal de adaptación partiendo de la base que de casi 1100 municipios que tiene el país, tan solo 7 cuentan con un plan de gestión de cambio climático o plan de adaptación (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia, 2018), por lo que el desarrollo de una investigación referente a identificación de impactos y formulación de técnicas de adaptación en el sector agrícola será un punto de partida para la gestión y planificación territorial, permitiendo al municipio tener un mayor grado de desarrollo sostenible y en un futuro cercano una aproximación al plan de adaptación ante el cambio climático.

Lo anteriormente relacionado traslada a la necesidad de conocer el clima, identificar los impactos, y formular estrategias o prácticas en el sector agrícola, que, para el caso de Facatativá, ayude a agricultores a resistir y afrontar el cambio climático, partiendo de la

base que es un suceso prácticamente irreversible, por ello la adaptación es la única alternativa para enfrentar los impactos que se están dando y los venideros.

4. MARCO TEÓRICO

4.1.VARIABILIDAD Y CAMBIO CLIMÁTICO

4.1.1. Cambio climático.

El clima ha estado cambiando desde hace décadas, a partir del final del siglo XX, se han presentado periodos cálidos de forma más frecuente, y la temperatura media en los últimos años ha sido la más alta en siglos (World Meteorological Organization, 2019), además en los últimos años, diferentes estudios han identificado el aumento de la intensidad y frecuencia de fenómenos extremos que se asocian al cambio y variabilidad climática (García et al., 2012). Este cambio en parte puede relacionarse con causas naturales, pero es innegable decir que a partir de la revolución industrial este cambio se ha hecho más evidente, relacionado su ocurrencia con factores antrópicos. Los factores que propician el cambio climático incluyen, la emisión de aerosoles, dióxido de carbono, metano, clorofluorocarbonados, a la atmósfera, los efectos de las nubes, actividad volcánica, los cambios del albedo y reflexión terrestre, cambios en el campo magnético, contaminación del aire, la cantidad de energía solar que llega a la tierra, entre otros (Miller, 2007, citado por Díaz, 2012). En el año 2008, en Polonia se llevó a cabo la Cumbre de Poznan, donde se consideró que el cambio climático es derivado de la emisión de gases de efecto invernadero, principalmente por el uso de combustibles fósiles (Díaz, 2012).

4.1.2. Variabilidad climática en Colombia

En Colombia, la variabilidad climática se presenta por fenómenos diferentes, los más constantes son determinados por la zona de confluencia (o convergencia) intertropical (ZCIT), así como por la dinámica de los océanos atlántico y pacífico (El Niño oscilación del sur ENOS), se suma a esto la dinámica de las cuencas del río Orinoco y Amazonas, todos estos factores

generan un sistema hidrometeorológico de alta complejidad, lo que hace difícil el construir escenarios precisos para identificar el comportamiento del recurso hídrico ante fenómenos de cambio climático y variabilidad climática (García et al., 2012).

4.2. SISTEMAS AGROALIMENTARIOS

Se deben entender los cultivos y actividades agropecuarias desde la teoría como un sistema, el cual posee unas entradas, procesos y salidas, direccionando el flujo de materia y energía, es por esto por lo que los sistemas agroalimentarios (SAA ó SIAL) son sistemas productivos basados en la explotación de recursos naturales (entradas), prácticas culturales agropecuarias (procesos) y alimentos (salidas) (Gutman & Gorenstein, 2016).

Como todo sistema se pueden considerar unos límites, pudiendo abarcar unidades de transformación de varios productos, que mantienen relaciones estrechas entre ellas o que se encuentran dentro de la misma unidad agropecuaria. Un cultivo o actividad individual dentro de una unidad productiva agropecuaria, no podría considerarse un sistema agroalimentario en determinados casos, este puede abarcar todas las relaciones de los múltiples cultivos o actividades que se lleven a cabo, por ejemplo, una finca que además de sembrar fresa, tenga producción ganadera, pastos, etc., los que además pueden hacer parte de un sistema más grande, donde se agrupan diversas actividades de transformación agroalimentaria o actividades relacionadas de manera local o regional(Requier-Desjardins, 1999).

Así mismo se pueden considerar que hacen parte de un sistema agroalimentario actividades que mantienen vínculos hacia atrás y hacia adelante como lo menciona Requier-Desjardins (1999):

“En primer lugar, la agricultura local compuesta de unidades campesinas, en segundo lugar, actividades como transporte y comercialización o como producción de insumos (moldes de madera, fermentos lácticos) o maquinaria (molino, calderas, hornos)” (Requier-Desjardins, 1999. p. 9).

4.3. IMPACTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LA AGRICULTURA MUNDIAL

La agricultura depende de forma muy estrecha de variables climáticas como la precipitación y temperatura, las cuales según los modelos a nivel mundial esperan que cambien drásticamente a futuro, así como que se presenten eventos meteorológicos más extremos como altas lluvias y sequías prolongadas, dejando clara la evidencia de la importancia del régimen climático y su estabilidad para la producción de alimentos; tal como lo establece la FAO (2009) en su informe “Cambio climático: impactos en la agricultura y costos de adaptación”, La agricultura es altamente vulnerable al cambio climático esperando que en países en vías de desarrollo se reduzca el rendimiento de los cultivos más importantes, lo que tendrá como efecto la reducción de la seguridad alimentaria mundial, distinguiendo tres tipos de efectos: 1. Efectos biológicos sobre los cultivos, 2. Precios, producción y consumo de alimentos y 3. Consumo de calorías per cápita y malnutrición infantil (FAO, 2009).

Los efectos del cambio climático en la agricultura según la FAO (1997) son:

- El clima se hace menos pronosticable, complicando la planeación de actividades en los cultivos.
- Aumento de la presión de sistemas agrícolas frágiles por mayor variabilidad del clima.
- Los eventos climáticos extremos serán más frecuentes y de mayor impacto.
- Aumento del nivel del mar, impactando la agricultura costera y de islas.
- Reducción de la diversidad biológica en manglares y selvas tropicales.
- Desequilibrio de producción de alimentos entre las regiones templadas y frías, así como las tropicales y subtropicales.
- Modificación de la distribución y cantidades de pescado y otros productos marinos, impactando las actividades pesqueras.
- Mayor proliferación de plagas y agentes patógenos, los ciclos de vida se acelerarán y algunos vectores podrían migrar a zonas en las que antes no existían (FAO, 1997).

4.3.1. Rendimiento y productividad de cultivos.

El aumento de las temperaturas reducirá la producción de los cultivos, a la vez que propiciará la proliferación de malas hierbas y plagas, por otro lado, los cambios en los regímenes de precipitación incrementan las probabilidades de que las cosechas fracasen y se disminuya el rendimiento de estos sistemas ya que se afecta la disponibilidad del recurso hídrico. Aunque en algunas regiones del mundo los cultivos podrían verse beneficiados a causa del cambio climático, pero en general el cambio climático está teniendo impactos negativos para la agricultura (Nicholls et al., 2015; FAO, 2009).

El rendimiento de cultivos de secano (cultivos sin ningún tipo de riego más que la lluvia) se verá influenciado por cambios tanto en la precipitación como en la temperatura, por otro lado los cultivos en tierras de regadío verán impactos en su rendimiento principalmente impulsados por los cambios en la temperatura (Nicholls et al., 2015).

Las temperaturas elevadas pueden provocar deshidratación en las plantas, evitar la reproducción e incluso detener la fotosíntesis, en plantas C3 (vía metabólica de 3 carbonos) la tasa de fotosíntesis tiene su mayor eficiencia en temperaturas entre 20 y 32° C, temperaturas superiores harán decrecer esta tasa hasta un máximo de 40°C donde la fotosíntesis cesa enteramente, poniendo a la planta en condiciones de shock térmico (Ramirez et al., 2013).

En condiciones generales, el rendimiento de los cultivos decrece una 10% por cada 1.0°C por encima de la temperatura ideal para el cultivo (Allen et al., 2005) Así mismo el cambio en el régimen de lluvias agravaría la situación expuesta sobre variaciones en la temperatura, ya que el aumento o reducción de las precipitaciones reduce los rendimientos de cultivos entre -10,0% y -21,0% (Orozco & Ayala, 2012).

En términos generales, el estrés hídrico, la reducción del periodo de desarrollo y crecimiento, así como la presencia de plagas y enfermedades disminuyen significativamente la cantidad de producción de los cultivos, así mismo la producción animal se tendría impactos por el cambio climático a causa de la

productividad de las pastos y forrajes, así como en la disponibilidad de agua (Fernandez, 2013), a esto se suma el impacto en los polinizadores.

4.3.2. Seguridad alimentaria.

Los impactos del cambio climático en el rendimiento de los cultivos tienen efectos en la disponibilidad de alimentos a nivel mundial, generándose aumentos de precios para los cultivos más importantes (arroz, trigo, maíz, soja). Así mismo el impacto en los forrajes implica mayores costos para la alimentación animal, lo que producirá aumento de los precios de la carne, por esto se reducirá ligeramente el consumo de carne y habrá una disminución notable en el consumo de cereales, lo anterior se traduce en reducción en la disponibilidad y consumo de calorías en 2050, incrementando la malnutrición infantil en un 20%, en relación con lo esperado en un escenario sin cambio climático (FAO, 2009).

4.4. ADAPTACIÓN DE LA AGRICULTURA ANTE EL CAMBIO CLIMÁTICO.

4.4.1. Adaptación basada en comunidades (AbC).

También llamada “CBA” por sus siglas en inglés, consiste en un proceso liderado por la comunidad, en el cual se tienen en cuenta sus prioridades, necesidades, conocimientos y capacidades, estas deben fortalecerse y prepararse para los impactos que provoca y provocará el cambio climático con la finalidad de reducir la vulnerabilidad. Esta estrategia basada en comunidades integra mecanismos para el uso del patrimonio cultural, los conocimientos locales y tradicionales, y la experiencia de los miembros de la comunidad para abordar los problemas que plantea el cambio climático y encontrar soluciones (Reid et al., 2009; Diesner, 2013). Este tipo de adaptación reconoce al ser humano como un componente clave en sus comunidades, los cuales son encargados de promover la resiliencia dentro de la relación ecosistema – humano, con base en saberes heredados o propios (DNP, 2012).

En este sentido las comunidades más vulnerables son las que tienen un impacto mayor a causa del clima derivado de su ubicación espacial y su situación propia

de incapacidad para tomar acciones de prevención y adaptación, así como recuperarse en corto tiempo a impactos de eventos climáticos extremos sobre sus medios de vida (DNP, 2012).

4.4.2. Adaptación basada en ecosistemas (AbE).

Consiste en el uso de los servicios ecosistémicos para enfrentar los efectos adversos del clima mediante la generación de medidas de adaptación que abarcan técnicas de conservación, restauración de ecosistemas, y prácticas que hacen uso de las características naturales del entorno, la finalidad es reducir la vulnerabilidad de las personas y sus sistemas conexos mediante promover la resiliencia de los ecosistemas (Lhumeau & Cordero, 2012).

Lhumeau & Cordero (2012), mencionan que este tipo de adaptación tiene dos funciones principales para hacer frente al cambio climático, uno es un aporte holístico para la adaptación a largo plazo por medio de la formulación y aplicación de técnicas divulgadas mediante políticas públicas y programas internacionales, el segundo es la contribución para un manejo mismo de los ecosistemas, “al incluir un amplio rango de estrategias, que permiten promover acciones como el manejo integrado del recurso hídrico, la reducción del riesgo de desastres naturales, la producción agrícola sostenible y la conservación de la diversidad biológica” (Lhumeau & Cordero, 2012, p.2).

5. METODOLOGÍA

5.1. DISEÑO CONCEPTUAL:

El enfoque de la investigación es cuantitativo, sin embargo, algunas etapas se basan en datos cualitativos y cuantitativos. El proceso de investigación es secuencial y probatorio, se establecieron fases cuya información alimentará las fases siguientes (Hernandez Sampieri et al., 2014)

La investigación tiene un alcance de tipo descriptivo, ya que se estudió una dimensión de un fenómeno, logrando detallar cómo es y cómo se manifiesta, en este caso el cambio climático y su efecto sobre la agricultura.

El diseño según el grado de experimentación para este estudio es de corte preexperimental, debido a que las variables estudiadas no son manipulables, es decir no se pueden controlar las variables climatológicas, ni el efecto o comportamiento que tendrán dentro de los sistemas agrícolas. Adicionalmente, es un estudio de corte longitudinal retrospectivo, debido a que, para analizar las tendencias y efectos del cambio climático, se debe conocer el comportamiento histórico de las variables climatológicas para determinar cómo se afectaron los sistemas productivos agroalimentarios del municipio de Facatativá.

5.2. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS

Para la descripción del comportamiento de las variables climatológicas en la zona de estudio, se solicitó al Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), así como a la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR), los datos a nivel mensual de temperatura, precipitación, humedad relativa, brillo solar y velocidad del viento para estaciones circundantes e internas en el municipio de Facatativá para una serie mínima de 30 años, esta fue entregada en extensión “.txt” y “.xls”, para dicha información se hizo análisis de consistencia de datos basado en la prueba de Grubbs, análisis de completitud y análisis de homogeneidad, los datos inconsistentes o faltantes se ajustaron y corrigieron mediante procesos estadísticos (correlación lineal, proporciones).

Por otro lado, con el fin de obtener información acerca de las condiciones de producción de los sistemas agroalimentarios desarrollados en Facatativá se diseñó una encuesta estructurada para conocer y cuantificar la percepción de los agricultores en cuanto a los impactos del cambio climático en sus cultivos. En dicha encuesta se indagó el tiempo que lleva el sistema productivo, los tipos de cultivos que maneja, la percepción de impactos climáticos, y las estrategias usadas por los agricultores para afrontar el cambio climático. La encuesta se calibró con la aplicación a 3 personas en igualdad de perfil con respecto a los agricultores del municipio.

Una vez aplicada la encuesta, las respuestas fueron tabuladas en hojas de cálculo, donde se hizo la cuantificación y el respectivo análisis estadístico.

5.3. POBLACIÓN Y MUESTRA

La población de la presente investigación fueron los sistemas productivos agroalimentarios de Facatativá, en donde fueron encuestados los agricultores propietarios, administradores o

poseedores de estos sistemas, para dar cumplimiento a la fase correspondiente al segundo objetivo, se realizaron encuestas de percepción, realizando un muestreo por conveniencia (por condiciones de acceso principalmente), donde el número de encuestas que se aplicó fue:

$$n = \left(\frac{(p * q)}{\left(\frac{(e^2)}{(z^2)} + \frac{(p * q)}{(N)} \right)} \right)$$

Donde:

n= tamaño de la muestra.

e= error admisible (0,1).

P= probabilidad de éxito y fracaso (0.5).

q= probabilidad de éxito y fracaso (0.5).

z= nivel de confianza (90 % = 1.65).

N= Población (580).

Por lo anterior, se obtuvo una muestra de 61 encuestas con representatividad de un 90% de confianza.

Para el cumplimiento del análisis histórico de las variables climatológicas se consideraron muestras temporales igual a 30 años, con datos a escala mensual (360 datos por variable por cada estación).

5.4. FUENTES DE INFORMACIÓN

Las fuentes de información usadas para la investigación fueron las bases de datos hidrometeorológicas del IDEAM y CAR Cundinamarca para las fases de la descripción del comportamiento de las variables meteorológicas, así como la identificación de impactos del cambio climático; para complementar la información los agricultores brindaron información sobre los impactos y procesos que han llevado para enfrentar el cambio climático; finalmente con base en una revisión documental de artículos y documentos técnicos de organizaciones internacionales y entidades públicas, se realizó el planteamiento de estrategias de adaptación.

5.5. ANÁLISIS DE DATOS

El procesamiento y análisis de la información se realizó mediante hojas de cálculo en Microsoft Excel, así mismo se usó Cropwat para integrar los datos climatológicos y ArcGIS para realizar interpolaciones y representaciones espaciales, la sistematización se realizó usando tablas para representar las variables climáticas y el balance hídrico, mapas con el fin de determinar la distribución espacial de las temperaturas y precipitación según condiciones promedio anuales y mensuales, así como las tendencias.

5.6. DISEÑO PROCEDIMENTAL:

Para conocer el comportamiento del clima en la zona de estudio, las tendencias de cambio climático en los últimos años, sus impactos en los sistemas productivos agroalimentarios y las estrategias de adaptación, se desarrollaron 3 fases que llevaron al cumplimiento de los objetivos específicos planteados:

- 1.** Comportamiento histórico de variables climatológicas: La primera fase consistió en la descripción y caracterización del clima de Facatativá; se identificaron las estaciones hidrometeorológicas de la Corporación autónoma regional de Cundinamarca (CAR) y el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) que se encontraron más cercanas de Facatativá (distancia no mayor a 40 km del límite municipal), usándose un total de 13 estaciones, las estaciones usadas se muestran en la **Figura 1** y **Tabla 1**.
- 2.** Se solicitó la información a escala mensual de una serie de 30 años (1989 a 2018) del monitoreo de variables meteorológicas: precipitación total, temperatura media, temperatura mínima, temperatura máxima, humedad relativa, brillo solar y velocidad del viento según la disponibilidad establecida por las características de la estación y las series estadísticas dispuestas por las entidades. Esta información se fue dispuesta en tablas de cálculo en donde se realizó el análisis de consistencia mediante prueba de Grubbs. Una vez determinados los valores faltantes e inconsistentes, se procedió a hacer el llenado y corrección de las series faltantes mediante el método de correlación lineal y el método de proporciones, finalmente se realizó la tabulación de datos promedio mensuales y anuales definitiva.

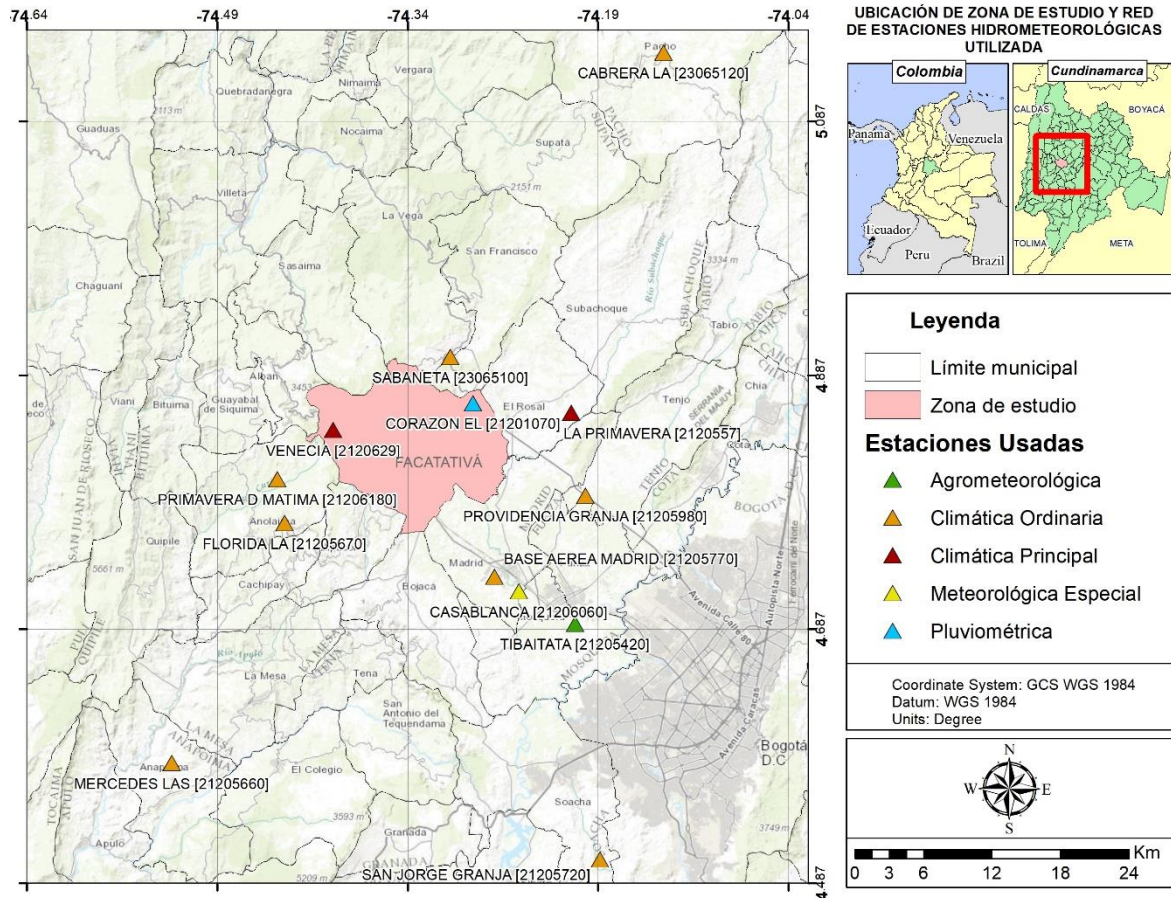


Figura 1 Ubicación de zona de estudio y red de estaciones hidrometeorológicas utilizada. Fuente: Autor con base en CAR, 2021; IDEAM, 2021.

Tabla 1 Estaciones hidrometeorológicas usadas

Código	Nombre	Categoría	Municipio	Altitud	Latitud	Longitud
21205670	La Florida [21205670]	Climática Ordinaria	Anolaima	1915	4.7709	-74.4376
21206060	Casablanca [21206060]	Meteorológica Especial	Madrid	2575	4.7171	-74.2533
21205770	Base Aérea Madrid [21205770]	Climática Ordinaria	Madrid	2550	4.7288	-74.2725
21205980	Granja Providencia [21205980]	Climática Ordinaria	Tenjo	2560	4.7924	-74.2009
21205420	Tibaitata [21205420]	Agrometeorológica	Mosquera	2543	4.6914	-74.2090
21201070	El Corazón [21201070]	Pluviométrica	Facatativá	2845	4.8654	-74.2894
21206180	Primavera D Matima [21206180]	Climática Ordinaria	Anolaima	1850	4.8055	-74.4435
21205660	Las Mercedes [21205660]	Climática Ordinaria	Anapoima	810	4.5819	-74.5266
23065100	Sabaneta [23065100]	Climática Ordinaria	San Francisco	2475	4.9018	-74.3074
21205720	Granja San Jorge [21205720]	Climática Ordinaria	Soacha	2900	4.5058	-74.1893
23065120	La Cabrera [23065120]	Climática Ordinaria	Pacho	1894	5.1416	-74.1394
2120629	Venecia [2120629]	Climática Principal	Facatativá	2686	4.8442	-74.3995
2120557	La Primavera [2120557]	Climática Principal	El Rosal	2623	4.8579	-74.2119

Fuente: (CAR, 2021; IDEAM, 2021).

Posteriormente con el uso de un sistema de información geográfico (ArcGIS 10.5) se generaron mapas de distribución espacial de precipitación (isoyetas), mediante el módulo de geoestadística, haciendo uso de interpolación por el método de distancia inversa ponderada (IDW), utilizando los datos de las estaciones seleccionadas, tanto de promedios mensuales, como de promedio total anual (suma de precipitación mensual promedio). Para conocer la distribución espacial de temperatura media, mínima y máxima (isotermas) se usó la metodología que plantea Fries et al., (2012), en la cual se calculó el gradiente térmico vertical de la zona por medio de un gráfico donde en el eje Y se ubicaron las temperaturas de las estaciones seleccionadas mientras que en el eje X se ubicó la altura sobre el nivel del mar de la estación correspondiente, mediante regresión lineal se obtuvo la pendiente de la recta formada por la línea de tendencia, con un $R^2 = 0.9812$; la pendiente encontrada es el gradiente térmico vertical. Posteriormente se determinó la temperatura de referencia que simuló el comportamiento de esta variable si las estaciones se encontraran en el mismo nivel, mediante la ecuación (1) presentada a continuación:

$$T_{Ref} = T + (Gr \times (Z_{Ref} - Z_{Est})) \quad (1)$$

Donde T_{Ref} es la temperatura de referencia, T es la temperatura media, mínima o máxima de la estación (según corresponda la isoterma), Gr es al gradiente térmico vertical, Z_{Ref} es el nivel de referencia, consistente en una altura en metros intermedia de la zona de estudio, y Z_{Est} es la altura real de la estación.

En el software SIG se enlazó un modelo digital de elevación (MDE) que cubrió el área de estudio, en esta ocasión se usó un modelo obtenido del instrumento ASTER GDEM obtenido mediante la plataforma Earth Data de la NASA (<https://search.earthdata.nasa.gov/search>), así mismo se cargó una capa de puntos que representaba la ubicación de las estaciones climatológicas anexando los datos de temperatura de referencia calculados en el paso anterior; con esta capa se generó una interpolación con el método de distancia inversa ponderada para así obtener una imagen que fue operada mediante algebra de mapas aplicando la ecuación (2) presentada a continuación:

$$T = T_{Ref} + (Gr \times (Z_{MDE} - Z_{Ref})) \quad (2)$$

Donde T es la distribución total de las temperaturas en el área de estudio, T_{Ref} corresponde a la imagen resultante de la interpolación de las temperaturas de referencia, Gr es el gradiente térmico vertical, Z_{MDE} corresponde al modelo digital de elevación (MDE) ASTER GDEM y Z_{Ref} el valor del nivel de referencia usado en la ecuación 1.

Por otro lado, se calculó la evapotranspiración de referencia (ET_o) mediante el uso del software Cropwat 8.0 el cual realiza el cálculo mediante de la ecuación de Penman Monteith, tomando como base una superficie de referencia para determinar de forma precisa, especificada como “Un cultivo hipotético de referencia con una altura asumida de 0,12 m, una resistencia superficial fija de 70 s m^{-1} y un albedo de 0,23” (FAO, 1990). La información requerida para el cálculo de la ET_o mediante CROPWAT fue: Latitud, Longitud, Altura sobre el nivel del mar de la estación, Temperatura mínima ($^{\circ}\text{C}$), Temperatura máxima ($^{\circ}\text{C}$), Horas de sol al día (Horas), Humedad Relativa (%), Velocidad del Viento (km/día), el software entregó información de evapotranspiración en mm/mes , datos que se tuvieron en cuenta para el balance hídrico. Luego de ello se determinó la humedad aprovechable en el suelo en mm por medio del levantamiento detallado de suelos de la sabana de Bogotá realizado por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi. Finalmente, con los datos mensuales de temperatura de cada estación se realizó el balance hídrico, en donde se integraron las entradas (precipitación), salidas (evapotranspiración) y almacenamiento (humedad aprovechable en el suelo). Al operar estas variables se obtuvieron tres categorías: déficit, exceso o almacenamiento. La información obtenida se presentó por medio de gráficos, tablas y mapas que son descritos y analizados.

3. Determinación de impactos del cambio climático en sistemas productivos agroalimentarios: La segunda fase consistió en primer lugar en la determinación de las tendencias de las variables temperatura media, mínima, máxima y precipitación con el fin de determinar el impacto del cambio climático, se realizaron gráficas de temperatura y precipitación mes a mes con los promedios obtenidos durante los 30 años de estudio, se realizó la correlación lineal determinando el grado de aumento o reducción de las variables enunciadas, a partir de esto se obtuvo una aproximación a futuro del

comportamiento del clima, factor tomado en cuenta para conocer el grado de afectación que podrán tener los cultivos en escenarios futuros.

A partir de esta información proyectada se procedió a construir mapas de distribución espacial de dichas tendencias de temperatura y precipitación. Esto se complementó con una encuesta aplicada a agricultores de sistemas alimentarios del municipio.

De acuerdo con el plan de muestreo, se encuestaron 61 propietarios o trabajadores de sistemas productivos agroalimentarios, con el fin de caracterizar los sistemas, indagar sobre la percepción e impactos sufridos a causa de fenómenos asociados con el cambio climático y conocer las estrategias de adaptación que se están implementando, para lo cual se abarcaron cultivos desde los 2540 m.s.n.m. a 2730 m.s.n.m. cubriendo la mayor parte de las veredas del municipio, lo que permite tener una diversidad importante de condiciones de temperatura, precipitación y cobertura de la tierra, tal como se muestra en la **Figura 2**.

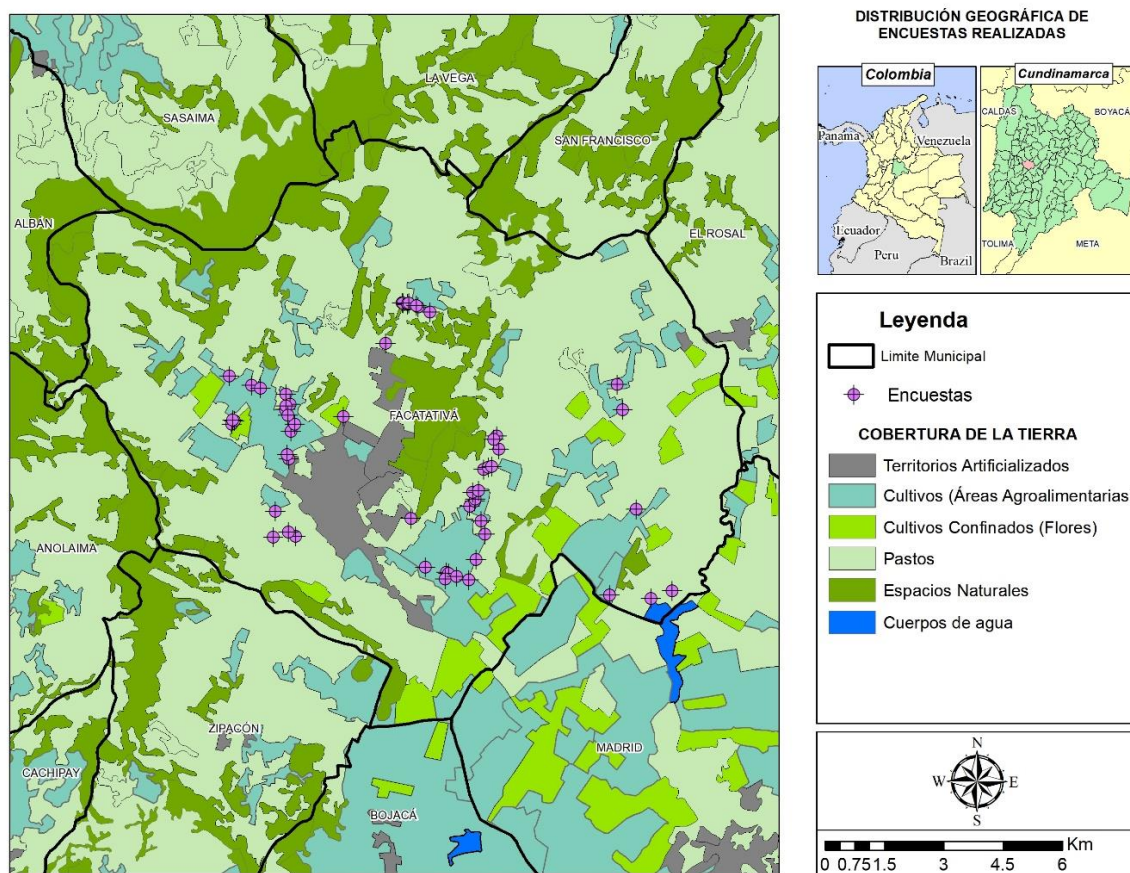


Figura 2 Distribución espacial de encuestas realizadas. Fuente: Autor.

4. La última fase consistió en una revisión bibliográfica de estrategias implementadas a nivel mundial, indagando en revistas indexadas y documentos institucionales (FAO, Ministerio de agricultura, entidades internacionales) a partir de las cuales se realizó la recopilación de técnicas sostenibles aplicadas en características similares a la zona de estudio, o aquellas que se puedan adaptar al municipio, así mismo en la encuesta que se aplicó en la fase 2 se preguntó a los agricultores locales sobre los mecanismos o estrategias de adaptación y de mejoramiento de rendimientos que han implementado o que conozcan, la información de las dos fuentes se compiló y ajustó a las características específicas del territorio tales como el clima actual (Fase 1), la tendencia del clima y los impactos presentados (Fase 2), así como a las características topográficas, agrícolas y ecosistémicas particulares de Facatativá.

6. RESULTADOS Y ANÁLISIS

6.1. CLIMATOLOGÍA DE FACATATIVÁ

Para poder hablar de cambio climático en el municipio, primero se deben conocer las condiciones climáticas generales en Facatativá; la serie temporal analizada (1989 a 2018) evidencia temperaturas medias en un rango entre los 9.2 °C en las zonas altas (superiores a los 3000 m.s.n.m.) y los 14.0 °C en las zonas bajas (aproximadamente 2550 m.s.n.m.) con una media total de 12.5 °C en todo el territorio; por su parte las temperaturas mínimas presentadas en Facatativá están en un rango entre los 2.4 °C y 7.8 °C, mientras que las máximas se ubican en el orden de los 14.0 °C y 20.1 °C, lo que categoriza al municipio con un piso térmico frío; según la clasificación de zonas de vida de Holdridge el municipio se configura en su mayoría como bosque seco montano bajo (bs-MB).

La precipitación total anual en el municipio se ubica entre los 781 mm/año en el sector sur, determinados por la proximidad con el sector de Mondoñedo - Zabinsky en donde se encuentra un ecosistema subxerofítico, correspondiente a un Orobioma azonal andino del altiplano cundiboyacense, siendo los orobiomas un tipo de zona bioclimática determinada por la incidencia de montañas que afectan el régimen hídrico (Vargas-García, 2020; Zambrano, 2012); se llega a los 1200 mm/año en la zona norte producidos por la dinámica entre las masas nubosas y las montañas de este sector lo que propiciaría la generación de lluvias orográficas (Jiménez, 2014), en el territorio se obtiene una media de 922 mm/año.

El comportamiento espacial de la precipitación y temperatura se puede observar en la **Figura 3** y **Figura 4**.

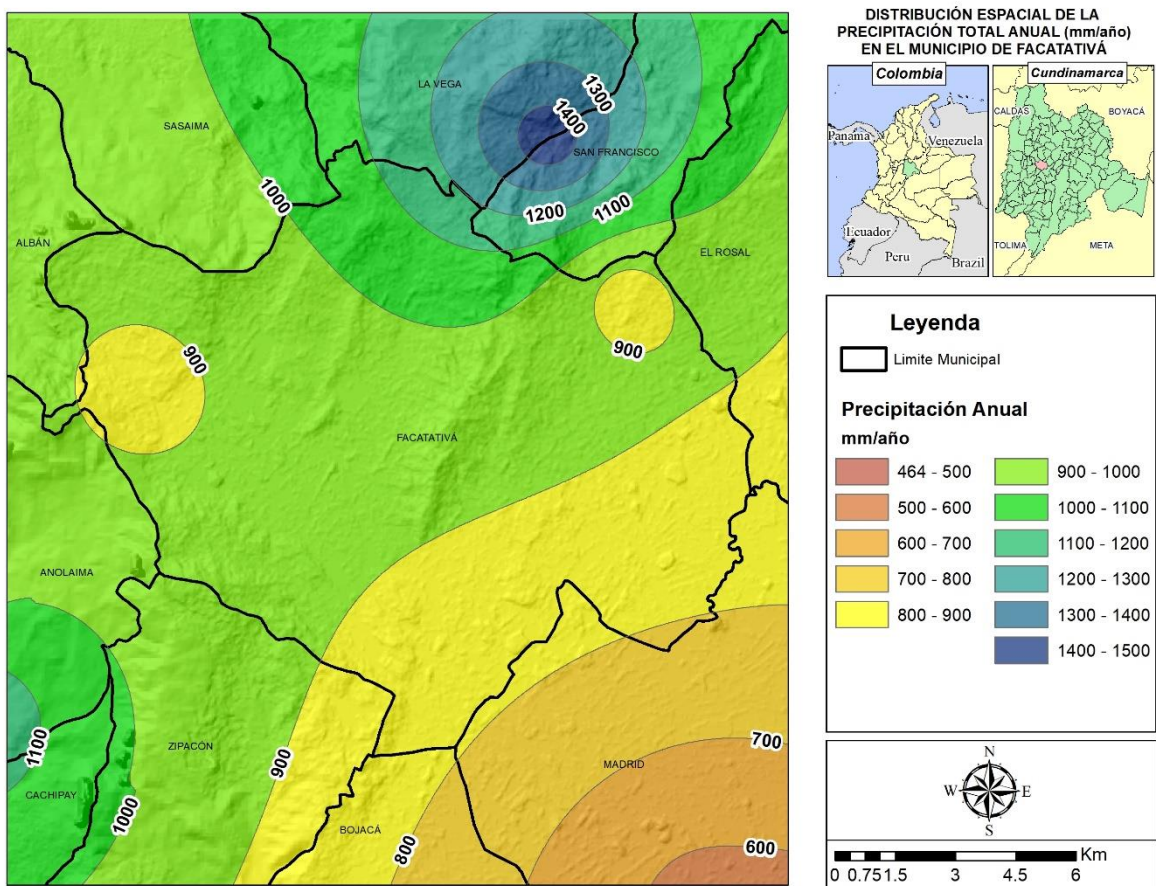


Figura 3 Comportamiento geográfico de la precipitación total anual (mm/año) en Facatativá. Fuente: Autor.

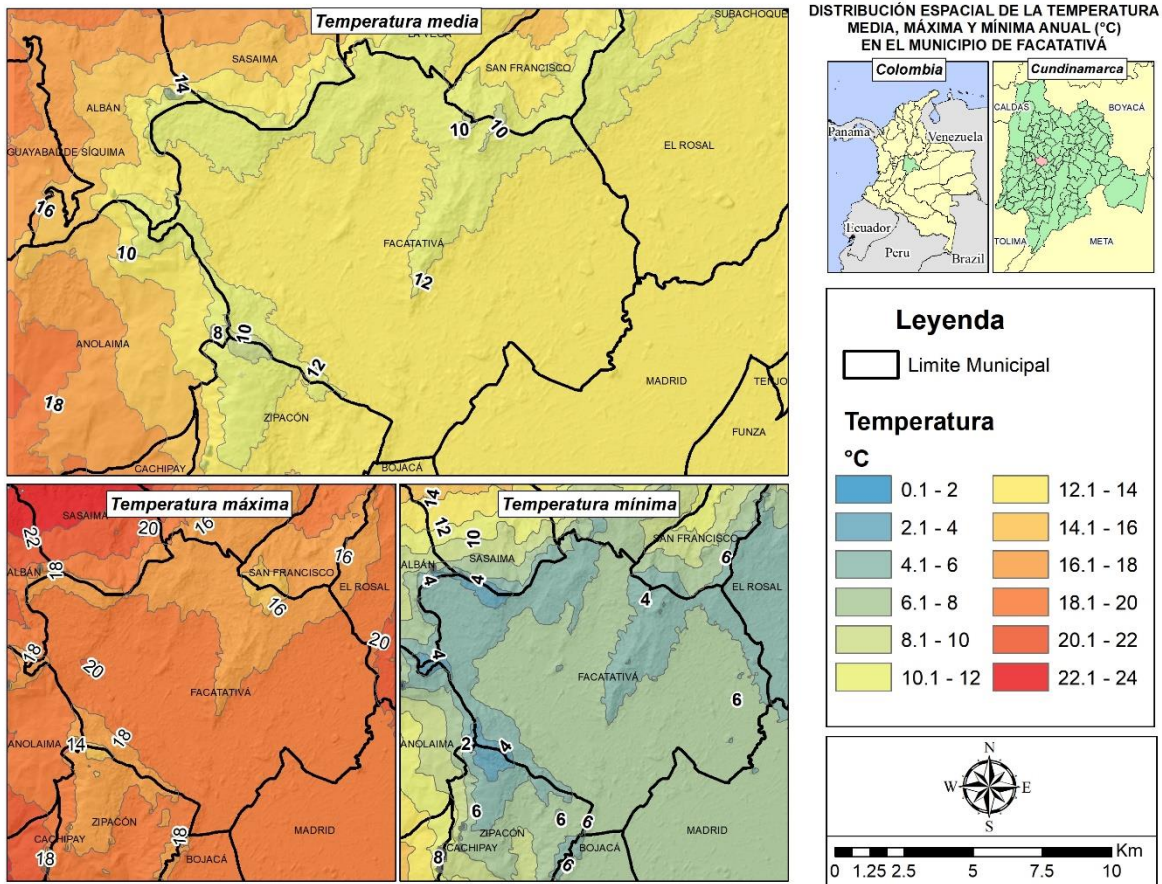


Figura 4 Comportamiento geográfico de la temperatura media, máxima y mínima anual (°C) en Facatativá. Fuente: Autor.

En cuanto al comportamiento temporal de las variables, se observa para la precipitación que la tendencia las estaciones seleccionadas para el estudio es a presentar un régimen bimodal, con temporadas lluviosas de marzo a junio y octubre a diciembre, mientras que bajas precipitaciones en enero a febrero y de julio a septiembre como se puede ver en la **Figura 5**, así mismo se observa que la tendencia de todas las estaciones es la reducción abrupta de la precipitación sostenida por los tres meses que dura la segunda temporada seca del año (julio a septiembre), durante este periodo las lluvias en todas las estaciones son inferiores a 70 mm/mes, por su parte, en Facatativá la primera temporada seca suele ser menos fuerte, mientras que la segunda suele ser más larga e intensa, con precipitaciones que no superan los 50 mm/mes (¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.), esta es la temporada de mayor dificultad en el acceso del agua, ya que el caudal de los cuerpos hídricos se ve reducido drásticamente; este comportamiento se ve principalmente influenciado por el

movimiento de la zona de confluencia intertropical que determina la estacionalidad de la precipitación en la franja ecuatorial.

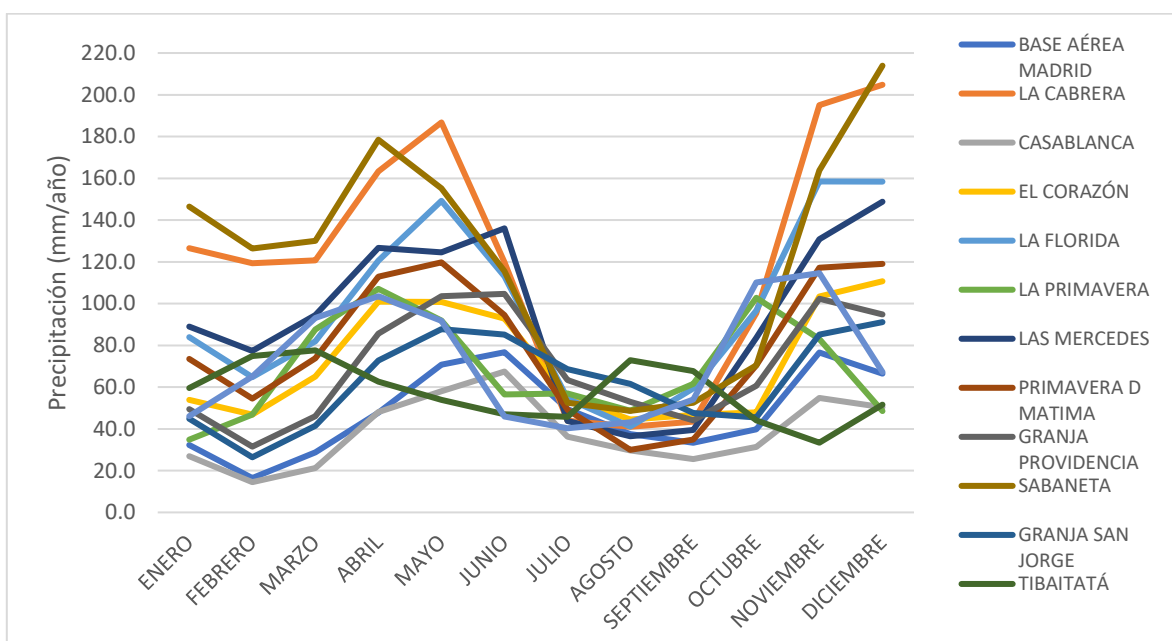


Figura 5 Comportamiento interanual de la precipitación en las estaciones de estudio. Fuente: Autor.

Por su parte, la temperatura media presenta tendencias poco marcadas en las estaciones con temperaturas superiores a los 16 °C, sin embargo, como se ve en la **Figura 6** y

Figura 10 aquellas estaciones con temperaturas medias inferiores a los 15 °C pueden ser agrupadas por su tendencia, por altitud sobre el nivel del mar estas estaciones se encuentran más próximas a Facatativá con condiciones climatológicas similares, en las cuales se observa un comportamiento marcado a superiores temperaturas medias en el primer semestre del año con un pico máximo en el mes de mayo, punto a partir del cual se presenta un descenso marcado hasta llegar a julio, en donde se presenta estabilidad en las temperaturas medias hasta la llegada de diciembre, con un pequeño aumento hacia los meses de septiembre y octubre. La variabilidad estacional encontrada se presenta fundamentalmente por la oscilación anual del sol entre los trópicos, que es derivada del movimiento de traslación y precesión de la tierra, lo que causa que el sol se ubique en el Cenit en la zona ecuatorial, generando que lo que los rayos solares lleguen perpendicularmente dos veces al año con un leve retraso de los equinoccios (21 de marzo y 21 de septiembre); esto ocasiona dos picos de insolación en la zona intertropical (Eslava, 1991).

Por otro lado se observa cierta estacionalidad marcada en las temperaturas mínimas (**Figura 7**) en donde se ve una tendencia mínima en los meses de diciembre - enero y agosto – septiembre, la cual coincide con las tendencias de las temperaturas máximas como se observa en la **Figura 8 y Figura 12**, estas son explicadas a partir del movimiento de las masas nubosas, ya que estos suelen ser meses despejados, lo anterior permite la entrada directa de los rayos solares en el día calentando el aire, por el contrario, en la noche se da lugar a la salida más rápida de la radiación solar mediante el proceso de inversión térmica, siendo una de las causas principales para el desarrollo de heladas por radiación, que son comunes en esta región del país principalmente en enero (González, 2018); es precisamente en este mes en el cual la parte plana del municipio (2600 m.s.n.m.) que es más susceptible a estos fenómenos, alcanza las temperaturas más bajas, entre 4 a 6 °C (

Figura 11), y picos mínimos con registros de -3.5 °C (Estación La Primavera, Enero de 2013).

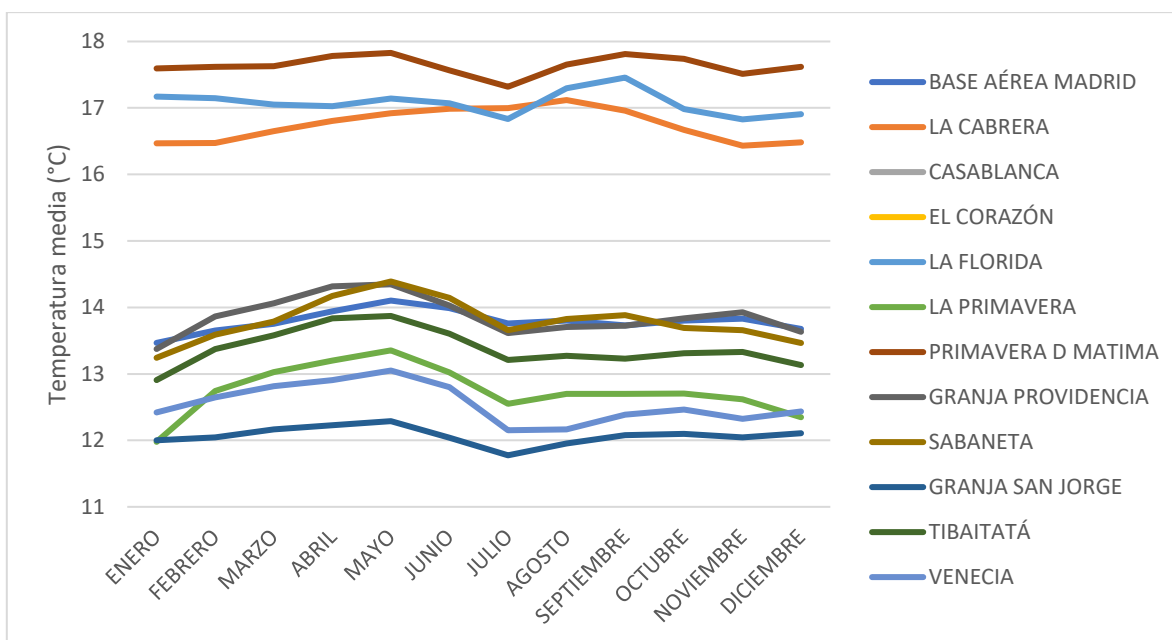


Figura 6 Comportamiento interanual de la temperatura media en las estaciones de estudio. Fuente: Autor.

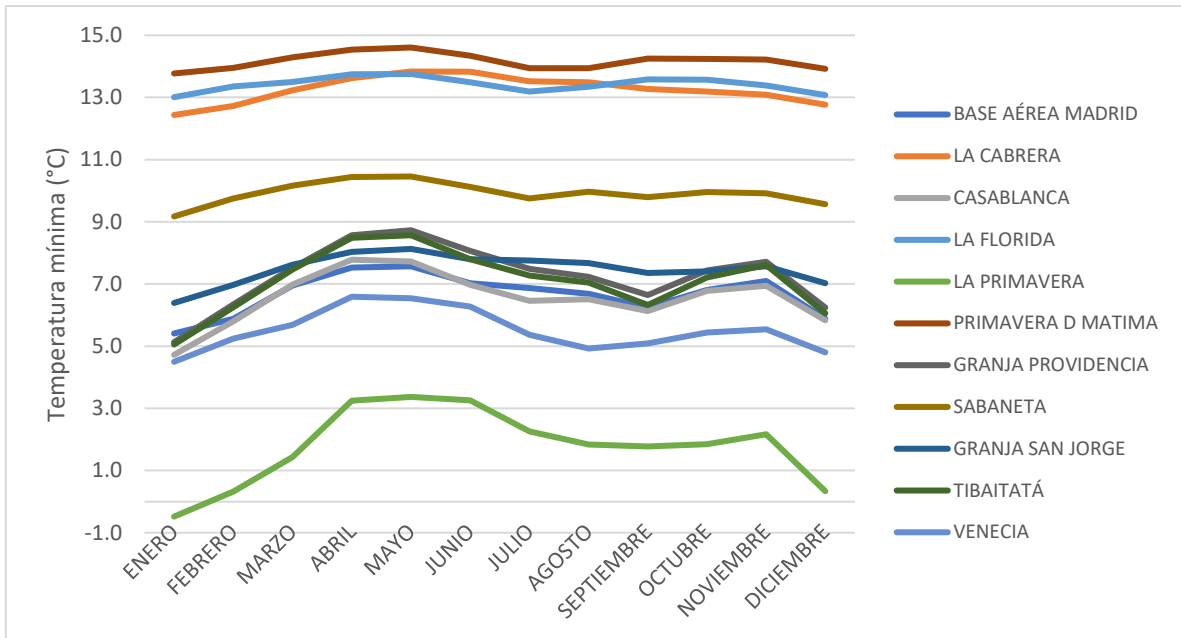


Figura 7 Comportamiento interanual de la temperatura mínima en las estaciones de estudio. Fuente: Autor.

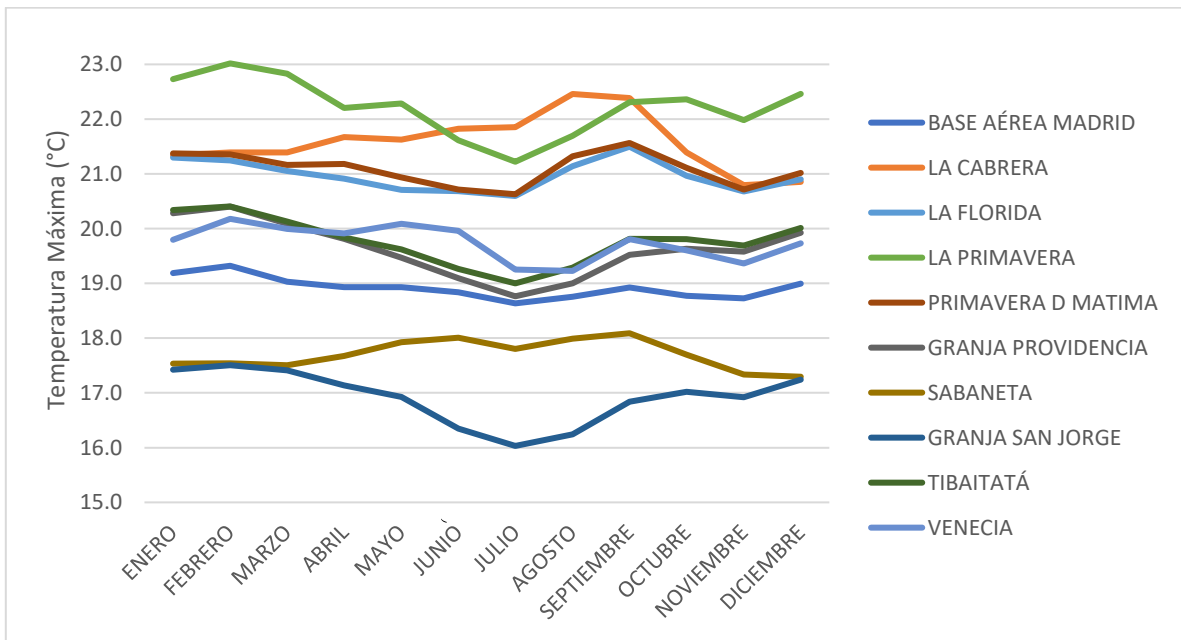


Figura 8 Comportamiento interanual de la temperatura máxima en las estaciones de estudio. Fuente: Autor.

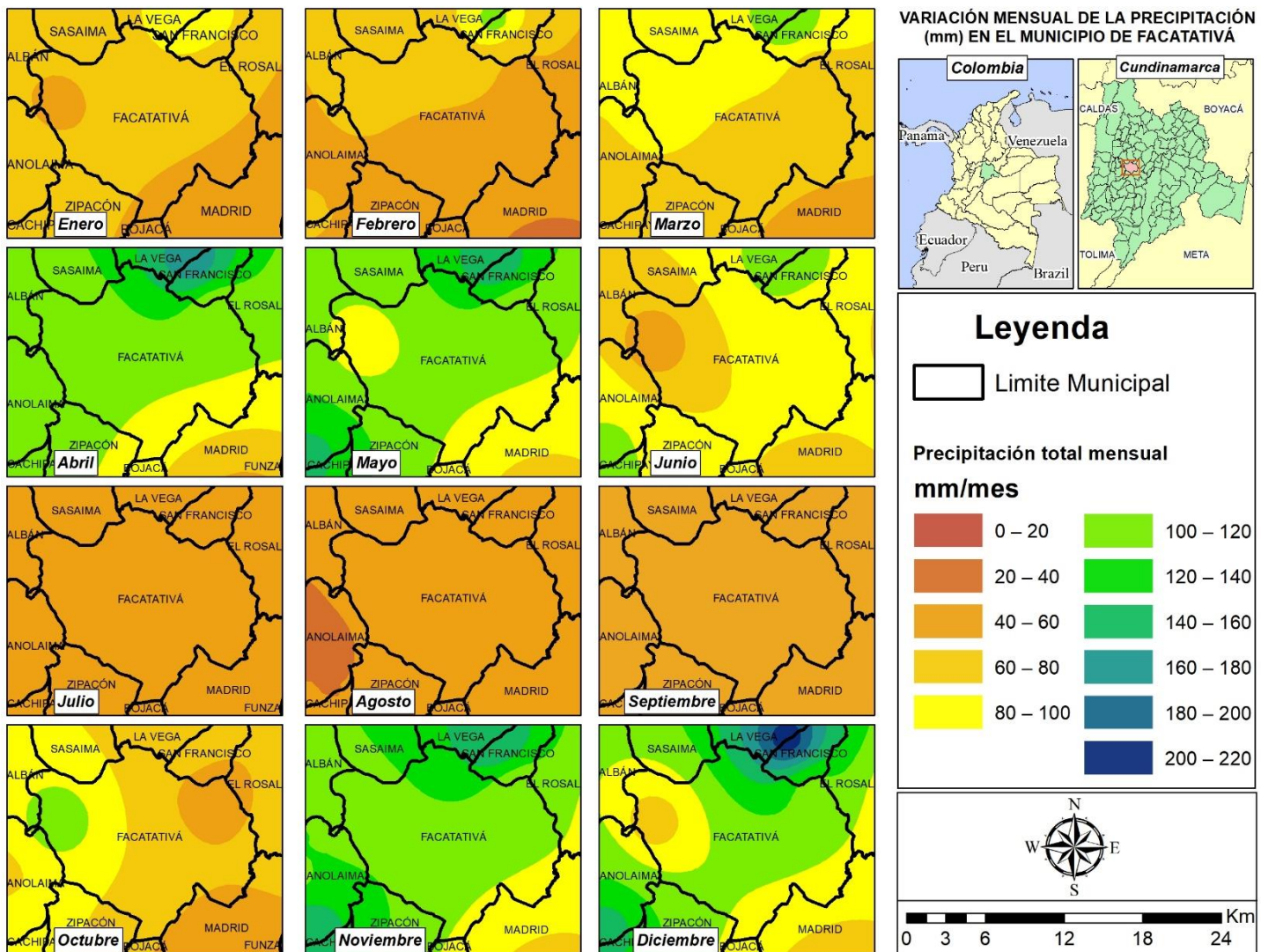


Figura 9 Variación mensual de la precipitación en Facatativá. Fuente: Autor.

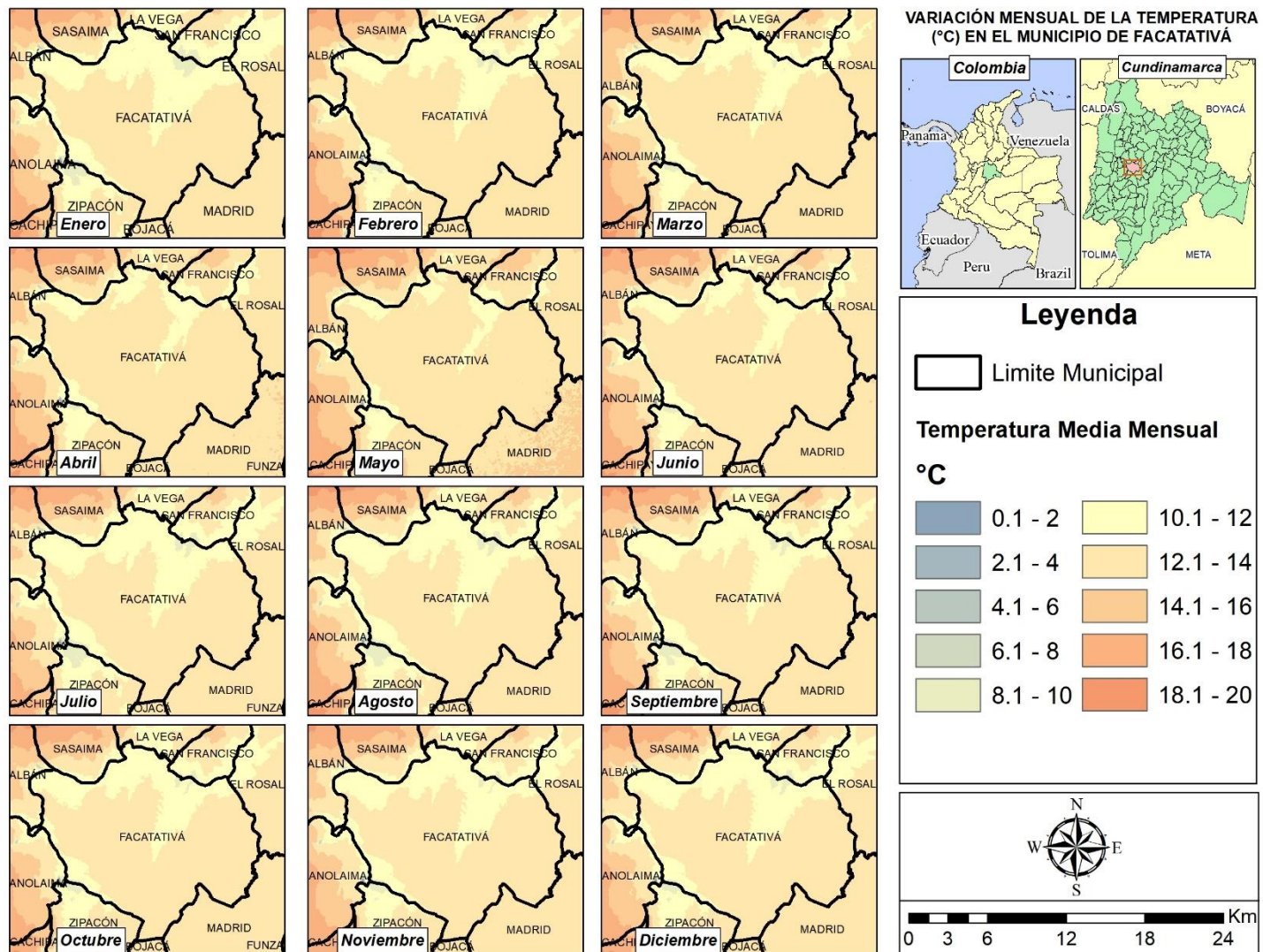


Figura 10 Variación mensual de la temperatura media en Facatativá. Fuente: Autor.

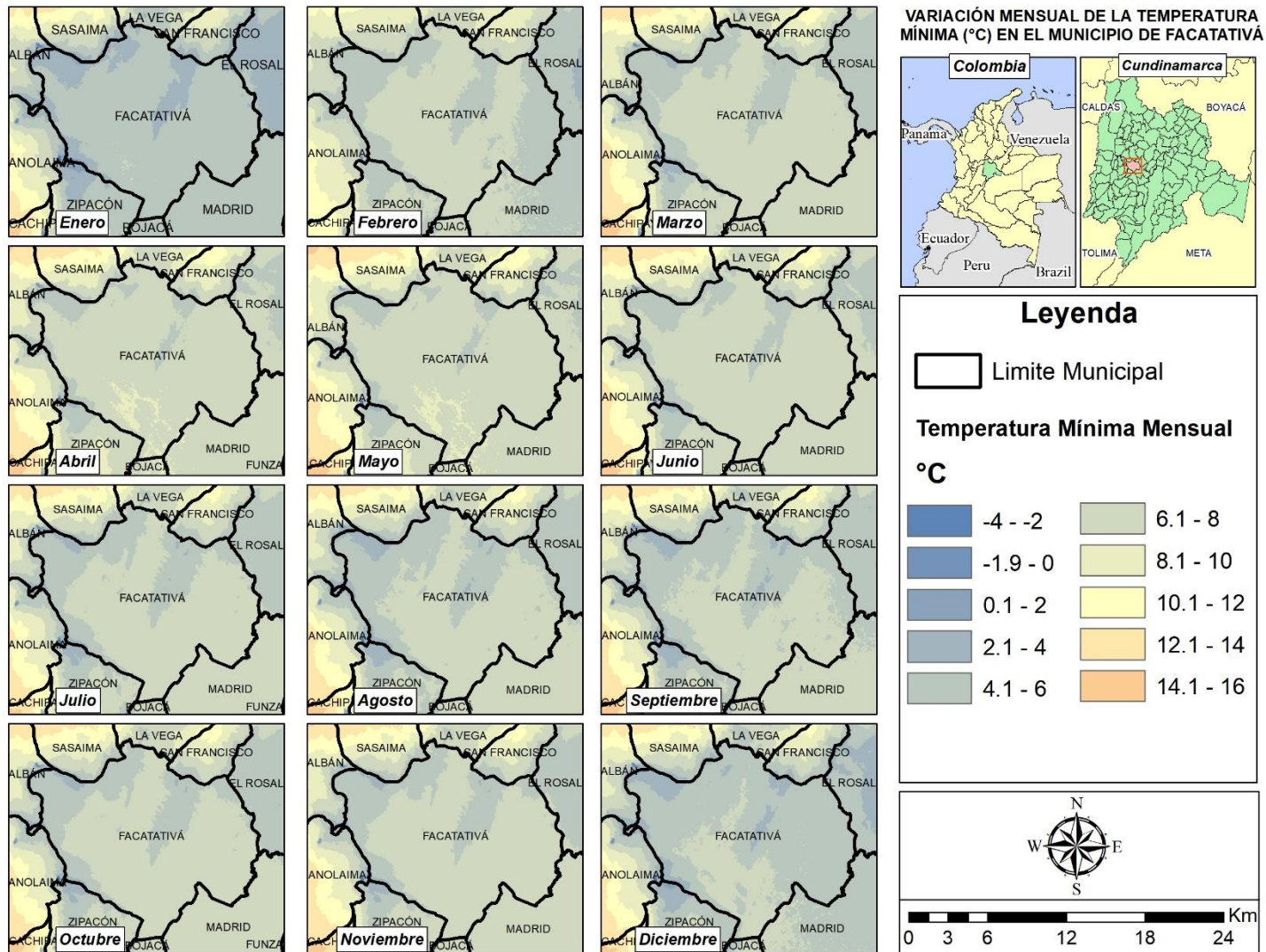


Figura 11 Variación mensual de la temperatura mínima en Facatativá. Fuente: Autor.

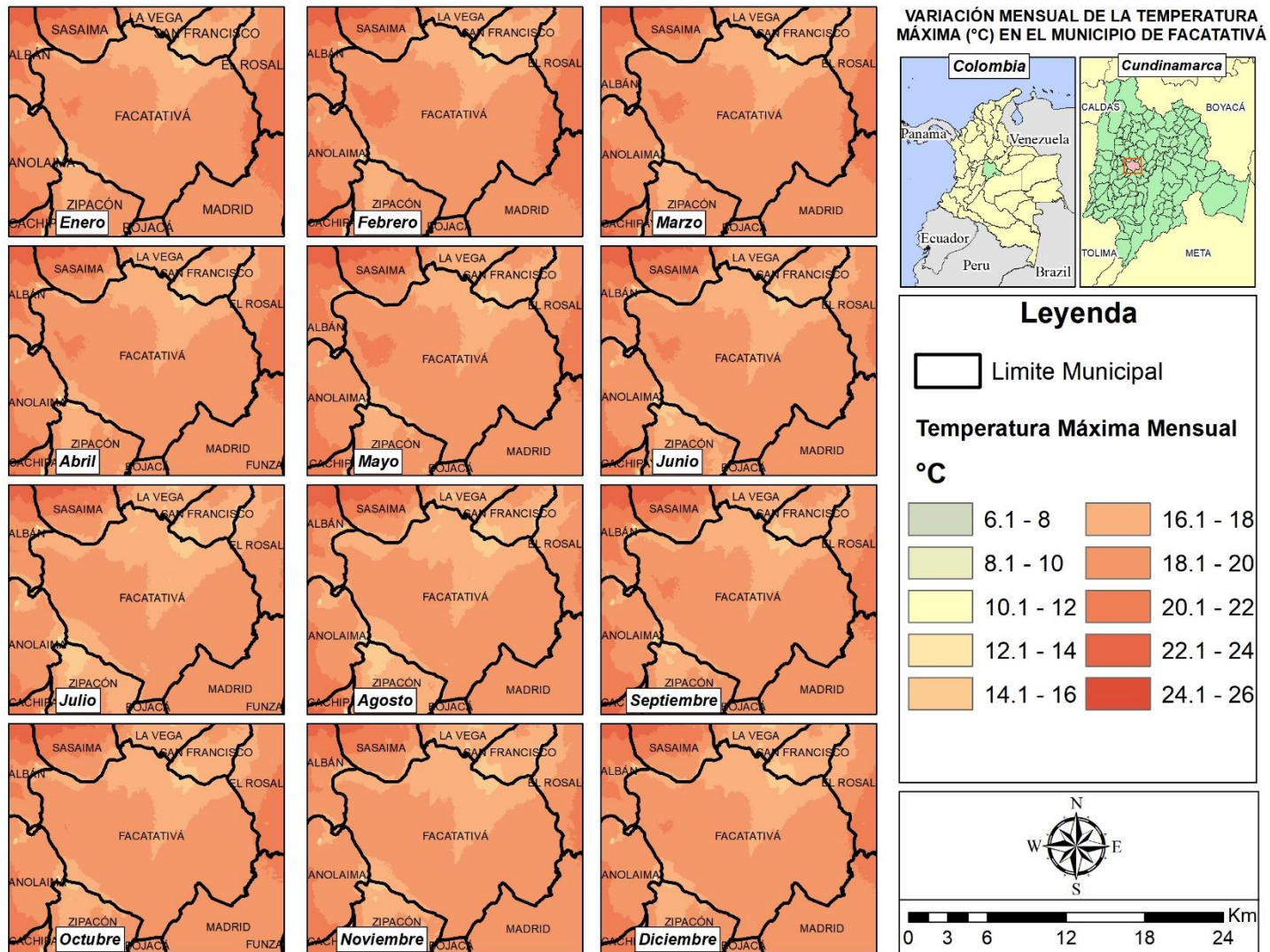


Figura 12 Variación mensual de la temperatura máxima en Facatativá. Fuente: Autor.

Por su parte, en el balance hídrico se realizó el filtro de información de las estaciones seleccionadas en la metodología, de las cuales se obtuvieron 5 estaciones circundantes e internas del municipio con la información más completa. En términos generales la mayor parte del territorio presenta déficit hídrico en los meses de enero, febrero y de junio a septiembre, los cuales se convierten en meses con condiciones difíciles para el abastecimiento de agua, y, en el caso de cultivos con baja resistencia a la sequía se requiere implementación de riego para compensar la humedad en el suelo. De igual forma, se resalta que la humedad del aire tiene un impacto directo sobre las necesidades hídricas de las plantas, en condiciones de humedad relativa baja, el aire puede absorber más agua y acentuando el gradiente de humedad en las estomas, lo que produce el incremento de la transpiración, esto ocasiona que salga agua de las hojas más rápido, lo que aumenta la evapotranspiración (Fara et al., 2019), a causa de esto, en las estaciones y meses con menor humedad (y por consiguiente mayor temperatura) aumenta la evapotranspiración, propiciando más el déficit hídrico. A continuación (**Tabla 2** a **Tabla 6**) se presentan los balances hídricos realizados para las estaciones seleccionadas.

- **Base aérea Madrid**

Se ubica en una región con baja humedad relativa y precipitación por su proximidad con el desierto de Zabrinsky, esto propicia que en todos los meses haya un déficit hídrico marcado, con pérdidas máximas de agua para los meses de enero - febrero y agosto - septiembre, siendo estos de los más secos, con baja precipitación y elevada evapotranspiración. A lo largo del año, las necesidades hídricas de la zona no son suplidas por la precipitación, a pesar de que en junio y noviembre el déficit sea mínimo. Esta estación es representativa para la zona sur oriental del municipio (Veredas: El Corzo, El Corito, Pueblo Viejo) por sus características y ubicación.

En esta zona el suelo tiene una capacidad de almacenamiento de agua de 75.0 mm según el levantamiento detallado de suelos de la Sabana de Bogotá (IGAC, 2012).

Tabla 2 Balance hídrico estación Base aérea Madrid

VARIABLE	UNIDAD	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
ETO	mm/mes	91.1	86.1	90.6	82.5	79.9	78.1	84.0	90.5	85.7	84.4	78.8	83.7
Precipitación	mm/mes	32.2	16.4	28.7	47.8	70.7	76.7	49.5	37.5	33.3	39.8	76.5	66.4
Almacenamiento	mm/mes	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Déficit	mm/mes	58.9	69.6	61.9	34.7	9.2	1.4	34.5	53.0	52.4	44.6	2.3	17.3
Exceso	mm/mes	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Fuente: Autor.

- **Sabaneta**

La estación Sabaneta presenta la mejor disponibilidad de agua en el territorio objeto de estudio, la evapotranspiración suele ser menos en comparación con las demás estaciones, mientras que las lluvias son las más altas de las estaciones analizadas, por ello no se presenta en ningún mes el déficit hídrico, por el contrario, desde el mes de diciembre hasta junio hay excesos, mientras que, de julio a noviembre, aunque son meses secos en los cuales la evapotranspiración supera la precipitación, se alcanza a retener humedad en la estructura del suelo, con una capacidad máxima de almacenamiento de humedad aprovechable de 139.5 mm.

La estación es representativa para la zona norte del municipio, incluyendo las veredas Tierra morada, Cuatro esquinas y parte alta de la vereda Mancilla y El Prado.

Tabla 3 Balance hídrico estación Sabaneta

VARIABLE	UNIDAD	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
ETO	mm/mes	76.6	71.5	76.9	74.0	77.5	78.3	81.9	86.6	81.4	78.47	69.85	72.12
Precipitación	mm/mes	146.4	126.4	130.1	178.5	155.1	115.4	52.5	48.6	52.5	70.4	163.8	213.9
Almacenamiento	mm/mes	139.5	139.5	139.5	139.5	139.5	139.5	110.1	72.1	43.2	35.1	129.1	139.5
Déficit	mm/mes	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Exceso	mm/mes	69.8	54.9	53.2	104.5	77.6	37.1	-	-	-	-	-	131.4

Fuente: Autor.

- **Granja Providencia**

Se presenta déficit hídrico en los cinco meses correspondientes a las temporadas de baja precipitación identificadas anteriormente, siendo febrero el de mayor escasez, pero una vez llegan las lluvias del mes de abril, el suelo empieza a almacenar humedad, hasta el inicio de la segunda temporada seca del año, generando nuevamente un déficit en los meses de septiembre y octubre, a continuación, con la llegada de las lluvias e noviembre, el suelo puede almacenar agua; a pesar de ello en ningún mes se supera el 29 % de la capacidad de

almacenamiento de agua aprovechable en el suelo, que para la ubicación de la estación es de 200.3 mm (IGAC, 2012). La estación refleja las condiciones de la zona oriental del municipio, en donde se ubica la vereda Moyano.

Granja providencia es la estación que presenta los déficits más bajos en comparación con las demás estaciones, (sin considerar a Sabaneta), a pesar de que se presenta escasez en los mismos meses de la mayoría.

Tabla 4 Balance hídrico estación Granja Providencia

VARIABLE	UNIDAD	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
ETO	mm/mes	92.2	84.3	86.7	80.7	79.0	77.6	81.5	84.5	83.6	84.5	80.6	81.9
Precipitación	mm/mes	49.4	31.5	46.1	85.6	103.5	104.6	63.4	52.9	44.0	60.6	102.3	94.9
Almacenamiento	mm/mes	0.0	0.0	0.0	4.9	29.4	56.5	38.4	6.8	0.0	0.0	21.7	34.6
Déficit	mm/mes	8.2	52.8	40.7	-	-	-	-	-	32.7	23.8	-	-
Exceso	mm/mes	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Fuente: Autor.

- **Venecia**

En los dos primeros meses del año se presenta un déficit hídrico de baja magnitud, sin superar los 20 mm, a causa de que el suelo viene haciendo almacenamiento hídrico en los meses de octubre, noviembre y diciembre, es por ello por lo que el impacto de la reducción en la precipitación no es significativo. A pesar de que para las dos temporadas de alta precipitación (abril – mayo y octubre – noviembre), hay importante almacenamiento de humedad, la temporada seca de mediados del año tiene una reducción de gran magnitud en la precipitación, lo que se refleja en el balance con alto déficit en julio, agosto y septiembre.

La estación se ubica en la parte interna del municipio, por lo que es significativa para la región centro y occidental, en donde se ubican veredas como La Tribuna, Los Manzanos, La Selva, entre otras.

Tabla 5 Balance hídrico estación Venecia

VARIABLE	UNIDAD	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
ETO	mm/mes	91.4	84.8	91.4	86.3	88.1	87.4	92.0	97.2	95.0	92.3	80.7	85.5
Precipitación	mm/mes	46.1	65.1	93.1	103.6	91.8	46.0	40.3	43.1	54.1	110.1	114.6	67.2
Almacenamiento	mm/mes	0.0	0.0	1.7	18.9	22.7	0.0	0.0	0.0	0.0	17.8	51.7	33.4
Déficit	mm/mes	12.0	19.6	-	-	-	18.7	51.7	54.1	40.9	-	-	-
Exceso	mm/mes	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Fuente: Autor.

- **La primavera**

Hay un déficit hídrico sostenido al inicio del año a causa a las bajas precipitaciones y la elevada evapotranspiración de estos meses, los valores bajos de humedad relativa propician que la evapotranspiración aumente, Al inicio y mediados del año, siendo este un factor influyente en el régimen hídrico de la zona; para los meses de abril y mayo tan solo se utiliza cerca del 10% del almacenamiento de agua en el suelo. El déficit de mayor magnitud tiene ocurrencia en enero.

Debido al amplio rango que se presenta entre temperaturas mínimas y máximas, la evapotranspiración es más alta que en las demás estaciones, lo que afecta adicionalmente la humedad relativa, esto exige que las plantas tengan un mayor intercambio de humedad con la atmósfera, como se describió anteriormente.

La estación refleja las condiciones climatológicas del sector nororiental del municipio en donde se ubican las veredas Tierra Grata y Tierra Morada.

Tabla 6 Balance hídrico estación La Primavera

VARIABLE	UNIDAD	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
ETO	mm/mes	102.5	93.8	97.6	89.5	91.9	89.6	93.5	96.1	96.8	94.3	87.2	95.1
Precipitación	mm/mes	34.8	46.9	87.6	107.1	91.9	56.5	56.9	48.7	61.6	102.8	83.0	48.5
Almacenamiento	mm/mes	0.0	0.0	0.0	17.6	17.5	0.0	0.0	0.0	0.0	8.6	4.4	0.0
Déficit	mm/mes	67.7	46.9	10.1	-	-	15.5	36.6	47.4	35.2	-	-	42.1
Exceso	mm/mes	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Fuente: Autor.

6.2. TENDENCIAS DE CAMBIO CLIMÁTICO EN EL MUNICIPIO DE FACATATIVÁ.

Una vez conocidas las condiciones climáticas promedio del municipio, se procede a analizar las tendencias de las series anuales reportadas para las estaciones seleccionadas. A pesar de que el cambio climático es un fenómeno global se presentan efectos locales (Gupta et al., 2007), lo que interpreta que a pesar de existir tendencias sostenidas a nivel mundial como el aumento de las temperaturas, que genera acidificación de los mares, derretimiento de glaciares, entre otros, a nivel local se produce una alteración de los patrones climáticos que puede llevar al aumento o reducción de la temperatura y precipitación, y por consiguiente la modificación de otras variables relacionadas, lo que requiere análisis de

estas variables a una escala más específica para generar soluciones adecuadas para la adaptación y la planificación territorial (Reyes-García et al., 2016).

Es por ello que después de analizar 13 estaciones climáticas para precipitación y 11 para temperatura se encontraron diferentes tendencias para el territorio analizado según las regresiones realizadas; la tendencia general de las estaciones en Facatativá y municipios circundantes es al aumento progresivo de la temperatura media, mínima y máxima, así como el aumento de la precipitación como se observa en la **Tabla 7**, Se presenta un máximo gradiente de aumento de las temperaturas media, máxima y mínima en la estación La Primavera, pero también se observan inclinaciones puntuales a la reducción en la temperatura media y máxima anual (Venecia y Base aérea Madrid), así como una reducción leve en la precipitación total (La Florida y Sabaneta).

Esta diversidad de tendencias y en especial el decrecimiento en la temperatura y precipitación en algunas estaciones, es derivada de factores como la altitud, el relieve, la humedad del suelo, la cobertura de la tierra, así como la variabilidad estacional derivada de El Niño Oscilación del Sur, que revelan efectos puntuales del cambio climático, pero no modifican la tendencia generalizada de la región y el mundo en el aumento de la temperatura (Kennedy, 2020; Vose et al., 2017; Bandopadhyay, 2016).

El aumento de la precipitación está directamente ligado al aumento de la temperatura generalizado en la región, ya que una atmósfera más cálida tendrá mayor capacidad de almacenar humedad, así mismo aumenta la evapotranspiración lo que implica en mayor agua disponible en la atmosfera para precipitar.

Tabla 7 Tendencias de temperatura y precipitación en estaciones de Facatativá y municipios circundantes

Estación	Municipio	Tendencia Temperatura Media (°C/año)	Tendencia Temperatura Máxima (°C/año)	Tendencia Temperatura Mínima (°C/año)	Tendencia Precipitación total (mm/año)
La Primavera [2120557]	El Rosal	0.0891	0.0854	0.0952	3.1959
Venecia [2120629]	Facatativá	-0.0042	-0.0274	0.0126	2
El Corazón [21201070]	Facatativá	-	-	-	12.96
Tibaitata [21205420]	Mosquera	0.0234	0.0417	0.0428	4.2671
Mercedes Las [21205660]	Anapoima	0.0274	0.0157	0.0274	3.4799
La Florida [21205670]	Anolaima	0.0446	0.0596	-0.0071	-4.4797
Granja San Jorge [21205720]	Soacha	0.0299	0.0562	-0.0027	2.6947
Base Aérea Madrid [21205770]	Madrid	-0.0265	-0.0168	0.0451	12.098
Granja Providencia [21205980]	Tenjo	0.0246	0.0505	0.075	4.527
Casablanca [21206060]	Madrid	-	-	-	6.3067
Primavera D Matima [21206180]	Anolaima	0.017	0.0229	0.0174	6.2092
Sabaneta [23065100]	San Francisco	0.0233	-0.0049	0.0142	-0.6387
La Cabrera [23065120]	Pacho	0.0107	0.0384	0.0183	3.3333

Fuente: Autor.

En la **Figura 13** se presenta la distribución espacial de los gradientes de temperatura, evidenciando que la totalidad del municipio ha venido presentando una tendencia al aumento de la temperatura media entre 0.0 °C/año, a 0.03 °C/año, con un promedio de 0.02 °C/año en todo el municipio, por su parte la temperatura máxima presenta un rango entre los -0.026 °C/año y 0.05 °C/año, influenciados por el gradiente determinado por las estaciones Venecia y La Primavera con las causas mencionadas anteriormente, la tendencia promedio de la temperatura máxima para Facatativá es de 0.0015 °C/año; finalmente, la temperatura mínima posee tendencias que van desde los 0.01 °C/año a los 0.07 °C/año, con un promedio territorial de 0.025 °C/año, se observa una tendencia clara entre los valores mínimos presentados hacia el sector occidental del municipio, que tiene una altura sobre el nivel del mar mayor como un relieve montañoso, a diferencia del sector oriental en donde se observan tendencias más altas, siendo una zona más plana y con coberturas menos densas.

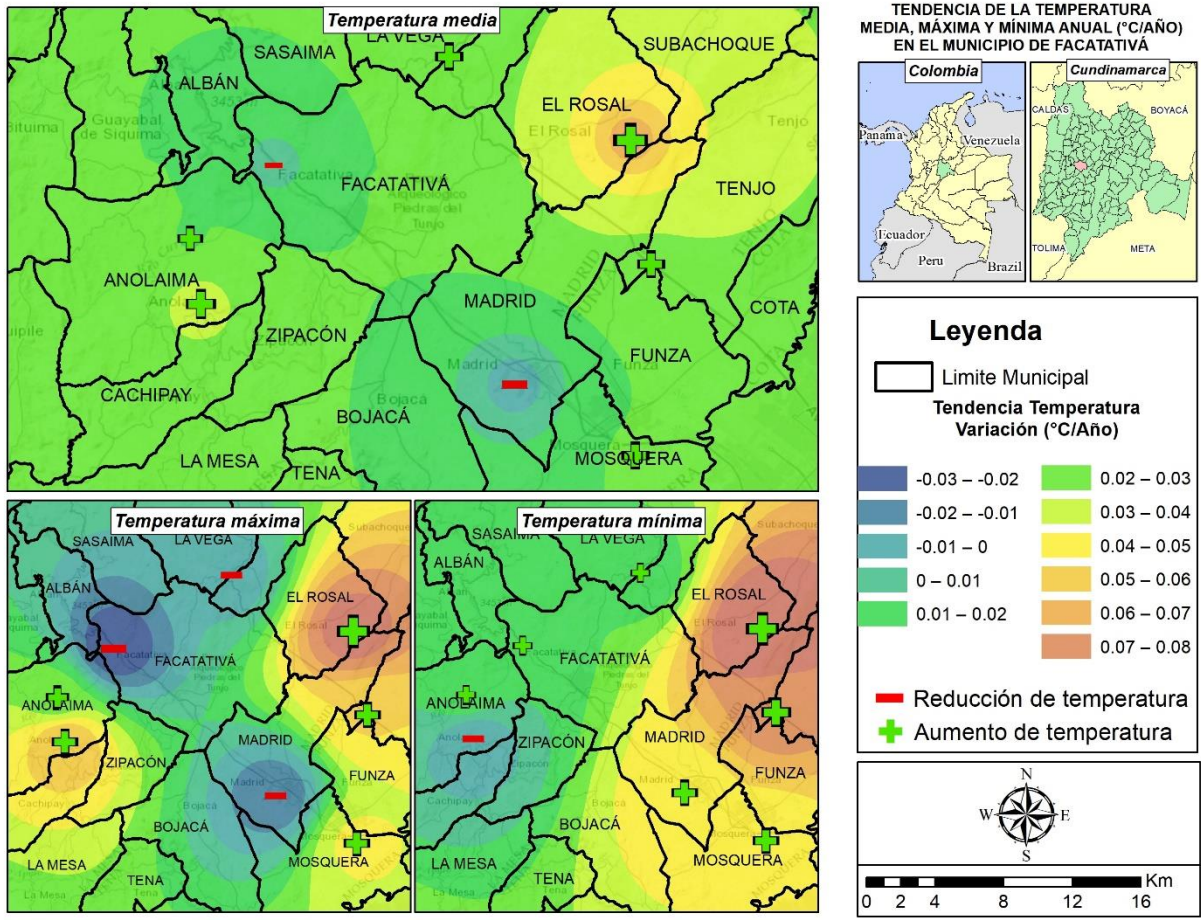


Figura 13 Tendencia de la temperatura media, máxima y mínima anual (C/Año) en el municipio de Facatativá. Fuente: Autor.

Por su parte, la precipitación en todo el municipio ha presentado una tendencia al aumento, con valores entre los 3.0 y 12.0 mm/año con una media de 4.9 mm/año; en términos generales se observa una relación inversamente proporcional entre la precipitación total anual (**Figura 3**) y la tendencia de la variación de la precipitación (**Figura 14**), evidenciando que las zonas que presentan mayor precipitación han tenido menor tendencia al aumento de las lluvias como en la zona norte en límites con el municipio de La Vega, así como en la región occidental en límites con la Albán y Anolaima, mientras que las zonas con precipitaciones más bajas poseen tendencias más altas, como lo evidencia la zona sur oriental, en límites con el municipio de Madrid y el Nororiente en límites con El Rosal.

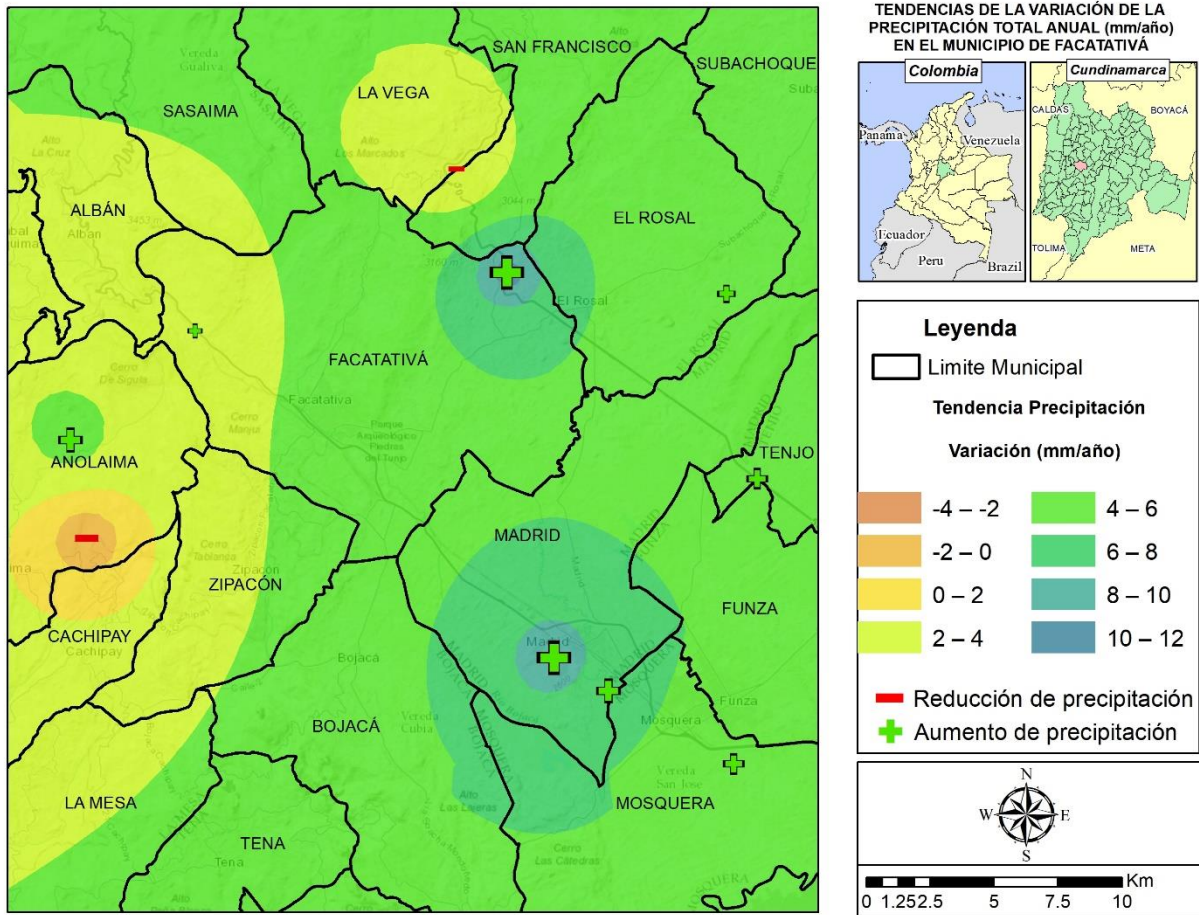


Figura 14 Tendencia de la variación de la precipitación total anual (mm/año) en el municipio de Facatativá. Fuente: Autor.

El cambio en la magnitud de las temperaturas ha traído consigo aumento en la evapotranspiración, lo que implica un mayor intercambio de gases con la atmosfera y pérdida de agua, en caso de que el suelo no llegara a tener la cantidad requerida de humedad, las plantas entran en estrés hídrico, provocando su marchitamiento.

A pesar de que la tendencia al aumento de la precipitación lleva a pensar que ha venido existiendo una mayor disponibilidad de agua, las tendencias referidas no han sido equitativas a lo largo de los años, sino que se han venido manifestando con fenómenos extremos que modifican las condiciones promedio, efecto de ello es que en los últimos años se han venido intensificando y haciendo más frecuentes los fenómenos relacionados con El Niño Oscilación del Sur (Rojo-Hernández et al., 2020; Cai et al., 2014), provocando mayor cantidad de emergencias relacionadas con inundaciones, incendios forestales y deslizamientos, que han afectado el municipio y en general el territorio nacional (Guarín,

2018); Por ello, la distribución desproporcionada de la precipitación facilita el desarrollo de déficit hídrico extremo en algunas temporadas y excesos de agua en otras.

De seguir las tendencias como se han venido comportando, para el 2050 se esperaría un aumento promedio de la temperatura media entre -0.008 °C hasta 0.99 °C, temperatura máxima entre -0.88 hasta 1.57 °C y mínima entre 0.35 °C hasta 2.16 °C, mientras que la precipitación aumentaría entre 68.0 mm a 406.2 mm, sin embargo, estos valores pueden variar dependiendo de factores como las políticas a nivel mundial sobre cambio climático, la variabilidad estacional derivada de la zona de confluencia intertropical y los eventos de El Niño Oscilación del Sur.

Tomando en cuenta lo anterior, el cambio climático tiene efectos directos en los sistemas productivos agroalimentarios, entre los que se identifica estrés hídrico y estrés térmico, disminución de la estación de crecimiento y mayor proliferación de plagas y enfermedades, lo que produce la reducción del rendimiento de los cultivos, traduciéndose en pérdidas económicas y de seguridad alimentaria, lo que pone en riesgo las sociales, económicas y ambientales del municipio (Owen, 2020; Fernandez, 2013), estos efectos serán relacionados a continuación según las condiciones establecidas a partir de los agricultores locales.

6.3. EFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LA AGRICULTURA DEL MUNICIPIO DE FACATATIVÁ

6.3.1. Caracterización de la agricultura en Facatativá.

El sector primario es el principal movilizador de la economía de Facatativá, en donde se destaca la agricultura, gracias a la fertilidad del suelo así como el clima, lo que permite que el municipio sea un referente en la Sabana de Bogotá, en este sentido, se destaca la explotación a gran escala bajo invernadero (floricultura), y en una segunda posición se ubican los cultivos con finalidad alimentaria (Municipio de Facatativá, 2019), siendo estos segundos los de interés para la presente investigación.

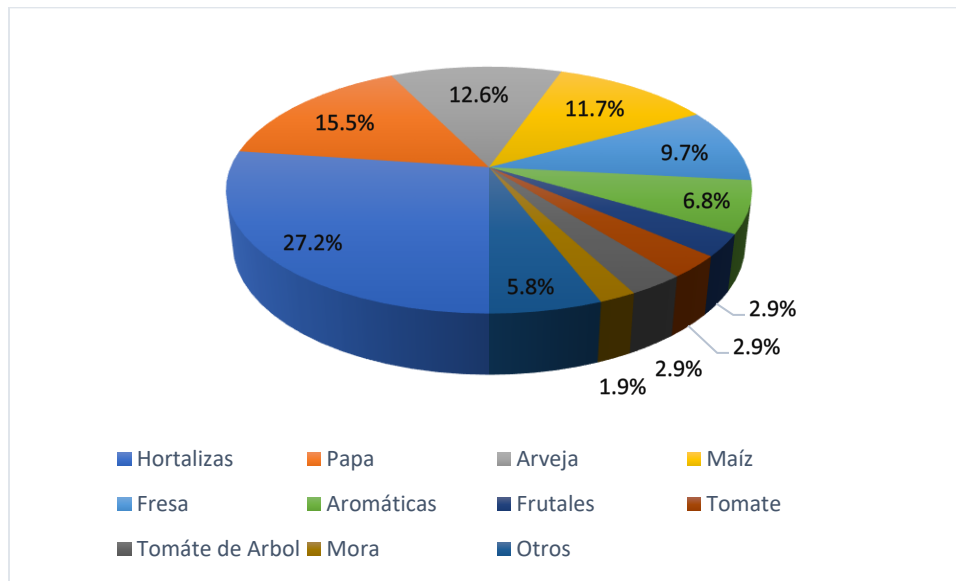
Los sistemas productivos agroalimentarios identificados en Facatativá se agruparon en tres categorías:

1. Agricultura familiar: Caracterizados por ser sistemas que usan principalmente mano de obra familiar, siendo explotaciones que generalmente se desarrollan a pequeña escala (Calderón-Ricardo, 2017), encontrando que en el municipio se ubican en áreas inferiores a 1.0 Ha, la mayor parte de los sistemas agroalimentarios del municipio se desarrollan bajo esta categoría con un 50.8 % según la muestra.
2. Mediana agricultura: Por la extensión relativa de los cultivos dentro del municipio, se agrupan en la categoría de mediana agricultura aquellos que son aproximadamente inferiores a 10.0 Ha y que realizan contratación de mano de obra, el 34.4 % de los sistemas productivos muestreados pertenecen a esta categoría.
3. Gran agricultura: Consiste en sistemas de cultivos superiores a las 10.0 Ha, que requieren contratación de mano de obra externa, agrupando el 14.8 % de los sistemas encuestados. A pesar de que las tres categorías podrían considerarse agricultura a pequeña escala, el grado de parcelación del municipio hace que tan solo el 9.8 % de predios rurales de Facatativá sean superiores a las 10.0 Ha según la base de datos catastral (IGAC, 2018), con la precisión que muchos de estos predios tienen cobertura mayormente en pastos o áreas naturales, reduciendo el área de cultivos, por lo que el desarrollo de sistemas agroalimentarios en un área superior a las 10.0 Ha se considera gran agricultura para la presente investigación.

Aunque la mayor parte de los agricultores encuestados subsisten directamente de la producción agrícola, se encontraron algunos productores cuya actividad económica principal es la ganadería y el comercio, precisamente los sistemas agrícolas de Facatativá son complementados con sistemas pecuarios en un 52.5 %, siendo relevantes la explotación de especies de ganado bovino y avicultura.

Los cultivos con mayor proporción de unidades productivas en el municipio son Papa, Maíz, Hortalizas y Fresa como se presenta en la **Figura 15**, siendo estos los de mayor tradición en Facatativá, ya que los agricultores que los producen llevan haciéndolo entre 10 y 30 años aproximadamente, sin embargo, al tener en cuenta los cultivos menos tradicionales, solo poco más de la tercera parte de los agricultores (34.4 %) llevan más de 10 años desarrollando su actividad.

Figura 15 Unidades productivas por sistemas agroalimentarios en Facatativá



Fuente: Autor.

Los cultivos tienen áreas reducidas, siendo en su totalidad minifundios, el 59% de las áreas cultivadas dentro del sistema agrícola son iguales o inferiores a 1.0 Ha, mientras que el promedio de área cultivada es de 2.7 Ha.

6.3.2. Percepción e impacto del cambio climático.

El 60.7 % de la muestra refiere haber sufrido pérdidas en los últimos años (2019 y 2020), argumentando en su mayoría causas relacionadas con el clima, destacando la intensificación de heladas, sequías y lluvias fuertes, así mismo se refieren causas como plagas y enfermedades, que se relacionan de manera directa con las condiciones climáticas como facilitadoras de su proliferación y aceleración de ciclos de vida (Eitzinger et al., 2014); de igual manera se mencionaron motivos comerciales que se incrementaron a partir de marzo del 2020 derivado de las restricciones de movilidad y comercialización por causa de la pandemia por COVID-19, pero también motivados por la dinámica de precios de los comerciantes e intermediarios; las anteriores causas y en especial las de origen climático, han llegado a generar hasta el 100% de las pérdidas de sus cultivos. Así mismo se revela que cerca del 46 % de la muestra han llegado a perder más de la mitad de productividad en sus cultivos por causas relacionadas con el impacto del cambio de la temperatura y precipitación.

Al relacionar la categoría del sistema con el nivel de pérdidas, se observa en la **Figura 16** que la totalidad de sistemas desarrollados bajo la gran agricultura han presentado pérdidas de sus cultivos, incluso el 78 % han presentado pérdidas mayores a la mitad de sus productividades, en comparación con lo observado en los sistemas de agricultura familiar, en donde el 80.6 % han presentado pérdidas de alguna magnitud, pero solo el 35.5 % tuvieron pérdidas superiores a la mitad del cultivo, lo cual es un indicador de que cuanto más complejo se hacen los sistemas agroalimentarios, estos podrán ser más susceptibles a presentar pérdidas, ya que por extensión tiene mayores probabilidades de ser afectados por factores adversos, como los mencionados en el párrafo anterior.

A pesar de lo anterior, debe acotarse que los sistemas productivos de tipo familiar son los más vulnerables, ya que las pérdidas de los cultivos pueden hacerles más daño desde el punto de vista económico y social, en términos de trabajo, seguridad alimentaria, ingresos, entre otros (Williams et al., 2020; FAO, 2014).

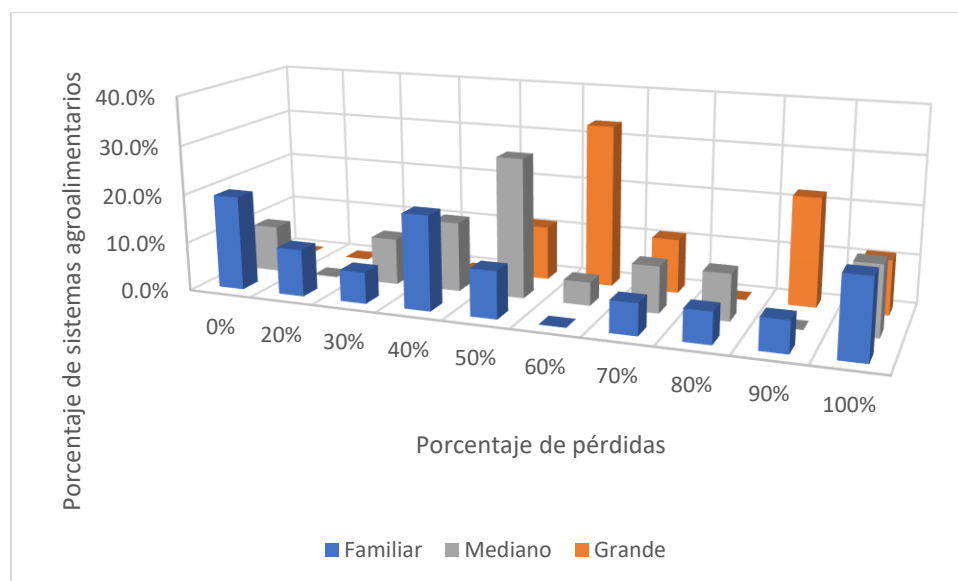


Figura 16 Niveles de pérdidas relativos por sistema productivo agroalimentario Fuente: Autor.

El 36.1 % de la muestra indica que la productividad era mayor cuando empezaron a cultivar, argumentando causas relacionadas con el cambio climático, déficit de agua, degradación del suelo por su explotación intensiva y uso de agroquímicos, mientras que el 29.5 % de los sistemas agroalimentarios tienen en la actualidad mayor productividad derivado de factores como la tecnificación y uso de insumos agrícolas más eficientes.

Como se observó en la sección 6.1, los factores climáticos tienen una importante variabilidad estacional y cambios sostenidos a lo largo de los años, lo anterior se relaciona directamente con el volumen de los recursos hídricos aprovechables en los sistemas productivos agroalimentarios; el 55.7 % de los productores mencionan que al pasar de los años el recurso hídrico ha venido reduciéndose, a pesar que el análisis de los datos climatológicos y las tendencias resultantes en la **Tabla 7** muestren que las tendencias de la precipitación en la mayoría de los casos van hacia el aumento.

Esta aparente contrariedad se explica a partir de fenómenos de variabilidad climática como la confluencia intertropical y El Niño oscilación del sur, acompañados por efectos del cambio climático, los cuales modifican los patrones de precipitación y temperatura, haciéndose cada vez más extremos y frecuentes (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia, 2014), lo que lleva a ver desde una escala temporal anual o superior el aumento progresivo de la precipitación, pero en escalas diarias y mensuales se presenta una distribución de las lluvias de forma heterogénea, generando que las fases secas o de déficit hídrico sean más prolongadas que la etapa lluviosa o de excesos como se muestra en los balances hídricos realizados desde la **Tabla 2** hasta la **Tabla 6**.

Es por ello, que en las fases prolongadas de déficit hídrico no se logra satisfacer la tasa de evapotranspiración, provocando efectos adversos en los cultivos como el marchitamiento y pérdida de rendimiento de los cultivos, muestra de ello es que en el 60.7 % de los sistemas agroalimentarios se considera que el recurso hídrico (precipitación, aguas superficiales, aguas subterráneas) no satisface las necesidades de sus cultivos.

Además de los factores climáticos, en Facatativá se presenta presión sobre la disponibilidad de agua para los sistemas agroalimentarios por captaciones ilegales, aumento de la demanda para uso doméstico influenciado por el crecimiento poblacional y migración de personas desde la capital del país, aumento de la ganadería y reducción de la vegetación en las rondas hídricas (Calderón-Ricardo, 2017), elementos que finalmente llevan a reducir el volumen de agua aprovechable para los agricultores.

Por otro lado, la percepción generalizada de la temperatura coincide con las tendencias encontradas en la **Tabla 7**, ya que la mayoría de los agricultores mencionan que la temperatura ha venido amentando, esto, como se describió anteriormente, tiene un efecto

directo sobre el aumento la evapotranspiración; de hecho más del 80 % de los agricultores mencionan que estos cambios en temperatura y precipitación han alterado de forma negativa la producción de los sistemas agroalimentarios.

Las anteriores percepciones que lleva a establecer que el cambio climático tiene una incidencia directa sobre la disponibilidad de agua en Facatativá derivado de los fenómenos meteorológicos extremos que se vienen haciendo más frecuentes, lo que a su vez se traduce en cultivos con bajos rendimientos y pérdidas considerables de las cosechas. Aunque el 54% de la muestra menciona haber realizado cambios de cultivo o variedad en sus parcelas, en ningún caso se aduce un cambio por variedades mejoradas que de adapten, por ejemplo, a las sequías, sino más bien, refieren causas económicas y de productividad.

6.4. ESTRATEGIAS DE ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO EN EL MUNICIPIO DE FACATATIVÁ

En una primera fase se presentan los mecanismos que han venido usando los productores agroalimentarios de Facatativá para mejorar los rendimientos y que según la percepción de ellos les sirve para adaptarse a los efectos del cambio climático, allí se evidenció que la mayor proporción encamina sus procesos de adaptación a hacer una gestión más eficiente del agua, con base en ello, en la segunda fase se integraron los conocimientos locales con estrategias encontradas en fuentes secundarias como artículos científicos y documentos técnicos de diversas organizaciones, pudiendo proponer 4 mecanismos que permiten adaptarse al cambio climático en los sistemas productivos agroalimentarios del municipio.

6.4.1. Adaptación implementada

El 62.3 % de los agricultores mencionan haber tomado medidas para mejorar el rendimiento de sus sistemas productivos, entre las prácticas que se destacan: Rotación de cultivos consistente en la alternación de diferentes cultivos en el mismo terreno una vez finalizada la cosecha, lo que permite que el suelo sufra un menor desgaste; el uso materia orgánica para conservar la humedad en el cual los agricultores usan hojas secas y restos de otras cosechas para aumentar los nutrientes y proteger el suelo. Algunos agricultores realizan biopreparados para generar sus propios fertilizantes y fungicidas, en primer lugar, hacen aprovechamiento del estiércol generado por las actividades pecuarias anexas al

sistema para mejorar las propiedades del suelo, así como la realización de bioplaguicidas a base de ají, cebolla, ortiga o ruda.

Por otro lado, para aumentar la productividad se vienen tecnificando los sistemas de riego, haciendo uso de bombas para aspersión o goteo, haciendo más eficiente la distribución del agua. Otras técnicas implementadas en menor proporción son el uso de microorganismos eficientes, y agroecología. La totalidad de estas prácticas mencionadas son usadas por los agricultores para mejorar la productividad en toda ocasión, y no son consideradas por ellos como estrategias para adaptarse al cambio climático, por lo que también se indagó por técnicas específicas para enfrentar los impactos del clima en sus cultivos.

En este sentido, las dos terceras partes de la población muestreada indica haber implementado prácticas para reducir la vulnerabilidad ante fenómenos climáticos entre las que se destaca principalmente el aprovechamiento de aguas lluvias mediante reservorios, canales y tanques de almacenamiento; uso de barreras arbóreas con el fin de generar sombrío y controlar la temperatura; acolchado vegetal consistente en el uso de materia orgánica seca sobre el suelo sembrado para mantener la humedad; sistemas de riego tecnificados como los descritos en el párrafo anterior, combinados con la extracción y uso de aguas subterráneas, y en la temporada de mínimas temperaturas (diciembre – enero) los agricultores realizan fogatas para subir la temperatura y evitar el impacto de las heladas.

Lo anterior revela, que aunque una importante proporción de agricultores está tomando medidas para mejorar sus cultivos y hay una importante variedad basada en el manejo del agua, la vegetación y el suelo, tan solo las relacionadas con el manejo de aguas lluvias y uso de materia orgánica seca están siendo efectivas según la correlación con las pérdidas presentadas, de hecho el 21.3 % de la totalidad de sistemas muestreados mencionaron haber hecho gestión de las aguas con pérdidas nulas o inferiores al 40 % de su producción.

Feldman & Cortés (2016) mencionan con base en una recopilación documental que las estrategias de adaptación de bajo costo que se están implementando en muchas zonas del mundo (como modificar las fechas de cultivo o cambiar las variedades) son únicamente efectivas en escenarios de bajo aumento de temperatura, por lo que se requiere la implementación de medidas de adaptación que involucren componentes locales, regionales, nacionales e incluso internacionales; en contraste las medidas que pueden resultar más

eficientes como la tecnificación de los sistemas de riego son demasiado costosas para la agricultura a pequeña escala (Feldman & Cortés, 2016).

Es por ello por lo que se ve la necesidad de adecuar las estrategias de adaptación planteadas por los agricultores locales, así como formular otras con base en estudios realizados alrededor del mundo en condiciones similares a las de Facatativá y con base en los impactos identificados en fases anteriores; a continuación, se presentan los mecanismos propuestos por la actual investigación.

6.4.2. Propuesta de estrategias de adaptación

Con base en la revisión bibliográfica y los conocimientos de los agricultores locales, se plantean mecanismos con posibilidad de ser implementados en Facatativá, configurándose como estrategias principalmente basadas en ecosistemas (AbE), de las cuales se ha demostrado su potencial de resiliencia, aportando beneficios económicos, sociales y ecológicos (Reid et al., 2019), lo que se traduce en agricultura sostenible y con mejores resultados tomando en cuenta que la mayor proporción de la agricultura que se da en Facatativá es de tipo familiar o a pequeña escala.

Zanjas de infiltración:

En vista de la potencial pérdida de agua que sufren los suelos a causa de los fenómenos climáticos extremos, y el aumento proporcional de la temperatura a causa del cambio climático, así como la pérdida de nutrientes y calidad del suelo por medio de los procesos erosivos subsecuentes, se ve la necesidad de conservar la humedad del suelo mediante la técnica de zanjas de infiltración.

Estas son trincheras excavadas a nivel en dirección transversal a la pendiente en zonas de ladera, generalmente son complementadas con una acumulación de tierra en la parte inferior o superior (**Figura 17**), estas permiten recoger el agua que escurre por la pendiente en temporadas de alta precipitación, pero además almacena y suministra humedad en temporadas secas, a los cultivos que se ubiquen en las partes inferiores del canal, el proceso se realiza por medio de la captura y almacenamiento del agua de escorrentía procedente de alturas superiores (Bunn et al., 2013; Singh, 2009).

Esta estrategia se alinea con la práctica de los agricultores locales de recolección de aguas lluvias, pero además aporta a la recarga de aguas subterráneas que son usadas en algunos

sistemas productivos, así mismo es una técnica que aporta a la conservación del suelo reduciendo la erosión laminar (Locatelli et al., 2020; Wang et al., 2020).

Su rango de efectividad está con precipitaciones entre los 500 y 1000 mm/año, y en pendientes entre el 8 y 30 % en suelos bien drenados, por su tiempo de desarrollo se recomienda su uso para cultivos anuales (UNEA & FAO, 2011), condiciones por las cuales puede tener su implementación adecuada en el municipio, en las zonas principalmente montañosas.

Antes de excavar la zanja, se debe medir la pendiente con la construcción de un nivel “tipo A” con el fin de que estas queden trazadas según las curvas de nivel, el dispositivo se fabrica a partir de dos listones, bolillos o tablas de 2,0 m, que son unidas en uno de sus extremos, mientras que el otro extremo se abre generando un ángulo de 30° aproximadamente, para dar estabilidad se une una tercera tabla o bolillo en la parte media, quedando algo similar a una letra “A”. En la parte superior se sujeta una cuerda con un elemento que sirva de peso (roca, botella con agua, trozo de metal) para que sirva de plomada, de esta manera se puede determinar cuándo dos puntos en el mismo terreno están sobre el mismo nivel para poder realizar la excavación. La FAO recomienda que sean zanjas de 2 metros de largo, 0.5 m de profundidad y 0.5 m de ancho, dejando tabiques entre zanja de 30 cm, el suelo removido se coloca a unos 10 - 20 cm pendiente abajo, en donde se recomienda establecer especies herbáceas para evitar la erosión y retener el suelo, estas trincheras se ubican pendiente arriba del cultivo con el fin de que el agua fluya por escorrentía y se infiltre en el cultivo manteniendo la humedad del suelo (UNEA & FAO, 2011).

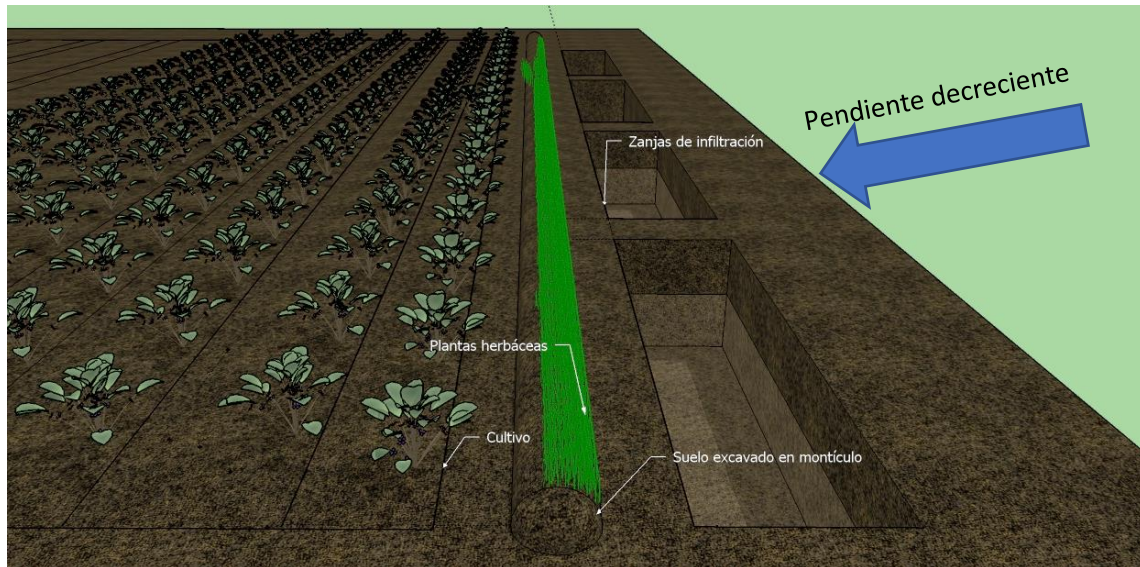


Figura 17 Esquema de propuesta de Zanjales de infiltración. Fuente: Autor.

Para el funcionamiento adecuado de las zanjales, se recomienda que se mejore la cobertura vegetal para reducir la erosión y evitar que se colmaten, realizar mantenimiento removiendo sedimentos y ajustando las paredes, así como evitar el tránsito de ganado por los bordes para evitar derrumbarlas; sin embargo se recomienda que los sistemas productivos hagan ensayos con las zanjales para determinar la magnitud del aprovechamiento de humedad (Locatelli et al., 2020). Esta estrategia permite aprovechar y distribuir mejor el agua en periodos de lluvias que se vienen intensificando, en concordancia con el potencial de aprovechamiento de estas según lo referido por los agricultores locales.

Mulching:

Esta es una práctica agrícola en la que se usa material sea orgánico o plástico para cubrir el suelo, con la finalidad de protegerlo, mejorar la fertilidad, controlar la humedad y evitar la erosión (Suárez, 2019).

El proceso de mulching o acolchado se viene dando tradicionalmente en cultivos de fresa, en donde se hace uso de una película plástica negra con el fin de evitar que los frutos entren en contacto directo con la tierra, conservar la humedad del suelo y evitar malas hierbas, sin embargo, algunos de los encuestados mencionaron tener acolchados con materia orgánica.

La práctica del Mulching puede ser usada como estrategia para la adaptación ante el cambio climático a causa de que incrementa la infiltración y evita la evaporación del agua del suelo por medio del bloqueo que ejerce el acolchado sobre la incidencia directa de los rayos del

sol, lo cual es útil en los periodos de intensificación de las sequías, mientras que en presencia de fenómenos extremos de lluvias, este material absorbe la energía cinética de la lluvia, lo que puede evitar el desarrollo de procesos erosivos, de igual manera, la práctica ayuda a regular la temperatura del suelo, manteniéndola constante a pesar de ocurrencia en temporadas frías o cálidas. que ejerce el acolchado puede potenciar la productividad (Ye et al., 2021; Zribi et al., 2011).

Entre los materiales con los cuales se puede realizar el acolchado se encuentran inorgánicos como plásticos, textiles o membranas, y orgánicos como aserrín, paja, cascarilla de cereales, restos de poda, cortezas y hojas secas, entre otros; además, de acuerdo con Hartwig & Ammon (2002), se puede considerar una categoría de acolchados vivos, los cuales son cultivos bajos plantados antes o con el cultivo principal manteniendo una cobertura durante la etapa de crecimiento.

Es recomendable hacer uso de acolchados orgánicos (**Figura 18**), ya que los inorgánicos suelen contaminar los campos al tener bajas tasas de biodegradación, además su reciclaje es complejo por encontrarse mezclados con suelo y en muchos casos con insumos agrícolas lo que hace más difícil su separación y aprovechamiento posterior, mientras que el uso de material orgánico no contamina y permite la infiltración adecuada de agua en el suelo, promueve el desarrollo de fauna edáfica, proliferación de raíces, favorece la porosidad del suelo, y el proceso de descomposición forma agregados más estables que aumenta la fertilidad del suelo mediante la interacción con CO_2 y O_2 (Zribi et al., 2011; Altieri & Nicholls, 2008), además los acolchados orgánicos son más efectivos que los inorgánicos en el control de pérdidas de agua y la conservación de la calidad del suelo (Li et al., 2020).

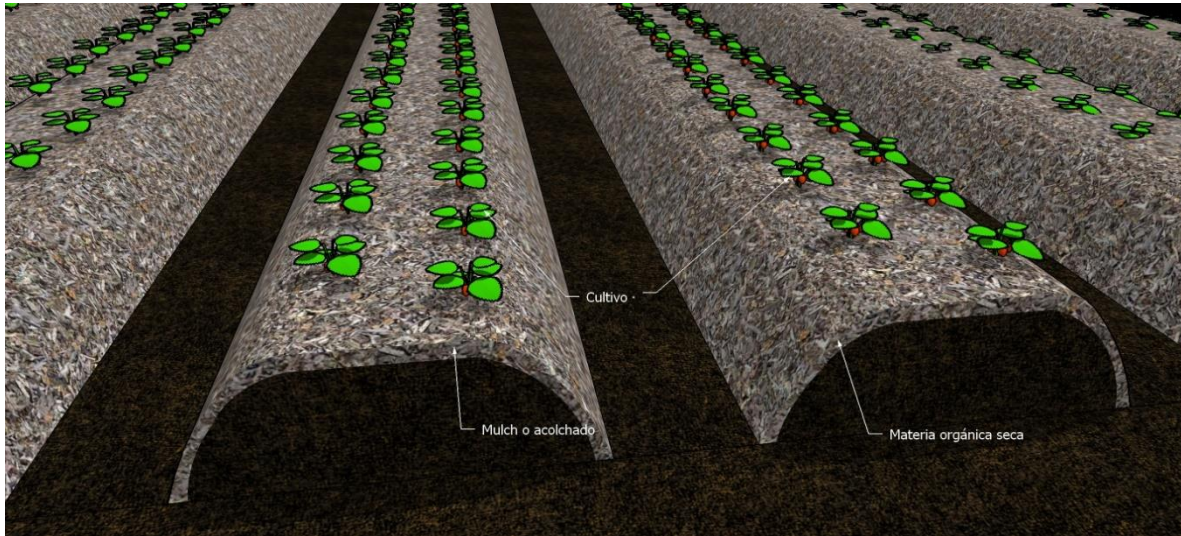


Figura 18. Esquema de propuesta de Mulching o acolchado orgánico. Fuente: Autor.

Es recomendada la implementación de esta técnica en cultivos frutales, vegetales como hortalizas, papa y maíz, así como fresa, en los cuales se ha demostrado la mayor efectividad del mulching para los beneficios mencionados anteriormente (Hartwig & Ammon, 2002), por sus costos y requerimientos de espacio puede ser implementada por agricultores familiares y medianos.

Cosecha de agua lluvia

La variabilidad de la lluvia encontrada en la primera fase de la presente investigación lleva a desarrollar estrategias que permitan aprovechar el agua de las temporadas de alta precipitación en momentos de escasez; es por ello por lo que, alineado con lo que realizan los agricultores locales se propone la implementación de esta estrategia.

La cosecha de agua radica en la captación, almacenamiento y aprovechamiento de aguas lluvias mediante diferentes construcciones o estructuras, con el fin de usarla en diferentes actividades en temporadas secas, también puede ser aprovechada el agua contenida en la niebla, captándola mediante membranas o mallas (Critchley & Gowing, 2012; Mongil & Martinez, 2007), sin embargo, por las condiciones meteorológicas de Facatativá, la niebla no es un fenómeno frecuente.

En algunos casos se ubican viviendas dentro de los predios productores, por lo que se viene aprovechado el techo de estas como captación y transportado mediante canales y bajantes a tanques o reservorios, en promedio una vivienda común de 40 m² podría llegar a captar

hasta 29500 litros al año según las precipitaciones de Facatativá (considerando pérdidas y evaporación).

UNEA & FAO (2011), así como Palma et al., (2011) mencionan que una forma eficiente para realizar el almacenamiento de aguas lluvias es mediante aguadas o reservorios construidos en la superficie del terreno, estos se pueden llenar con la misma lluvia que cae directamente sobre su superficie, pero podría ser complementado mediante el transporte de agua por una tubería mediante la captación de techo mencionada en el párrafo anterior.

La implementación de esta estrategia puede ayudar a reducir significativamente el déficit hídrico que se hace más frecuente con la intensificación de fenómenos extremos de baja precipitación, logrando disponer agua para riego en los cultivos e incluso para dar de beber al ganado, evitando pérdidas de gran magnitud (Bunclark et al., 2018; Goetter & Picht, 2011), como además se demostró con lo que vienen desarrollado algunos productores de Facatativá.

Esta estrategia sería óptima en sistemas productivos de mediana y gran agricultura mediante el complemento con aguadas que suelen ocupar más espacio, mientras que en sistemas productivos familiares o pequeños se recomienda el uso de tanques para hacer una gestión más adecuada del espacio (**Figura 19**), de igual manera puede ser integrada con las zanjas de infiltración o ubicando tanques enterrados aprovechando la topografía para ubicar láminas o membranas pendiente arriba, y que por efecto de la pendiente, el agua escurra a este almacenamiento (JICA, 2015), como se observa en la **Figura 20**.

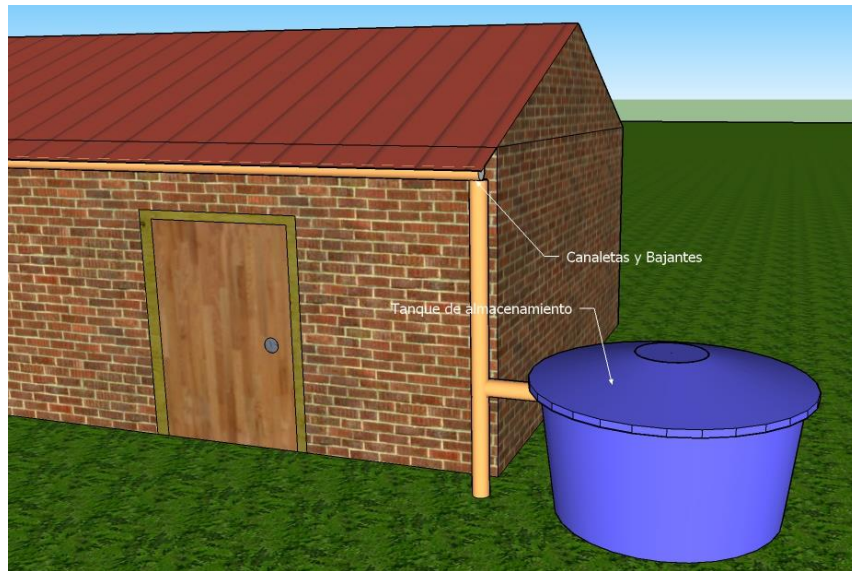


Figura 19 Esquema de Propuesta cosecha de agua con vivienda. Fuente: Autor.

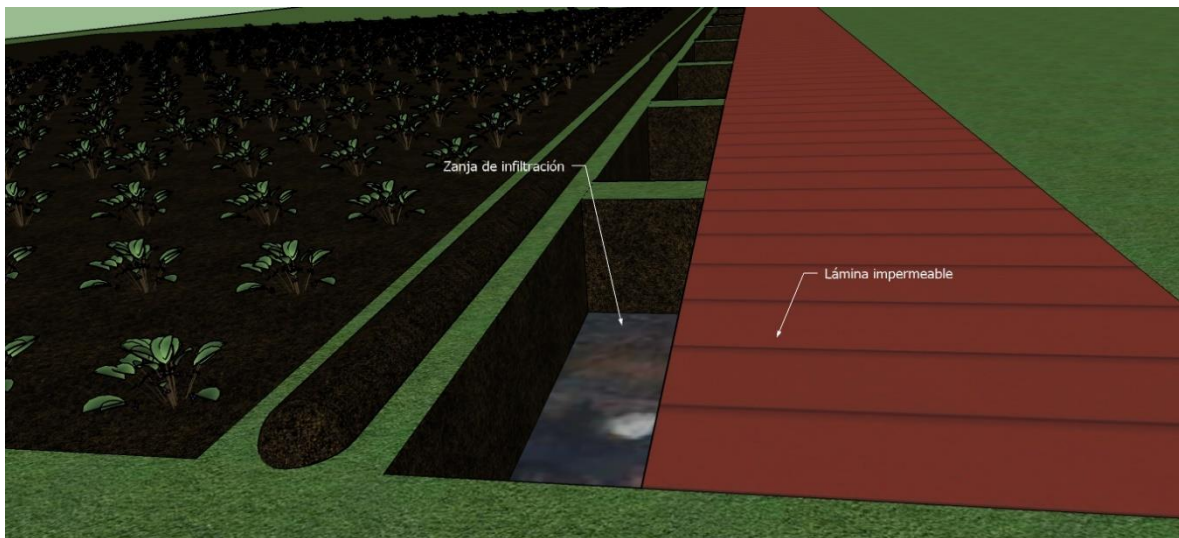


Figura 20 Esquema de propuesta cosecha de agua complementada con zanjas de infiltración. Fuente: Autor.

Estudios presentan que la cosecha de agua se convierte en una estrategia de adaptación al cambio climático en los sistemas productivos agroalimentarios, permitiendo mantener el suministro de agua para épocas de sequía que se vienen haciendo más constantes (Bunclark et al., 2018; Tessema et al., 2018).

Policultivos – Agroforestería

Los policultivos son reconocidos dentro de la producción orgánica o ecológica como un mecanismo de producción de dos o más cultivos que se asocian en un mismo momento, usando la misma parcela o área, de esta forma se aprovecha más eficientemente el suelo disponible (Sierra-Roncancio et al., 2015).

Entre las ventajas de este sistema se encuentra la obtención de mayores rendimientos de los cultivos, la posibilidad de aprovechar mejor las áreas en donde los predios son pequeños derivado de las condiciones socioeconómicas y en algunos casos la reducción de la incidencia de plagas, enfermedades y malezas (Liebman, 1997).

Esta estrategia se puede integrar directamente con la práctica que se viene llevando a cabo en algunos sistemas productivos como lo son las barreras arbóreas, convirtiéndola en un proceso de agroforestería, al complementar los cultivos bajos con especies de alto porte (árboles, arbustos, etc.) (**Figura 21**) mediante el cual genera un efecto de sombra que produce un microclima en el terreno, controlando la cantidad de radiación solar que llega a las plantas, regulando las temperaturas, evitando la evaporación de agua del suelo mejorando la cantidad de humedad disponible, distribuyendo mejor la lluvia lo que evita la erosión, y reduciendo la velocidad del viento (FAO, 2017; Martínez-Rodríguez et al., 2017), factores que pueden reducir las tasas de evapotranspiración.

Para la puesta en marcha de esta práctica se recomienda hacer uso de cultivos de especies de porte mediano – alto con potencial de crecimiento y productividad en el rango climático de Facatativá como tomate de árbol, feijoa, laurel o maíz, así como enredaderas como la curuba que se desarrollan en sistemas de espalderas que permiten elevarlas, relacionándolas con cultivos bajos como hortalizas, papa, fresa, entre otros, que son los principales del municipio; esto además de proteger el sistema frente a los efectos del cambio climático, permitiría tener una alternativa de producción a los agricultores, generando ingresos adicionales, sin embargo para el sombrío podrían especies como cerezo, sauco, Chicalá, encenillo entre otros, que aunque no ofrecerían un producto alimentario, siguen teniendo el potencial de producir los efectos microclimáticos mencionados en el párrafo anterior y beneficios ecosistémicos al ser algunos árboles nativos.



Figura 21 Esquema de propuesta policultivo – agroforestería. Fuente: Autor.

La asociación producida por el policultivo dentro de un sistema de agroforestería para generación de sombrío, constituye una estrategia de adaptación al cambio climático al mantener un microclima más estable bajo el dosel, importante para contrarrestar el aumento progresivo de las temperaturas según las tendencias generales encontradas, así como los efectos de las heladas siendo este uno de los fenómenos con mayor incidencia en el municipio, protegen al suelo de erosión, por otro lado al reducirse la evapotranspiración, disminuye la ocurrencia de estrés hídrico en el cultivo (Altieri & Nicholls, 2008; Martínez-Rodríguez et al., 2017), adicionalmente puede considerarse una medida de restauración ambiental y de sostenibilidad dentro de los sistemas productivos agroalimentarios (FAO, 2017).

7. CONCLUSIONES

- Facatativá posee una temperatura media de 12.5 °C, temperaturas mínimas entre 2.4 °C y 7.8 °C y temperaturas máximas entre 14.0 °C y 20.1 °C, siendo el primer semestre del año más cálido que el segundo, por su parte la precipitación total anual promedio para el municipio es de 922 mm/año con dos temporadas lluviosas, la primera de marzo a junio y la segunda de octubre a diciembre; en los últimos 30 años la temperatura media viene con un aumento entre 0.0 °C/año, a 0.03 °C/año, con un promedio de 0.02 °C/año, la temperatura máxima presenta un rango entre los -0.026 °C/año y 0.05 °C/año con promedio de 0.0015 °C/año; mientras que la temperatura mínima tiene tendencias entre

los 0.01 °C/año a los 0.07 °C/año, con un promedio territorial de 0.025 °C/año, finalmente la precipitación presenta una tendencia al aumento, con valores entre los 3.0 y 12.0 mm/año con una media de 4.9 mm/año.

- De seguir las tendencias con el mismo comportamiento, para el año 2050 se esperaría que la temperatura media cambie entre -0.008 °C hasta 0.99 °C, la temperatura máxima entre -0.88 hasta 1.57 °C y la mínima entre 0.35 °C hasta 2.16 °C, mientras que la precipitación aumentaría entre 68.0 mm a 406.2 mm, con respecto a las condiciones promedio presentadas en la sección 6.1, aun así este comportamiento también depende de la variabilidad estacional y las políticas mundiales frente al cambio climático, lo que causa cierto grado de incertidumbre.
- Los sistemas productivos agroalimentarios del municipio de Facatativá han venido presentando pérdidas de rendimientos en los últimos años las cuales se asocian al cambio climático por efectos de fenómenos secos extremos que causan estrés hídrico, heladas más frecuentes y fuertes, lluvias extremas que generan erosión e inundaciones, y aceleración del ciclo de vida de plagas y enfermedades asociadas a los cambios de temperatura y humedad.
- Los sistemas productivos de gran agricultura identificados en el municipio de Facatativá vienen siendo más amenazados por los impactos del cambio climático, ya que por extensión tienen mayor probabilidad de presentar pérdidas, sin embargo, por condiciones económicas y sociales los sistemas productivos de agricultura familiar pueden ser más vulnerables en caso de sufrir algún impacto.
- Las dos terceras partes de los sistemas productivos muestreados en el municipio de Facatativá, mencionan haber implementado algún mecanismo de adaptación ante el cambio climático, sin embargo, los niveles de pérdidas que se han presentado revelan que no han funcionado de forma eficiente, con excepción de las estrategias encaminadas a la captación y aprovechamiento de aguas lluvias, en donde el 21.3 % de la muestra la ha venido implementado, sufriendo pérdidas inferiores al 40 % de la producción.
- Las estrategias de adaptación al cambio climático que se pueden implementar en Facatativá deben ir encaminadas a la gestión y aprovechamiento eficiente del recurso hídrico, para lo cual se proponen zanjas de infiltración, cosecha de aguas lluvias, mulching y sistemas de policultivo – agroforestería; estas se enfocan en mantener

constantes condiciones de temperatura y humedad para la reducción de la evapotranspiración, así como reducir los efectos de las heladas, promover mejores condiciones de humedad en el suelo y hacer aprovechamiento agua para las temporadas secas.

8. RECOMENDACIONES

- Es necesario que Facatativá formule e implemente su plan municipal de adaptación al cambio climático, en el cual se recomienda integrar un capítulo de adaptación en el ámbito agrícola, en la cual se incluyan las estrategias formuladas a partir de la presente investigación, así como desarrollarlo en un espacio acompañado de las comunidades, lo que les permitiría ser partícipes de este proceso.
- Se requiere desarrollar estudios específicos de cada una de las estrategias propuestas en los cultivos del territorio para poder cuantificar las eficiencias a largo plazo.
- Los resultados de la presente investigación deberán ser socializados en el consejo municipal de gestión del riesgo de desastres del municipio, mediante el cual se buscará abrir espacios con la comunidad rural de Facatativá, esto se puede hacer con acompañamiento de la secretaría de desarrollo agropecuario y medio ambiente quienes frecuentemente tienen sesiones de trabajo con las veredas.
- Es necesario ampliar este tipo de estudios en los municipios aledaños, aplicando las metodologías desarrolladas a casos de estudio en Sabana Occidente, lo que permite avanzar en conjunto por el desarrollo de la región.
- Se recomienda a las entidades encargadas de la gestión de las redes de estaciones hidrometeorológicas que desarrollen metodologías conducentes al mejoramiento de la calidad de los datos obtenidos, así como la disponibilidad de información actualizada que permita a los investigadores obtener resultados más ajustados a la realidad en menos tiempo.

9. REFERENCIAS

- Allen, L. ., Boote, K. J., Prasad, P. V. V., Thomas, J. M. G., & Vu, J. C. . (2005). *Hazards of temperature on food availability in changing environments (hot- face): Global warming could cause failure of seed yields of major food crops*.
<https://www.esrl.noaa.gov/gmd/icdc7/proceedings/abstracts/allen1EC313Oral.pdf>
- Altieri, M., & Nicholls, C. (2008). Los impactos del cambio climático sobre las comunidades campesinas y agricultores tradicionales y sus repuestas adaptativas. *Agroecología*, 3, 7–28.
- Bandopadhyay, S. (2016). Does elevation impact local level climate change? An analysis based on fifteen years of daily diurnal data and time series forecasts. *Pacific Science Review A: Natural Science and Engineering*, 18(3), 241–253.
<https://doi.org/10.1016/j.psra.2016.11.002>
- Bunclark, L., Gowing, J., Oughton, E., Ouattara, K., Ouoba, S., & Benao, D. (2018). Understanding farmers' decisions on adaptation to climate change: Exploring adoption of water harvesting technologies in Burkina Faso. *Global Environmental Change*, 48, 243–254. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2017.12.004>
- Bunn, C., Lundy, M., Laderach, P., & Castro, F. (2013). *Los impactos del cambio climático en cacao 3 Iniciativas integradas*.
https://cgspace.cgiar.org/bitstream/handle/10568/96259/Presentation_WCF_December_2017_Central_America_FINAL.pdf?sequence=1
- Cai, W., Borlace, S., Lengaigne, M., Van Rensch, P., Collins, M., Vecchi, G., Timmermann, A., Santoso, A., Mcphaden, M. J., Wu, L., England, M. H., Wang, G., Guilyardi, E., & Jin, F. F. (2014). Increasing frequency of extreme El Niño events due to greenhouse warming. *Nature Climate Change*, 4(2), 111–116.
<https://doi.org/10.1038/nclimate2100>
- Calderón-Ricardo, C. A. (2017). *Conflicto ambiental por la distribución y uso del agua en la microcuenca de la quebrada cerro negro durante el periodo comprendido entre los años 1950 al 2016*. Universidad Javeriana.
- CAR. (2021). *Histórico de series hidrometeorológicas | CAR*.
<https://www.car.gov.co/vercontenido/2524>

- Critchley, W., & Gowing, J. (2012). *Water Harvesting in Sub-Saharan Africa* (W. Critchley & J. Gowing (eds.)). Routledge.
https://books.google.com.co/books?hl=es&lr=&id=g-JeTpXbMAkC&oi=fnd&pg=PA10&ots=KmEMpXH66A&sig=XP7QMcahwTwh-FoPZNhgVbLTWuI&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false
- Departamento Nacional de Planeación. (2018). Plan Nacional de Desarrollo. *Diario Oficial*, 212. <https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Prensa/Resumen-PND2018-2022-final.pdf>
- Díaz, G. C. (2012). El cambio climático. *Ciencia y Sociedad*, 2, 227–240.
<http://www.redalyc.org/pdf/870/87024179004.pdf>
- Diesner, F. (2013). Adaptación basada en comunidades - AbC - bases conceptuales y guía metodológica para iniciativas rápidas de AbC en Colombia. *Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS)*, 64.
- DNP. (2012). *Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático. ABC: Bases Conceptuales*.
- Eitzinger, A., Läderach, P., Bunn, C., Quiroga, A., Benedikter, A., Pantoja, A., Gordon, J., & Bruni, M. (2014). Implications of a changing climate on food security and smallholders' livelihoods in Bogotá, Colombia. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 19(2), 161–176. <https://doi.org/10.1007/s11027-012-9432-0>
- Eitzinger, A., Läderach, P., Sonder, K., Schmidt, A., Sain, G., Beebe, S., Rodríguez, B., Fisher, M., Hicks, P., Navarrete-frías, C., & Nowak, A. (2012). Tortillas en el Comal : Los Sistemas de Maíz y Fríjol de América Central y el Cambio Climático. *CIAT Políticas En Síntesis No. 6. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia.*, 6. https://ciat.cgiar.org/wp-content/uploads/2012/12/politica_sintesis6_tortillas_en_comal.pdf
- Eslava, J. A. (1991). Variación temporal de la temperatura del aire en Bogotá. In *Rev. Acad. Colomb. Cienc.* (Vol. 18, Issue 68, pp. 65–74).
- FAO. (1990). Evapotranspiración de referencia (ET o) Ecuación de FAO Penman-Monteith. *Evapotranspiración Del Cultivo*, 86.
- FAO. (1997). La agricultura y los cambios climáticos: la función de la FAO. *Organización de Las Naciones Unidas Para La Agricultura y La Alimentación*, 1–3.
<http://www.fao.org/noticias/1997/971201-s.htm>

- FAO. (2009). Cambio Climático: El impacto en la agricultura y los costos de adaptación. *Política Alimentaria: Informe*, 1–30. <https://doi.org/10.2499/0896295370>
- FAO. (2014). *Hacia una agricultura familiar más fuerte*. www.fao.org/publications
- FAO. (2015). *Coping with climate change - The roles of genetic resources for food and agriculture*. <https://doi.org/10.1177/0267323110363652>
- FAO, O. de las N. U. para la A. y la A. (2017). *Agroforesteria para la restauración del paisaje Explorando el potencial de la agroforesteria para mejorar la sostenibilidad y la resiliencia de los paisajes degradados*.
- Fara, S. J., Teixeira Delazari, F., Silva Gomes, R., Araújo, W. L., & da Silva, D. J. H. (2019). Stomata opening and productiveness response of fresh market tomato under different irrigation intervals. *Scientia Horticulturae*, 255(March), 86–95. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.05.025>
- Feldman, A. J. L., & Cortés, D. H. (2016). Cambio climático y agricultura: Una revisión de la literatura con énfasis en América Latina. *Trimestre Economico*, 83(332), 459–496. <https://doi.org/10.20430/ete.v83i332.231>
- Fernandez, M. E. (2013). *Efectos Del Cambio Climatico En La Agricultura*. 1(1), 1–2. <https://doi.org/10.4081/ija.2015.10.s1.689>
- Fries, A., Rollenbeck, R., Nauß, T., Peters, T., & Bendix, J. (2012). Near surface air humidity in a megadiverse Andean mountain ecosystem of southern Ecuador and its regionalization. *Agricultural and Forest Meteorology*, 152(1), 17–30. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2011.08.004>
- García, M. C., Botero, A. P., Quiroga, F. A. B., & Robles, E. A. (2012). Variabilidad climática, cambio climático y el recurso hídrico en Colombia. *Revista de Ingeniería*, 36, 60–64. <https://doi.org/10.16924/riua.v0i36.136>
- Goetter, J., & Picht, H. J. (2011). *Adaptación al Cambio Climático: Cosecha de Agua de Lluvia con “Atajados” en Bolivia* .
- González, F. (2018). *Planteamiento de un modelo de predicción de heladas en cultivos de rosa en la Sabana de Bogotá* [Universidad Militar Nueva Granada]. <http://hdl.handle.net/10654/17682>
- Guarín, D. (2018). *Disaster Risk Management in Colombia: Review of National Unit for Disaster Risk Management Nudrm. February 2018*, 25 p.

<https://doi.org/10.13140/RG.2.2.17734.22082>

Gupta, J., van der Leeuw, K., & de Moel, H. (2007). Climate change: a ‘glocal’ problem requiring ‘glocal’ action. *Environmental Sciences*, 4(3), 139–148.

<https://doi.org/10.1080/15693430701742677>

Gutman, G., & Gorenstein, S. (2016). *Territorio y sistemas agroalimentarios . Enfoques conceptuales y dinámicas recientes en la Argentina* Author (s): Graciela E . Gutman and Silvia Gorenstein Published by : Instituto de Desarrollo Económico Y Social Stable URL : [http://www.jstor.org/stable.42\(168\),563-587](http://www.jstor.org/stable.42(168),563-587).

Hartwig, N. L., & Ammon, H. U. (2002). Cover crops and living mulches. *Weed Science*, 50(6), 688–699. [https://doi.org/10.1614/0043-1745\(2002\)050\[0688:aiacca\]2.0.co;2](https://doi.org/10.1614/0043-1745(2002)050[0688:aiacca]2.0.co;2)

Hernandez Sampieri, R., Fernandez, C., & Baptista, P. (2014). *Metodología de la Investigación* (6th ed.). https://competenciashg.files.wordpress.com/2012/10/sampieri-et-al-metodologia-de-la-investigacion-4ta-edicion-sampieri-2006_ocr.pdf

IDEAM. (2021). *SOLICITUD DE INFORMACION - IDEAM*.

<http://www.ideam.gov.co/solicitud-de-informacion>

IGAC. (2012). *Levantamiento detallado de suelos Sabana de Bogotá*. 1–488.

IGAC. (2018). *Datos Abiertos Catastro | GEOPORTAL*.

<https://geoportal.igac.gov.co/contenido/datos-abiertos-catastro>

IPCC. (2013). Preguntas frecuentes Cambio climático 2013 Bases físicas Resumen para responsables de políticas. In *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*.

JICA, A. de cooperación internacional del J. (2015). *Guía técnica para cosechar el agua lluvia - Opciones técnicas para la agricultura familiar en la Sierra*.

Jiménez. (2014). *Validación de la capacidad de modelo WRF “Weather Research and forecasting” para pronósticar lluvia intensa, usando el método orientado a objetos y tablas de contingencia (tesis de maestría)*. 162.

http://www.bdigital.unal.edu.co/49615/7/Libro_Tesis_Mauricio.pdf

Kennedy, C. (2020). *Does “global warming” mean it’s warming everywhere? | NOAA Climate.gov*. <https://www.climate.gov/news-features/climate-qa/does-global-warming-mean-it’s-warming-everywhere>

- Lhumeau, A., & Cordero, D. (2012). Adaptación basada en Ecosistemas: una respuesta al cambio climático. *Uicn*, 17. <https://doi.org/10.1038/nm.1996>
- Li, R., Li, Q., & Pan, L. (2020). Review of organic mulching effects on soil and water loss. In *Archives of Agronomy and Soil Science* (Vol. 67, Issue 1, pp. 136–151). Taylor and Francis Ltd. <https://doi.org/10.1080/03650340.2020.1718111>
- Liebman, M. (1997). *Sistemas de policultivos*.
<https://www.researchgate.net/publication/265407524>
- Lobell, D. B., Schlenker, W., & Costa-Roberts, J. (2011). Climate trends and global crop production since 1980. *Science*, 333(6042), 616–620.
<https://doi.org/10.1126/science.1204531>
- Locatelli, B., Homberger, J.-M., Ochoa-Tocachi, B., Bonnesoeur, V., Román, F., Drenkhan, F., & Buytaert, W. (2020). *Impactos de las zanjas de infiltración en el agua y los suelos: ¿Qué sabemos?* <http://hal.cirad.fr/cirad-02615502>
- Magoni, M., & Munoz, C. M. (2018). Climate Change and Heat Waves in Colombia. Possible Effects and Adaptation Strategies. *Research for Development*, 351–361.
https://doi.org/10.1007/978-3-319-61988-0_27
- Martínez-Rodríguez, M., Viguera, B., Donatti, C. I., HARvey, C. A., & Alpízar, F. (2017). *Cómo enfrentar el cambio climático desde la agricultura: Prácticas de Adaptación basadas en Ecosistemas (AbE)*. https://www.conservation.org/docs/default-source/publication-pdfs/cascade_modulo-4-como-enfrentar-el-cambio-climatico-desde-la-agricultura.pdf
- Miller, G. T. (2007). *Ciencia Ambiental: Desarrollo Sostenible. Un Enfoque Integral*. Cengage Learning Latin America.
<https://books.google.com.co/books?id=ZZC9wAEACAAJ>
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia. (2014). *Evolución de precipitación y temperatura durante los fenómenos el Niño y la Niña en Bogotá - Cundinamarca (1951-2012)*. 16.
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia. (2018). *Planes Integrales de Gestión de Cambio Climático Territoriales - PIGCCT / Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible*. <http://www.minambiente.gov.co/index.php/gestion-territorial-de-cambio-climatico>

- Mongil, J., & Martinez, A. (2007). TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE AGUA Y DE OASIFICACIÓN PARA EL DESARROLLO DE LA AGRICULTURA Y LA RESTAURACIÓN FORESTAL EN REGIONES DESFAVORECIDAS. *Cuadernos Geográficos*, 40, 67–80. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=17104004>
- Municipio de Facatativá. (2019). *Plan municipal para la gestión del riesgo de desastres* (p. 153).
- Naciones Unidas/CEPAL. (2019). La Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible: una oportunidad para América Latina y el Caribe. Objetivos, metas e indicadores mundiales. In *Publicación de las Naciones Unidas*. https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/40155/24/S1801141_es.pdf
- Nicholls, C., Henao, A., & Altieri, M. (2015). Agroecología y el diseño de sistemas agrícolas resilientes al cambio climático. *Agroecología*, 10(1), 7–31.
- Orozco, A. J., & Ayala, C. C. (2012). Efecto Del Cambio Climático Sobre La Fisiología De Las Plantas Cultivadas: Una Revisión. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 15(1), 63–76.
- Owen, G. (2020). What makes climate change adaptation effective? A systematic review of the literature. *Global Environmental Change*, 62(September 2019), 102071. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2020.102071>
- Palma, E., Cruz, J., Martínez, A., Aguilar, A., & Nieuwenhuyse, A. (2011). *¿Cómo construir mejores aguadas para el suministro de agua al ganado?*
- Ramirez-Villegas, J., Salazar, M., Jarvis, A., & Navarro-Racines, C. (2012). *A Way Forward on Adaptation to Climate Change in Colombian Agriculture : Perspectives Towards 2050*. 0–24.
- Ramirez, L. F., Salazar, E., & Flores, S. (2013). Efectos del cambio climático sobre el rendimiento de los cultivos agrícolas. *Segundo Congreso Nacional de Investigación En Cambio Climático*. <https://www.horticultivos.com/innovacion/medio-ambiente/efectos-del-cambio-climatico-en-el-rendimiento-de-los-cultivos-2/>
- Reid, H., Alam, M., Berger, R., Cannon, T., & Huq, S. (2009). Community-based adaptation to climate change: an overview. *Participatory Learning and Action*. <http://pubs.iied.org/pdfs/14573IIED.pdf>
- Reid, Hannah., Hou-Jones, X., Porrás, I., Hicks, C., Wicander, S., Seddon, N., Kapos, V.,

- Rizvi, A. R., & Roe, D. (2019). *¿Es eficaz la adaptación basada en ecosistemas? Percepciones y lecciones aprendidas en trece sitios de proyectos. Informe de investigación del IIED*. IIED.
<https://pubs.iied.org/sites/default/files/pdfs/migrate/17651SIIED.pdf>
- Requier-Desjardins, D. (1999). Agro-Industria Rural y Sistemas Agroalimentarios Localizados: ¿Cuáles puestas? *X Aniversario de PRODAR.Org, October*, 1–15.
<http://www.prodar.org/cd.htm>
- Reyes-García, V., Fernández-Llamazares, Á., Guèze, M., Garcés, A., Mallo, M., Vila-Gómez, M., & Vilaseca, M. (2016). Local indicators of climate change: The potential contribution of local knowledge to climate research. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*, 7(1), 109–124. <https://doi.org/10.1002/wcc.374>
- Rojo-Hernández, J. D., Mesa, Ó. J., & Lall, U. (2020). Enso dynamics, trends, and prediction using machine learning. *Weather and Forecasting*, 35(5), 2061–2081.
<https://doi.org/10.1175/WAF-D-20-0031.1>
- Sierra-Roncancio, S. S., Cano-Muñoz, J. G., & Rojas-Sánchez, F. (2015). Estrategias de adaptación al cambio climático en dos localidades del municipio de Junín, Cundinamarca, Colombia. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 6(1), 227–238.
- Singh, G. (2009). Soil water dynamics, growth of *Dendrocalamus strictus* and herbage productivity influenced by rainwater harvesting in Aravalli hills of Rajasthan. *Forest Ecology and Management*, 258(11), 2519–2528.
<https://doi.org/10.1016/j.foreco.2009.09.008>
- Suárez, J. (2019). *Efectos del color del acolchado sobre el desarrollo y producción en tres variedades de frijol (Phaseolus vulgaris L.)*. Universidad de Guadalajara.
- Tessema, Y. A., Joerin, J., & Patt, A. (2018). Factors affecting smallholder farmers' adaptation to climate change through non-technological adjustments. *Environmental Development*, 25, 33–42. <https://doi.org/10.1016/j.envdev.2017.11.001>
- UNEA, & FAO. (2011). Prácticas de Conservación de Suelos y Agua para la Adaptación Productiva a la Variabilidad Climática. *Organización De Las Naciones Unidas Para La Alimentación Y La Agricultura (Fao)*, 33.
- Valdivia, C., & Barbieri, C. (2014). Agritourism as a sustainable adaptation strategy to

- climate change in the Andean Altiplano. *Tourism Management Perspectives*, 11, 18–25. <https://doi.org/10.1016/j.tmp.2014.02.004>
- Vargas-García, W. C. (2020). *Factibilidad de reverdecer una zona árida mediante el estudio climatológico del Desierto de Sabrinsky ubicado en el municipio de Mosquera – Cundinamarca* [Universidad Católica de Colombia]. <https://hdl.handle.net/10983/24751>
- Vose, R. S., Easterling, D. R., Kunkel, K. E., LeGrande, A. N., & Wehner, M. F. (2017). *Ch. 6: Temperature Changes in the United States. Climate Science Special Report: Fourth National Climate Assessment, Volume I*. <https://doi.org/10.7930/J0N29V45>
- Wang, K., Zhang, X., Ma, J., Ma, Z., Li, G., & Zheng, J. (2020). Combining infiltration holes and level ditches to enhance the soil water and nutrient pools for semi-arid slope shrubland revegetation. *Science of the Total Environment*, 729, 138796. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138796>
- Williams, T. G., Guikema, S. D., Brown, D. G., & Agrawal, A. (2020). Resilience and equity: Quantifying the distributional effects of resilience-enhancing strategies in a smallholder agricultural system. *Agricultural Systems*, 182(February), 102832. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2020.102832>
- World Meteorological Organization. (2019). *WMO confirms past 4 years were warmest on record* / World Meteorological Organization. WMO Website. <https://public.wmo.int/en/media/press-release/wmo-confirms-past-4-years-were-warmest-record>
- Ye, H. L., Chen, Z. G., Jia, T. T., Su, Q. W., & Su, S. C. (2021). Response of different organic mulch treatments on yield and quality of *Camellia oleifera*. *Agricultural Water Management*, 245, 106654. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106654>
- Zambrano, B. C. (2012). Los ecosistemas semisecos del altiplano cundiboyacense, bioma azonal singular de Colombia, en gran riesgo de desaparición. *Revista Mutis*, 2(1), 112–145.
- Zribi, W., Faci, J., & Arangüés, R. (2011). *EFFECTOS DEL ACOLCHADO SOBRE LA HUMEDAD, TEMPERATURA, ESTRUCTURA Y SALINIDAD DE SUELOS AGRÍCOLAS* (Vol. 107, Issue 2).

10. ANEXOS

10.1. ENCUESTA APLICADA

Encuesta N° _____

La siguiente encuesta se realiza con el fin de poder conocer la producción agrícola del municipio de Facatativá y como se ha visto afectada por el cambio del clima, agradecemos su tiempo y sinceridad al resolverla.

A. IDENTIFICACIÓN DE LA FINCA

1. Vereda:		2.Sector:		Fecha:	DD	MM	AA
3. Nombre de la Finca							
4. Tipo de agricultura	Familiar/pequeño	Mediano	Grande				
5. Principal actividad económica							

B. CARACTERIZACIÓN DE CULTIVOS

PREGUNTA	6. ¿Presenta actividad pecuaria? ¿Cuál?:		
	CULTIVOS		
	a	b	C
7. ¿Hace cuánto cultiva el producto? (años)			
8. Área cultivada (ha)			
9. ¿Recuerda algún año en el cual haya tenido pérdidas del cultivo? ¿Cuáles?			
10. En caso de haber tenido pérdidas en algún año, ¿por qué las tuvo?	a. verano b. invierno c. Plagas d. Falta de clientes e. Otra, Cual: _____	a. verano b. invierno c. Plagas d. Falta de clientes e. Otra, Cual: _____	a. verano b. invierno c. Plagas d. Falta de clientes e. Otra, Cual: _____
11. ¿De cuánto porcentaje llegaron a ser estas pérdidas?			
12. ¿Cree que había mayor producción cuando empezó a cultivar o en la actualidad?	() Antes () Mayor ahora () Se mantiene igual		
13. En caso de considerar un cambio, ¿por qué cree que aumentó o disminuyó la producción?			
14. Ha realizado cambio de cultivo o variedad de planta en su finca? Indicar los cambios hechos			
15. En caso de haber realizado cambios, ¿por	a. Productividad	b. Razones económicas	

qué los hizo?	c. Clima	d. Otro, ¿cuál? _____
---------------	----------	-----------------------

C. CAMBIO DE LOS RECURSOS NATURALES CON EL TIEMPO

PREGUNTA	SI	NO
16. ¿Había mayor cantidad de agua disponible para la finca cuando empezó a cultivar?		
17. ¿En la actualidad el agua es suficiente para las necesidades de la finca?		
18. ¿El clima ha afectado la disponibilidad del agua en la finca?		

D. PERCEPCIÓN DE LAS VARIABLES CLIMÁTICAS

PREGUNTA	VARIABLES CLIMÁTICAS					
	TEMPERATURA			PRECIPITACIÓN (LLUVIA)		
	Mayor	Menor	Igual	Mayor	Menor	Igual
18. Cuando empezó a cultivar había mayor o menor ____ (marque con una X).						
19. En caso de evidenciar algún cambio, ¿considera que este ha afectado la producción de sus cultivos?						

E. ADAPTACIÓN

20. ¿Ha tomado medidas para mejorar la producción de sus cultivos?	SI	NO
21. En caso de tomar medidas, ¿cuáles han sido?		
22. ¿Ha tomado medidas para evitar pérdidas en sus cultivos a causa de sequías, lluvias, u otros fenómenos climáticos? ¿Cuales?		
23. ¿Tiene alguna práctica especial en su cultivo? ¿Cual?		