



Uptc
Universidad Pedagógica y
Tecnológica de Colombia

CAMBIO CLIMÁTICO Y PRODUCCIÓN DE PAPA EN ZONA PAPERERA DE BOYACÁ 1986-2017

Jenny Patricia Sierra Herrera

Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia

Facultad de Ingeniería

Maestría en Ingeniería Ambiental

Tunja, Colombia

2019

CAMBIO CLIMÁTICO Y PRODUCCIÓN DE PAPA EN ZONA PAPERERA DE BOYACÁ 1986-2017

CLIMATE CHANGE AND POTATO PRODUCTION IN POTATO GROWING REGION BOYACÁ 1986-2017

Jenny Patricia Sierra Herrera

Trabajo de Investigación presentado como requisito para optar al título de:

Magister en Ingeniería Ambiental

Director:

Dr. Rigaud Sanabria Marin

Línea de investigación:

Gestión ambiental y desarrollo sostenible

Grupo de investigación:

Grupo de Investigación en Geomática y Ambiente GIGA

Facultad de Ingeniera

Programa de Maestría en Ingeniería Ambiental

Tunja, Colombia

2019

Nota de aceptación:

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

Tunja, 6 de noviembre 2019.

DEDICATORIA

Al Señor de la vida por su amor infinito, a mi mama por ser mi motivación y mi apoyo incondicional y a mi hermano quien es mi gran amigo.

AGRADECIMIENTOS

La Autora expresa sus agradecimientos a:

Doctor Rigaud Sanabria Marín, profesor de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia UPTC, por sus aportes, orientaciones, apoyo incondicional y acompañamiento en el logro de esta meta.

Al Director de la escuela de Ingeniería ambiental Helver Parra Arias quien siempre estuvo atento a los inconvenientes que se iban presentando y dispuesto a dar la mejor y más pronta solución.

A la profesora Dora Marcela Benítez quien en su momento me brindó su apoyo y motivación para continuar con más ahínco en la realización de esta investigación.

A mis compañeros de maestría por su amistad incondicional, por hacer más ameno cada momento en la universidad y estar siempre dispuestos ayudar y trabajar como un gran equipo.

Contenido

RESUMEN	1
INTRODUCCIÓN	2
1. Problemática de la producción de papa ante el cambio climático	3
1.1 Planteamiento del problema	3
1.1.1 Descripción del problema	3
1.1.2 Formulación del problema	5
1.1.3 Hipótesis	5
1.1.4 Justificación	6
1.2 Objetivos	7
1.2.1 Objetivo general	7
1.2.2 Objetivos específicos	7
1.3 Caracterización geográfica de la zona papera de Boyacá	8
1.3.1 Localización de Boyacá	8
1.3.2 Relieve	9
1.3.3 Hidrografía de Boyacá	10
1.3.4 Regiones Naturales	11
1.3.5 Clima	11
1.3.6 Zona papera de Boyacá	13
1.3.7 Población	14
1.3.8 Economía de la papa en Boyacá	15
1.4 Estado del arte de la producción de papa y el calentamiento climático	16
1.5 Conclusiones Capitulo 1	20
2. Cambio climático en zona papera de Boyacá periodo 1986-2017	21
2.1 Tratamiento preliminar de datos meteorológicos	23
2.1.1 Detección de valores atípicos	23
2.1.2 Llenado de datos faltantes	24
2.2 Estimación de cambio de precipitación	25
2.2.1 Comparación de precipitaciones periodos 1986-2001 y 2002-2017	25
2.2.2 Precipitación Zona Papera de Boyacá por Municipios	30

2.2.3 Distribución espacial del cambio de precipitación	32
2.3 Estimación de Cambio de temperatura.....	35
2.3.1 Comparación de temperatura periodos 1986 a 2001 y 2002 a 2017	35
2.4 Conclusiones capítulo 2	42
3. Producción de papa en zona papera de Boyacá periodo 1986-2017.....	43
3.1 Producción histórica de la papa en zona papera de Boyacá.....	44
3.1.1 Producción anual de papa en Boyacá en el periodo 1986-2017	45
3.1.2 Producción anual por municipio en zona papera de Boyacá	46
3.2 Análisis comparativo de valores de producción en el periodo 1986-2017	49
3.2.1 Comparación de producción de papa periodos 1986 a 2001 y 2002 a 2017	49
3.2.2 Comparación de Rendimiento de papa periodo 1986 a 2001 y 2002 a 2017	51
3.2.3 Distribución espacial del cambio de producción de papa periodo 1986 a 2017.....	52
3.3 Conclusiones Capitulo 3.....	55
4. Relación entre el cambio climático y la producción de papa de la zona papera en Boyacá.....	56
4.1 Relación entre Cambio de precipitación y cambio de producción de papa en zona papera de Boyacá.....	58
4.2 Relación entre Cambio de Temperatura y el cambio de producción de papa en zona papera de Boyacá.....	60
4.3 Relación entre Producción de papa, precipitación y temperatura en zona papera de Boyacá.....	62
4.3.1 Cálculo de Correlación a partir de información de estaciones meteorológicas.....	62
4.4 Conclusiones Capitulo 4.....	72
5. CONCLUSIONES GENERALES	73
BIBLIOGRAFÍA	75
ANEXOS	83

LISTA DE FIGURAS

<i>Figura 1. Regiones Naturales de Boyacá</i>	11
<i>Figura 2. Precipitación Anual (1986-2001)</i>	26
<i>Figura 3. Precipitación Anual (2002 -2017)</i>	27
<i>Figura 4. Precipitación Anual (1986 - 2017)</i>	27
<i>Figura 5. Comparación de precipitación Máxima en 24 horas para los dos periodos por municipio</i>	29
<i>Figura 6. Precipitación Max. En 24 horas por año para la zona papera (1986-2017)</i>	30
<i>Figura 7. Comparación de precipitación de Zona papera de Boyacá por municipio (1986-2001) Vs. (2002 -2017)</i> 31	
<i>Figura 8. Temperatura Media por municipios periodo (1986-2001)</i>	36
<i>Figura 9. Temperatura media por municipios periodo (2002-2017)</i>	37
<i>Figura 10. Temperatura estación de Tunja (1986-2017)</i>	38
<i>Figura 11 Temperatura estación de Toca la Copa (1986-2017)</i>	38
<i>Figura 12. Producción y Rendimiento Zona papera de Boyacá</i>	45
<i>Figura 13. Producción y Rendimiento de papa en Tunja 1986-2017</i>	46
<i>Figura 14. Producción Papa Vs. Rendimiento municipio de Samacá (1986-2017)</i>	47
<i>Figura 15. Producción Papa Vs. Rendimiento municipio de Toca</i>	47
<i>Figura 16. Producción anual media multianual por municipios (1986-2017)</i>	49
<i>Figura 17. Producción Total de papa (1986-2001) Vs. (2002-2017)</i>	50
<i>Figura 18. Rendimiento Total de papa (1986-2001) Vs. (2002-2017)</i>	51
<i>Figura 19. Producción papa vs. PT (1986-2017) Estación Tunja</i>	64
<i>Figura 20. Producción Papa vs. PT (1986-2017) Estación Tunja</i>	65
<i>Figura 21. Producción papa vs. PT (1986-2017) Estación La Copa</i>	67
<i>Figura 22. Producción de papa vs. TS (1986-2017) Estación Copa</i>	68
<i>Figura 233. Producción papa vs. PT 1986-2017 Estación de Belencito</i>	70

LISTA DE MAPAS

Mapa 1. Localización de Boyacá.....	8
Mapa 2. Delimitación Zona papera de Boyacá	14
Mapa 3. Distribución espacial de Precipitación total media Multianual periodo (1986-2001).....	32
Mapa 4. Distribución espacial Precipitación Zona Papera de Boyacá (2002-2017)	33
Mapa 5. Distribución espacial de Porcentaje de Cambio de Precipitación (1986-2017)	35
Mapa 6. Distribución espacial de Temperatura Zona Papera de Boyacá (1986-2001)	39
Mapa 7 Distribución espacial de Temperatura Zona Papera de Boyacá (2002-2017)	40
Mapa 8. Distribución espacial de Cambio de Temperatura Zona papera de Boyacá 1986-2017	41
Mapa 9 Producción y Rendimiento de papa (1986-2001).....	52
Mapa 10. Producción y Rendimiento de papa (2002-2017).....	53
Mapa 11 Cambio de producción de papa (1986-2001) Vs. (2002-2017)	54
Mapa 12. Cambio de PT y producción de papa en zona papera por municipios (1986-2017)	59
Mapa 13. Cambio de TS y Producción de papa en zona papera de Boyacá por municipios (1986-2017)	61

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Relieve de Boyacá	9
Tabla 2. Cuencas Hidrográficas de Boyacá	10
Tabla 3. Cambio de PT, Diferencia de TS y Porcentaje Cambio Producción papa por municipios.	57
Tabla 4. Producción de papa y datos climáticos en Tunja.	63
Tabla 5. Estación La Copa	66
Tabla 6. Estación de Belencito	69

ANEXOS

Anexo 1. Producción y Rendimiento de papa por municipios 1986-2017.....	83
Anexo 2. Comportamiento de la temperatura por estaciones periodo 1986-2017	89
Anexo 3. Regresión Múltiple de Producción, Cambio Precipitación y Temperatura por municipios	90
Anexo 4. Regresión Lineal Múltiple para Producción, Precipitación y Temperatura Estación Meteorológica de Tunja	91
Anexo 5. Regresión lineal Múltiple para producción, Precipitación y Temperatura Estación La Copa	91
Anexo 6. Regresión lineal Múltiple de producción, precipitación y temperatura Estación Belencito	92

RESUMEN

La producción de papa en el departamento de Boyacá ocupa un lugar significativo no solo por ser parte de la tradición campesina sino porque a nivel nacional Boyacá ocupa el segundo puesto como mayor productor. Esta genera un desarrollo económico alrededor de su cultivo y beneficia principalmente a familias de estratos 1 y 2. Además la papa se encuentra dentro de los alimentos que contribuyen a mantener la seguridad alimentaria, esto por cuenta de sus bondades nutricionales y porque produce más alimento por unidad de superficie que el maíz, el arroz o el trigo, siendo comestible hasta el 85% de la planta mientras que en los cereales es del 50%. El cambio climático es la modificación de los elementos climáticos en periodos largos de tiempo y en el que actualmente toma preponderancia la acción del hombre. Viene afectando varios sectores económicos en el mundo, entre ellos el agrícola del cual Boyacá no es excepción. En este trabajo se busca determinar el impacto del cambio climático sobre el cultivo de papa en la zona papera de Boyacá (1986-2017) identificando si hay una relación entre la producción de papa y el cambio climático de la zona. Se realizó selección de series de precipitación y temperatura, llenado de datos faltantes, estimación de medias de las variables climáticas en dos subperiodos y de tendencia de cambio del clima en el periodo de estudio. Se analizaron los cambios de producción y de rendimiento del cultivo de papa de los municipios de la zona papera de Boyacá en los dos subperiodos en que se dividió el periodo de estudio. Como resultado se encontró cambios en la temperatura que varía entre $-1.2\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $1.6\text{ }^{\circ}\text{C}$ y en precipitación entre -40% a 60% en algunos sectores de la zona papera. Y en producción de papa variaciones entre -100% a 260% . Al relacionar las variables Precipitación (PT), Temperatura (TS) y producción de papa (PP) por regresión en la zona papera de Boyacá no se evidencia una relación lineal entre la producción y las variables del clima, lo cual puede estar asociado a la predominancia en el comportamiento de la producción de papa por otros factores como el mercado o cambios en técnicas productivas.

INTRODUCCIÓN

Dos temas importantes se tratan en esta investigación desarrollada para el Departamento de Boyacá: El Cambio Climático y la producción de papa. El Cambio Climático se ha venido convirtiendo en una problemática global de atención inmediata por la celeridad con la que está sucediendo y ante la cual el Departamento de Boyacá no es excepción. La producción de papa, por su parte, a nivel mundial es de gran importancia para mantener la seguridad alimentaria, así lo ha señalado la FAO tanto por su calidad nutricional, como por su fácil producción y el mayor aprovechamiento de su fruto (85%). En Colombia la papa es el primer producto agrícola de clima frío en importancia y Boyacá es el segundo productor a nivel Nacional. De este cultivo se benefician muchas familias tanto por su consumo como porque mueve parte del sector económico de la región.

Con esta investigación se buscó determinar el impacto del cambio climático sobre la zona papera de Boyacá para el periodo 1986-2017 a través de identificar si hay una relación entre la producción de papa y el cambio climático en la zona.

Para ello se divide el desarrollo de la investigación en cuatro capítulos. El primero trata sobre la problemática de la producción de papa ante el cambio climático, basado en la revisión bibliográfica, al igual que se delimita la zona papera de Boyacá. En el segundo capítulo se estima el cambio climático a partir de la temperatura y la precipitación en la zona papera de Boyacá para el periodo 1986-2017. En el tercer capítulo se identifican los cambios en la producción de papa durante el periodo de tiempo de 1986-2017. Finalmente, en el cuarto capítulo se determina la relación que existe entre el cambio climático y la producción de papa en la zona papera de Boyacá.

1. Problemática de la producción de papa ante el cambio climático

La agricultura al ser un sector dependiente directamente del clima se hace más vulnerable al cambio climático, así lo señala (González Velandia & Galera Gelvez, 2014) (FAO, 2014) (Ocampo, 2011) junto con otros autores que coinciden en indicar que también la seguridad alimentaria está amenazada (Alexandratos y Bruinsma, 2012; Challinor et al., 2014; Godfray et al., 2010; IPCC, 2014; Lobell et al., 2008; Wheeler & von Braun, 2013) citados por (Tito, Vasconcelos, & Feeley, 2018a)

En Colombia, por la presencia de eventos climáticos extremos, según el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural MADR, el sector agrícola se ha visto afectado gravemente. En una investigación desarrollada por el IDEAM en el 2013 indican que se vienen presentado una serie de irregularidades en el clima que están generando una sucesión de impactos en varios sectores socioeconómicos del país, entre los que se encuentra el sector agrícola.

La aceleración del cambio climático, producida por la industrialización y el uso de combustibles fósiles (Mesa, 2009), trae consigo, eventos climáticos como inundaciones, proliferación de plagas y enfermedades, cambios en los ciclos vegetativos de los cultivos que se traduce en pérdidas de la producción y el rendimiento de los cultivos (Fernández, FONADE, & IDEAM, 2013).

1.1 Planteamiento del problema

La papa al ser el producto agrícola más importante de clima frío en Colombia y el departamento de Boyacá su segundo mayor productor y ante la presencia del cambio climático se describe a continuación el problema de esta investigación.

1.1.1 Descripción del problema

La papa es un alimento de origen vegetativo importante en la seguridad alimentaria debido a alto rendimiento en producción en comparación con otros alimentos básicos como el arroz y el trigo, con numerosas propiedades nutritivas, siendo hasta el 85% comestible mientras otros alimentos solo el 50% (Devaux, Andrade-Piedra, Ordinola, Velasco, & Hareau, 2011) citado por

(FEDEPAPA, 2012), además es, según la FAO, el cuarto alimento más significativo después del arroz, el trigo y el maíz (Pulatov, Linderson, Hall, & Jönsson, 2015)(Martín & Jeres E., 2017). La papa es un alimento muy nutritivo por su alto contenido de carbohidratos, vitaminas, minerales y otros nutrientes beneficiosos para la salud humana (Muñoz, 2014).

En Colombia, tal como lo indica FEDEPAPA, el cultivo de la papa tradicionalmente ha sido uno de los principales alimentos de la población y se destaca como el cultivo más importante de clima frío (DANE, 2005) citado por (FEDEPAPA, 2018). Tiene el 3,3% del PIB agropecuario, genera anualmente cerca de 264 mil empleos de los cuales aproximadamente 75 mil son directos y 189 mil no directos y además existen unas 100 mil familias que se dedican al cultivo de la papa (Ministerio de agricultura, 2017). En Boyacá es de carácter minifundista, de acuerdo con los indicadores suministrados por el Ministerio de Agricultura el 95 % de los productores siembran menos de 3 hectáreas y el 80 % menos de una hectárea.

El departamento de Boyacá ocupa el segundo lugar a nivel nacional, después de Cundinamarca, como el mayor productor de papa en Colombia (Ministerio de agricultura, 2017). Con una producción de 781.722 toneladas que representan el 26% del total, un área sembrada de 43.823 hectáreas (27%) y un rendimiento de 18 ton/ha para el año 2016 (Consejo Nacional de la Papa, 2017 & Ministerio de Agricultura, 2017).

Es importante señalar que los productores de papa en general, vienen enfrentándose cada vez más, a una serie de problemas abióticos (FAO, 2008), tanto productores como investigadores dan cuenta de un aumento del estrés hídrico, de un cambio en la distribución e intensidad de las lluvias, de granizadas, de heladas y nevadas más frecuentes a altitudes elevadas (Stäubli, Wenger, & Wymann von Dach, 2008). Debido a la alta relación del cultivo de la papa con el régimen de lluvias, este se convierte en un cultivo mucho más sensible al cambio climático. Lo anterior tomando en cuenta que en las áreas disponibles para cultivo no existe sino un 15% de agua y de sistemas de riego (Consejo Nacional de la Papa, 2011).

El cambio climático es responsable de afectar la producción de papa en Latinoamérica con una reducción entre el 10 al 20% (Asociación Latinoamericana de papa ALAP, 2016) y se espera lo mismo entre el periodo 2010-2040 (Martín & Jeres E., 2017), otros expertos señalan que un aumento en la temperatura de 1,6 a 3 °C podrían reducir los rendimientos globales de papa entre un 18 % y un 32% (Hijmans, 2003) citado por (Tito et al., 2018a). En una investigación realizada

en la región Cundiboyacense se afirma la incidencia negativa que tienen en la producción en cuanto se presenta reducciones en la precipitación y aumento en la temperatura (Fernández et al., 2013).

En una investigación realizada para Boyacá en el municipio de Duitama, en la zona papera se le atribuye al cambio climático un incremento de la temperatura media y una ampliación del rango de mínimos a máximos y de igual manera precipitaciones más intensas pero escasas en el tiempo (Barrientos et al. (2009)) citado por (J. C. Barrientos, Rondón D., & Melo, 2014), bajo estas condiciones se altera la regularidad de la época de siembra y se propicia un mayor ataque de plagas y enfermedades (Alba, 2012; Barrientos y Núñez, 2011) Citado por (J. C. Barrientos et al., 2014)(Tito et al., 2018a).

El cambio climático tiene influencia en la seguridad alimentaria (Hidalgo, 2013), y representa para esta un desafío puesto que su afectación directa tanto en el sector agrícola como el sector ganadero la pone en riesgo principalmente para las regiones en desarrollo (Embid & Martín, 2017). Es por ello que se debe luchar con los efectos en el sistema alimentario (Cramer et al., 2017). La disminución en la producción de estos y otros cultivos básicos representa un desafío importante para la seguridad alimentaria, especialmente en vista del rápido crecimiento de la población (Alexantatos y Bruinsma, 2012) citado por (Tito et al., 2018a).

1.1.2 Formulación del problema

¿Cuál es el impacto del cambio climático en la producción de la papa en Boyacá en el periodo 1986 a 2017?

1.1.3 Hipótesis

El cambio climático genera disminución en la producción y rendimiento del cultivo de la papa en la zona papera de Boyacá.

H₀ = No se genera disminución en la producción y rendimiento de la papa en zona papera de Boyacá por el cambio climático.

H_i= El cambio climático en la zona papera de Boyacá aumenta la producción y rendimiento del cultivo de la papa.

1.1.4 Justificación

La agricultura ha sido siempre un proceso de adaptación al clima (CEPAL, 2011), pero el cambio climático acelerado que se está presentando ahora en el mundo, trae consigo grandes retos para el desarrollo de la agricultura. Hacer investigación sobre el cambio climático en Boyacá y el impacto que puede generar sobre el cultivo de la papa es importante para asegurar la sustentabilidad en el tiempo de este valioso producto agrícola para esta región andina.

En primera instancia, el conocimiento de si ha habido cambio en el clima de la zona papera de Boyacá, en al menos los últimos 30 años, permite hacer una proyección del clima con bases científicas y así identificar la vulnerabilidad ante la que se puede estar expuestos en esta zona respecto a la producción de papa; con este conocimiento es posible proponer medidas de adaptación y mitigación.

Alrededor del cultivo de la papa en Boyacá se encuentra el desarrollo económico campesino de miles de familias, principalmente de estratos 1 y 2, ya que es la actividad agropecuaria que más empleo e ingresos genera, que mueve otros sectores económicos como el transporte, proveedores de insumos, intermediarios y toda la cadena de comercialización de la papa (Fedepapa, 2010), y que es un cultivo económico en su producción por unidad de tiempo y superficie (FEDEPAPA, 2012). Los resultados obtenidos en esta investigación y las medidas que se tomen, beneficiaran a la comunidad, en su mayoría campesinos de bajos recursos, que económicamente derivan su sustento de la actividad agropecuaria.

La Federación Colombiana de Productores de Papa FEDEPAPA, el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural MADR, el Consejo Nacional de la Papa, la Corporación Colombiana de Investigación agropecuaria CORPOICA coincide en señalar que la papa está considerada como el producto agrícola de mayor consumo. En el grupo de gastos de la canasta básica del DANE, los tubérculos representan el 1,25 % equiparable solo al ponderado de frutas frescas (Bonilla, Cardozo, & Morales, 2009). Por lo tanto, una disminución en la producción de papa afectara la canasta familiar.

La papa es un cultivo recomendado para alcanzar la seguridad alimentaria en el mundo (Cesar & Cortez, 2017). La FAO señala que la papa es un producto de gran relevancia debido a que

contribuye en la reducción de la pobreza, la intensificación de los sistemas agrícolas sostenibles, aprovechamiento sostenible de la biodiversidad y en el logro de la seguridad alimentaria (J. Barrientos & Núñez, 2014); por lo tanto asegurar y mantener su producción ayudara a garantizar la seguridad alimentaria no solo de la región sino de otros lugares donde se proveen de este alimento producido en Boyacá.

La determinación del impacto que el cambio climático pueda tener sobre la producción de la papa en Boyacá puede contribuir a la generación de políticas ambientales, desarrollo de estrategias regionales y planes de acción para la mitigación y adaptación; así como ser una herramienta para reducir la incertidumbre en los rendimientos del cultivo (Condori et al., 2016) a fin de enfrentar los retos y aprovechar las oportunidades de estos nuevos escenarios climáticos y sus impactos en el cultivo de la papa en Boyacá.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo general

Determinar el impacto del cambio climático en la producción de la papa en la zona papera de Boyacá en el periodo 1986-2017

1.2.2 Objetivos específicos

1. Estimar el cambio climático a partir de temperatura y precipitación en la zona papera de Boyacá para el periodo 1986-2017.
2. Identificar los cambios en la producción de la papa durante el periodo de tiempo de 1986 a 2017 en zona papera de Boyacá.
3. Determinar la relación que existe entre el cambio climático de la zona papera en Boyacá y la producción de papa.

1.3 Caracterización geográfica de la zona papera de Boyacá

El Departamento de Boyacá es uno de los treinta y dos departamentos que componen la República de Colombia ubicada a su vez en la parte sur del Continente de América (IGAG, 1992).

Mapa 1. Localización de Boyacá



Fuente: <https://www.google.com/maps/place/Boyacá>

1.3.1 Localización de Boyacá

Esta localizado en el centro Nororiental del país (mapa 1), en la cordillera oriental de los Andes, que pasa de sur a norte proporcionándole una variedad topográfica con diversidad de pisos térmicos. Tiene una superficie de 23.189 Km² que representa el 2.03 % del territorio nacional. Su capital Tunja y su división política y administrativa la componen 123 municipios (Aranza & Ramírez, 2016).

Al Norte Boyacá limita con el departamento de Santander, Norte de Santander y Venezuela, por el Este con Arauca y Casanare, Por el Sur con Casanare y Cundinamarca y al oeste con Cundinamarca y Antioquia (Gobernación de Boyacá, 2016) citado por (Aranza & Ramírez, 2016).

1.3.2 Relieve

De acuerdo con el IGAC. (1992) el relieve de Boyacá es predominantemente montañoso, ya que la cordillera Oriental ocupa la mayor parte del territorio departamental con alturas hasta de 5.380 m sobre el nivel del mar en la sierra nevada del Cocuy; se encuentran otras unidades de relieve como el valle del río Magdalena, el altiplano Cundiboyacense y el piedemonte de los llanos orientales.

Tabla 1. Relieve de Boyacá

Unidades Morfológicas de Boyacá		
<u>Nombre</u>	<u>Ubicación</u>	<u>Características</u>
La planicie del Magdalena	Parte occidental del departamento	Comprendida por un conjunto de vegas y terrazas de formaciones recientes, constituida por sedimentos aluviales del Cuaternario.
La cordillera Oriental	Se extiende sobre la mayor parte del territorio departamental	Con alturas que van desde los 5.380 metros sobre el nivel del mar en el pico Ritacuba Blanco en la sierra nevada del Cocuy, hasta 750 m. en la serranía de Las Quinchas. La sierra nevada del Cocuy, constituye la única altura nevada de la cordillera oriental, conformada por veinticinco nevados entre los que se destacan el Ritacuba Blanco, el punto más prominente, el Pan de Azúcar, el Púlpito del Diablo, el Cóncavo, el Ritacuba Negro y el Ritacuba Norte.
El Altiplano	Centro del Departamento	Es una de las regiones más ricas y densamente pobladas del país, conocida como Altiplano Cundiboyacense. Se extiende desde el páramo de Sumapaz hasta las bases de la sierra nevada del Cocuy. Se caracteriza por una serie de valles intercalados de gran fertilidad y belleza que se alternan con montañas más o menos altas, compuesto por la meseta de Tunja, los valles del Tundama, Belén, Sogamoso, Corrales, Floresta y Paz de Río y las regiones de Susacón y Soatá, donde el altiplano se estrecha, así como los valles laterales de Tenza y Monquirá. Su altitud oscila entre 2.470 m y los 2.850 m.
Pie de Monte Llanero	Llanos Orientales	Comprende el flanco occidental de la cordillera Oriental, en cuya vertiente se encuentra una serie de valles formados por ríos que descienden de la cordillera y hacen parte de la cuenca del Orinoco, incluye algunos sectores planos que corresponden a la región de los Llanos Orientales como son San Luis de Gaceno, Paya y Cubará.

Fuente: Elaboración Propia a partir de datos del IGAC (1992)

1.3.3 Hidrografía de Boyacá

El departamento de Boyacá posee una gran riqueza Hídrica. Con ríos y quebradas que nacen en la cordillera oriental y que se convierten en afluentes de los ríos Magdalena, Meta y Arauca, se destacan: el río Magdalena, Ermitaño, Negro, Minero, Suárez, Sutamanchán, Sáchica, Chíquiza, Iguaque, Arcabuco o Pómeca, Ubazá, Chicamocha, Garagoa, Funjita, Fuche Mueche, Lengupá, Guavio, Pisba, Focaria, Encomendero y Pauto (IGAC, 1992).

Cuenta con tres cuencas hidrográficas sobre los ríos Magdalena, Arauca y el Meta:

Tabla 2. Cuencas Hidrográficas de Boyacá

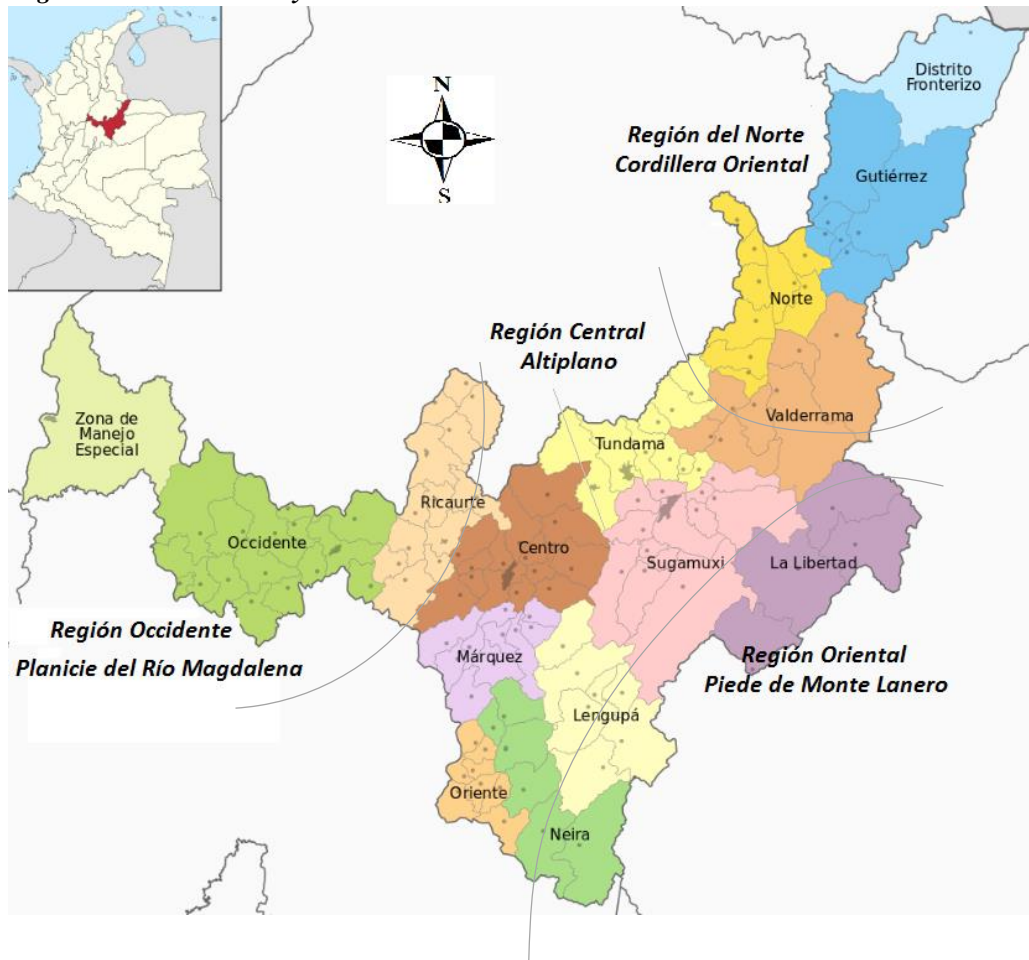
Nombre de Cuenca	Ubicación	Características
Cuenca Rio Magdalena	Occidente del Departamento Boyacá	Recibe aguas del rio Ermitaño, Negro, Minero, Suárez, Sutamanchán, Sáchica, Chíquiza, Iguaque, Arcabuco o Pómeca, Ubazá, Riachuelo, Moniquirá, Chicamocha, Chorrera, Tuta, Pesca, Tota, Saguera, Sasa, Cambas, Loblanco, Rechimíniga, Chitano y Susacón.
Cuenca Rio Meta	No transita el departamento de Boyacá	Recibe las aguas de los ríos Garagoa, Funjita, Fuche, Mueche, Lengupá, Guavio, Upía, Cusiana, Siamá, Cravo Sur, Negro, Pisba, Tocaña, Nunchía, Encomendero y Pauto.
Cuenca Rio Arauca	zona nororiente del departamento	Recibe las aguas de los ríos Garrapato, Culebras, Orozco, Chuscal, La Unión, Rifles, Cubugón, Derrumbado, Támara, Cobaría, Royatá y Bojabá.

Fuente: Elaboración propia a partir de datos del IGAC (1992)

1.3.4 Regiones Naturales

Las regiones naturales de Boyacá están divididas de acuerdo con el relieve, tienen las mismas divisiones y reciben el mismo nombre, para la descripción de sus características (Ver Tabla 1)

Figura 1. Regiones Naturales de Boyacá



Fuente: Elaboración Propia con datos de “Ordenanza número 010 de 2008”. pp. 8-11. Gobernación de Boyacá.

1.3.5 Clima

Por su relieve y posición geográfica Boyacá presenta todos los pisos térmicos desde el nival en la sierra Nevada del Cocuy, hasta el cálido en Vásquez y la vertiente oriental de la cordillera del mismo nombre, empleando la clasificación climática de Caldas-Lang y de acuerdo con el (IGAC, 2002) se presentan los siguientes pisos térmicos en Boyacá:

- Piso térmico cálido: corresponde el 13% del área y se encuentra en el Magdalena medio y piedemonte llanero.
- Piso térmico templado: Cubre el 26% del departamento y se localiza en la parte media de la cordillera.
- Piso térmico frío: Ocupa el 31% del departamento y se ubica en los altiplanos y zonas adyacentes.
- Piso térmico paramuno: Hacen parte de éste los páramos de Saboyá, Chontales, Pisba, Alfombras, La Rusia y Cortadero, entre otros; ocupa el 27% de la superficie del departamento.
- Piso térmico nevado: Se encuentra en la Sierra Nevada del Cocuy o Guicán y corresponde al 3%.

1.3.5.1 Precipitación

El régimen de lluvias es variado. Al centro y occidente del departamento se observa un comportamiento bimodal, con una época seca principal a principios de año y una ligeramente menos marcada, a mediados de año. Las temporadas de lluvia en estas dos zonas tienen lugar en los meses de marzo-mayo y septiembre-noviembre. Al oriente del departamento, el régimen es el característico de la Orinoquia, con una única estación seca de diciembre a marzo y una temporada lluviosa que se prolonga durante el resto del año con máximos de lluvia en los meses de junio-julio (Aranza & Ramírez, 2016).

El departamento presenta una alta variabilidad territorial en la distribución de la precipitación. Las áreas con menores lluvias, de 500 a 1.000 mm anuales, se localizan a lo largo del altiplano Cundiboyacense y a partir de esta zona las lluvias se incrementan tanto al oriente como al occidente del departamento. Al oriente ocurren las lluvias orográficas correspondientes a la vertiente oriental de la cordillera oriental, registrando valores en el rango de 2.000 a más de 5.000 mm. Al occidente, en dirección al valle del Magdalena, las lluvias oscilan entre 2.000 y 3.000 mm al año (Aranza & Ramírez, 2016).

El número de días con lluvia oscila entre 100 y 150 sobre el altiplano Cundiboyacense y aumenta hasta 250 en los municipios localizados sobre la vertiente de la Orinoquia. El resto del departamento registra entre 150 y 250 días lluviosos al año (Aranza & Ramírez, 2016).

1.3.5.2 Temperatura

La mayor parte del departamento pertenece a los pisos térmicos frío y muy frío en todos los niveles de humedad. Los fríos húmedos predominan al oriente, mientras los fríos semiáridos y semihúmedos aparecen al occidente y en el altiplano Cundiboyacense. Los climas templados aparecen en franjas de limitada extensión en las estribaciones de la cordillera oriental al oriente y al occidente, con temperaturas mayores a 20 °C en lugares como Muzo y Otanche. Los climas cálidos son de carácter húmedo y semihúmedo y se localizan en Cubará al norte, San Luis de Gaceno en límites con el Meta, y Puerto Boyacá sobre el Magdalena, con temperaturas que pueden llegar a alcanzar máximos superiores a los 28 °C (IDEAM, 2014).

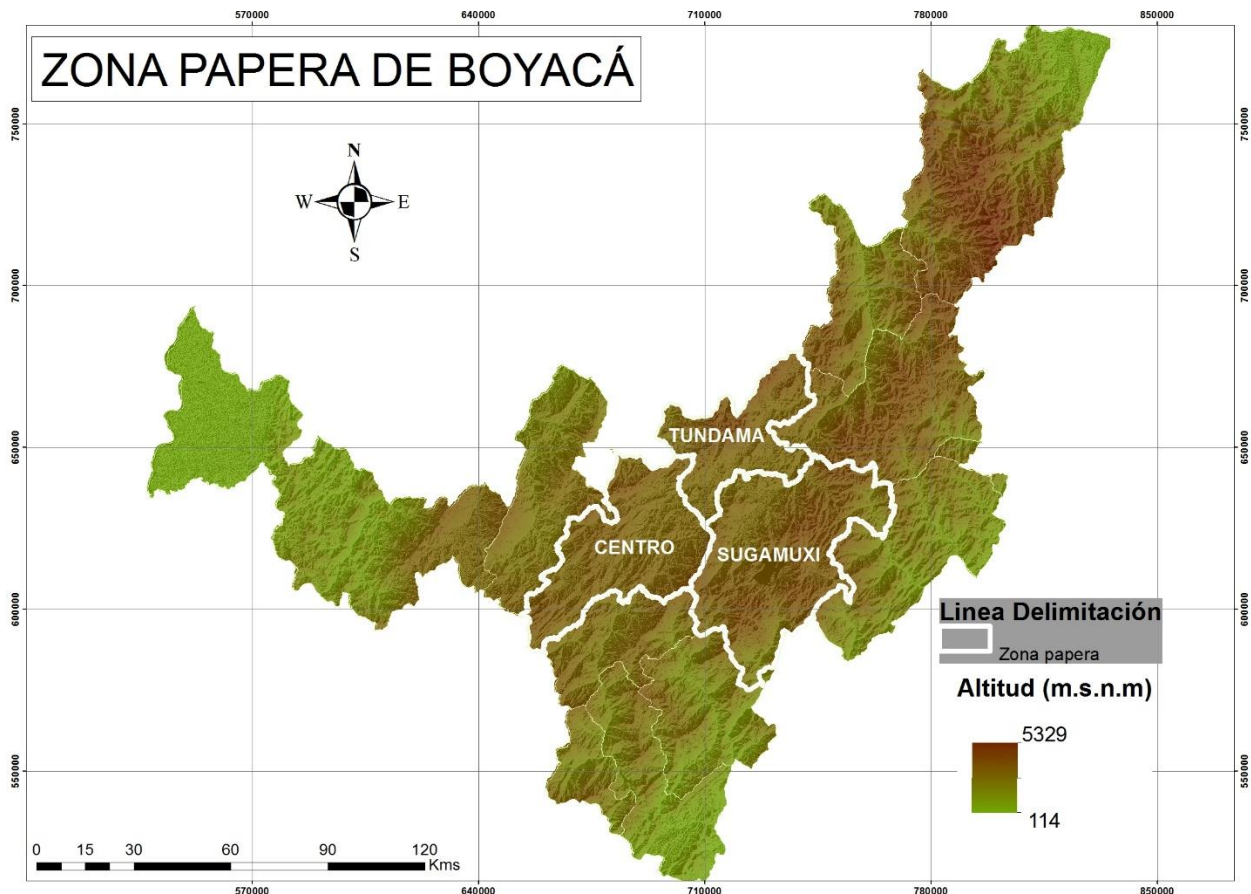
De acuerdo con los registros la temperatura mínima ha descendido hasta valores de -7.2 °C (IDEAM, 2014) y la temperatura máxima registrada ha llegado a valores de 28.6 °C (IDEAM, 2014). Merece especial atención la alta variación de la temperatura diaria, sobre todo durante la época de menos lluvia y que tiene como efecto la aparición de heladas en regiones como Tundamá, Sugamuxi y Centro (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural; Gobernación de Boyacá, 2006).

1.3.6 Zona papera de Boyacá

Se define la zona papera de Boyacá en tres provincias principalmente: Provincia centro, provincia Sugamuxi y provincia del Tundama, según la Secretaria de Fomento Agropecuario de la Gobernación de Boyacá (Consejo Nacional de la Papa, 2014). Las tres provincias pertenecen a la altiplanicie central (Estupiñan P., 2014) o La Región Central (sic), llamada también altiplanicie Cundiboyacense (sic) ocupa el 70 % del territorio boyacense. Se caracteriza porque en ella se concentra la mayor parte de la población, las ciudades y aldeas del Departamento (sic). Sus climas

oscilan entre templado, frío y paramuno. Es zona minifundista y en donde se localiza el poder político y el área industrial. En esta región se concentró el mayor porcentaje de la población indígena chibcha y se localizaron los grupos españoles en la época colonial hispánica. Es el eje geopolítico y socio económico de Boyacá. (Estupiñan P., 2014)

Mapa 2. Delimitación Zona papera de Boyacá



Fuente: Elaboración Propia a partir de información de la Gobernación de Boyacá

1.3.7 Población

Boyacá tiene una población de 1'276.407 Habitantes (Proyección DANE 2015) con una densidad de 55.05 Hab./Km². Aproximadamente el 48% de la población hace parte del sector rural cuya labor está centrada en la agricultura y la ganadería desarrolladas principalmente de forma artesanal (DANE_MADR, 2002), es decir no tecnificada.

1.3.8 Economía de la papa en Boyacá

La papa y su cultivo en Boyacá son muy importantes tanto en el ámbito social como en su desarrollo económico. En lo social porque es un cultivo de tradición y en lo económico porque constituye uno de los sistemas productivos principales de la economía boyacense (Fedepapa, 2017) al tener un papel destacado en la canasta familiar y en la seguridad alimentaria (Moreno, 2006) citado por (Lizarazo H., Hurtado R., & Rodríguez C., 2015). Boyacá se destaca como el segundo mayor productor de papa gracias a sus características climatológicas y geográficas apropiadas para el desarrollo de este cultivo (Fedepapa, 2010) citados por (Lizarazo H. et al., 2015).

De los 123 municipios de Boyacá, 82 son productores de papa de acuerdo con el censo efectuado en el departamento en el 2002 y su máxima producción se concentra en las provincias de Centro, Sugamuxi y Tundama según la secretaria de fomento agropecuario de la gobernación de Boyacá (Consejo Nacional de la Papa, 2014) cuyo municipio con mayor producción de papa es Ventaquemada (Ñustez, 2011).

Boyacá presenta una estructura minifundista en el sistema productivo de la papa. Un 95% son pequeños productores de papa en Boyacá con un promedio de menos 3 hectáreas sembradas de los cuales 80% siembran menos de una hectárea. Son del estrato 1 y 2 con un núcleo familiar de aproximadamente 5 integrantes y consumo per cápita promedio de 62 Kg/año. El destino principal de la producción es consumo interno en fresco y agroindustria.

Es de resaltar de acuerdo con el censo de 2002 que la mayoría de las personas que se dedican a este oficio, como cultivadores y productores de papa de Boyacá, un 83 % solo han cursado la primaria y muy pocos se han tecnificado, es así como el 78 % no dispone de agua para riego o de un sistema de riego (DANE_MADR, 2002). Esto sumado a la falta de asociatividad de los pequeños agricultores y el costo de insumos, los aleja de la posibilidad de ser más competitivos presentando bajo poder de negociación, escasa o nula agregación de valor y, por ende, difícil acceso a nuevos mercados.

1.4 Estado del arte de la producción de papa y el calentamiento climático

En los últimos años se viene desarrollando investigación sobre la determinación de los posibles efectos del cambio climático en productos agrícolas tan importantes como la papa. Es así como se han llevado a cabo a nivel internacional y nacional distintas investigaciones alrededor del tema.

A nivel internacional se realizó una muy interesante en los Andes peruanos en el año 2018 por (Tito, Vasconcelos, & Feeley, 2018b) en donde se sometió cultivos de papa y maíz a diferentes elevaciones simulando el cambio climático con las distintas temperaturas (Cálidas y frías) dando como resultado que las temperaturas más cálidas generan disminuciones de más del 87% de los cultivos, esto por la mayor incidencia de nuevas plagas, junto con la calidad y el valor de los cultivos.

En suiza en el año 2017 publicaron una investigación donde reconstruyeron el clima de 1816-1817 a raíz de la erupción de la Tambora en 1815 simulando escenarios climáticos para compararlos con el cambio climático actual y modelar las reducciones en los rendimientos de los cultivos (Flückiger et al., 2017) cuyo resultado fue una reducción substancial entre el 20-50% en el rendimiento potencial de la papa en 1816 en un cambio de temperatura y de escenarios más contaminados.

También en el año 2017 en Cuba, más exactamente en San José de las Lajas, Mayabeque, se desarrolló una investigación sobre los efectos de las temperaturas en el rendimiento de la papa, proyecto desarrollado en una finca con una elevación de 138 msnm y se evaluó el comportamiento de las temperaturas máximas, medias y mínimas en los años 2014 y 2015 se llega a resolver que las temperaturas constituyen un factor importante con gran influencia en el rendimiento siendo el mejor año el 2015 por presentar temperaturas más bajas; finalmente el estudio señala que por cuenta del cambio climático se presenta una reducción en el rendimiento de papa entre 10 a 19% en Latinoamérica (Martín & Jeres E., 2017).

En el año 2016 en Perú, en el departamento de Puno, para las cuencas Huancané y Coata, se evaluó el cambio climático (Temperatura y Precipitación) de 1967-2006 y 1956-2009 respectivamente y su incidencia en los cultivos de papa y quinua a través un modelo de riego de cultivo (CROPWAT 8.0) para estimar los requerimientos futuros de riego del cultivo (López, 2016) lo que se espera de

acuerdo con los resultados es que se presente un efecto negativo siendo más afectado el cultivo de la papa que el de la Quinoa esto por su mayor susceptibilidad al cambio climático, las condiciones locales y climáticas de la zona que prevén una disminución en la precipitación (López, 2016).

En algunos países de África se evaluó en el 2015 los impactos del cambio climático (CC) en 14 cultivos entre ellos el de la papa, dando como resultado la investigación que el CC es negativo para el rendimiento de los cultivos siendo más afectados los granos y para la papa una disminución en los rendimientos que oscilan entre el 15% al 10% (Adhikari, Nejadhashemi, & Woznicki, 2015)

En Europa del Norte se evaluaron los efectos potenciales de un clima más cálido sobre la fenología del cultivo y el estrés térmico haciendo uso de un modelo fenológico, interpolación de los datos climáticos y proyección al 2100 las simulaciones a futuro muestran adelantos en la cosecha, emergencia de la papa asociada a las heladas, desarrollo tardío por cuenta de la temperatura si no es la óptima y riesgo ligeramente mayor de estrés por temperatura que las corridas correspondientes con los datos de temperatura corregidos por escalado lineal (Pulatov et al., 2015).

En Florida en el año 2015 se publica una investigación que aborda la problemática del desarrollo del Tizón tardío, que es una plaga que ataca el cultivo de la papa, y su relación con la temperatura. Los resultados señalan que al tizón tardío bajo oscilaciones pequeñas de temperatura aumento su eficiencia de infección y su tasa de crecimiento pero ya a oscilaciones de temperaturas más amplias el tizón disminuye (Shakya, Goss, Dufault, & van Bruggen, 2015).

Otra investigación evalúa también el efecto del cambio climático sobre el Tizón tardío en el cultivo de la papa. Se evaluó para cinco partes del mundo: Tierras altas Andinas, Llanura Indo gangética y altas del Himalaya, tierras altas del sudeste asiático, tierras altas de Etiopía y tierras altas del lago Kivu en África. Los resultados muestran que si hay un riesgo de que el tizón tardío aumente esto inicialmente, pero que disminuye a medida que las fechas de siembra cambien a temporadas más frías (Sparks, Forbes, Hijmans, & Garrett, 2014).

En la India, que es el segundo mayor productor de papa en el mundo, se evaluó también el impacto del CC en el cultivo de la papa, para este estudio se utilizaron escenarios MIROCHI.3.2 A1b y B1 PRECIS A1 b, A2 y B2 estimando también las posibles ganancias de adaptación. Los resultados indican que por cuenta del CC la duración del cultivo de papa disminuirá, se proyecta que la evapotranspiración (ET) aumente, mientras que la eficiencia del uso del agua disminuirá en climas

futuros. Se estima que para el año 2020 disminuya el rendimiento en un 2,5%, para el 2050 en un 6% y para el 2080 en un 11%.(Naresh Kumar et al., 2014)

Desde otro enfoque, en Canadá en el año 2014 se aborda el impacto del cambio climático en la producción de papa desde la influencia de las prácticas de conservación del suelo y agua en la solución de la problemática, se utilizó el método de función de producción estocástica junto con un conjunto de datos a gran escala que abarca 18 granjas durante un período de 23 años los resultados muestran que si se toman medidas de control y contabilidad de las prácticas de conservación del suelo y el agua se contrarresta los efectos negativos del cambio climático e incluso presenta mejoras en los rendimientos de hasta el 38 % en el cultivo de la papa (Ochuodho et al., 2014).

En el sur del África, en el 2013, (Haverkort, Franke, Engelbrecht, & Steyn, 2013) realizaron una investigación haciendo proyecciones sobre seis modelos climáticos distintos con simulaciones de temperatura, precipitación, velocidad del viento y radiación solar como insumo para ejecutar el modelo de crecimiento de los cultivos LINTUL_ Potato los resultados indican que proyección de temperaturas más altas 1.9°C, aumento en el CO₂, efectos negativos sobre el cultivo por causa de la temperatura y disminución del agua pero compensados positivamente por el aumento de los niveles de CO₂, la eficiencia en el uso del agua y la productividad de los cultivos.

También en el 2013, en las tierras altas peruanas, se desarrolla una investigación sobre el mismo tema con proyecciones para el 2071-2100 usando el modelo HadRM3P el cual se ejecuta bajo escenarios de emisión alta concentración de CO₂ A2 y B” alrededor de puntos del lago Titicaca (Sanabria & Lhomme, 2013). Los resultados indican que en climas futuros habrá cambios en la temperatura y la precipitación por lo que los déficits en los rendimientos del cultivo serán mayores con el cambio climático respecto al clima actual.

En China en el año 2010 realizaron la misma investigación para la meseta de Laess, a través de métodos estadísticos, dio como resultado que para el periodo 1957-2008 el cambio climático acorto la etapa de crecimiento vegetativo pero alargo la etapa de crecimiento reproductivo, en conclusión las altas temperaturas limitan el crecimiento y el rendimiento de la papa (Yao Yuxi , Wang Runyuan , Deng Zhenduo, 2010).

A nivel Nacional

A nivel nacional en el Departamento de Cundinamarca se realizó la investigación a 9 cultivos entre ellos el de la papa para identificar cambios en las áreas de producción bajo escenarios de cambio climático con interpolación de temperatura y precipitación, modelación para determinar el área y espacialización actual de los cultivos con proyecciones 2011-2040 y 2070-2100 bajo escenarios de cambio climático A2 y B2. Se espera que para el caso específico del cultivo de la papa este tienda a desaparecer por cuenta de las nuevas condiciones climáticas (Cortés & Alarcón, 2016).

En otra investigación desarrollada en el municipio de Villapinón se evalúan los efectos del cambio climático pero desde un enfoque económico (denominado Ricardiano) que permite cuantificar los efectos del cambio climático asumiendo que el valor del suelo va a depender de su productividad, y de la capacidad de adaptación de los productores se identifican unos efectos asociados a los aumentos de temperatura en la producción de papa, desde este enfoque Ricardiano se consideran positivos porque dichas afectaciones inciden en el aumento de los precios y del valor de la tierra que tendera a incrementarse para los años 2040, 2070 y 2100 (González Velandia & Galera Gelvez, 2014).

Cesar Cortes en el año 2013 realizo una investigación sobre estimación del rendimiento del cultivo de la papa en Cundinamarca y Boyacá con el uso de un modelo “AquaCrop” esto con el soporte de MADR, DNP y la FAO para apoyar y fortalecer acciones que conlleven a evaluar impactos económicos del cambio climático estableciéndose la presencia de impactos negativos del cambio climático sobre el cultivo de la papa por la disminución de agua y una posible reducción de los periodos vegetativos debido al incremento de las temperaturas en las zonas (Cortés, 2013)..

En el año 2011 desde la Universidad Nacional de Colombia (Rojas, 2011) realizó una investigación en la Sabana de Bogotá con información climática a escala diaria y escenarios de cambio climático desarrollados por el IDEAM, donde se realizaron simulaciones del cultivo en reducción de precipitación y aumento de temperatura. Como resultado se presentó disminución en los rendimientos simulados y se hizo énfasis en la importancia de la capacidad de almacenamiento y retención de humedad de los suelos para combatir las exigencias climáticas puesto que el estrés hídrico incrementa el riesgo de pérdida de la cosecha y la disminución de los rendimientos.

1.5 Conclusiones Capítulo 1

Al finalizar este capítulo 1 para definir la problemática de esta investigación, luego de una revisión bibliográfica sobre el tema cambio climático y producción de papa se puede concluir que:

A pesar de que Boyacá es el segundo departamento con mayor producción de papa y que el cambio climático es una problemática actual se conoce pocas investigaciones que relacionen estos dos temas para la región, lo que pone en desventaja a Boyacá respecto de otros departamentos del país que también son productoras.

Los estudios e investigaciones realizadas sobre cambio climático y su afectación en la producción de papa se desarrollan principalmente simulando el comportamiento de un cambio climático respecto al cambio de temperatura (más alta) y al suministro de agua al cultivo de la papa.

2. Cambio climático en zona papera de Boyacá periodo 1986-2017

Existen evidencias de que el cambio climático es natural, ya que la tierra ha estado en constante cambio desde su formación y se han presentado diferentes períodos como las glaciaciones y periodos cálidos también (GÓMEZ, 2016). Mucho que ver tienen los gases efecto invernadero GEI presentes de forma Natural en la tierra. El cambio climático se convierte en una problemática por la celeridad con la que se está presentando en los últimos tiempos, desde que comenzó la época preindustrial (aumento temperatura media de la tierra de 1,1 grados centígrados) (IPCC, 2013a) celeridad que no corresponde con los ciclos naturales de la tierra.

La actividad humana tiene mucho que ver en la aceleración del cambio climático en nuestro planeta, es así como por cuenta del hombre las emisiones de GEI han aumentado un 70% entre 1970 y 2005, información suministrada en el quinto informe de evaluación del grupo intergubernamental de expertos sobre el Cambio Climático IPCC año 2013 citado por (Mora Motta, 2014). La revolución Industrial y el descubrimiento del combustible fósil y su posterior uso, la disminución de los bosques y métodos nuevos de explotación agrícola son actividades que han aumentado el volumen de los gases efecto invernadero (IPCC, 2013a) y han disminuido la capacidad natural de la tierra de responder a ellos.

Los Gases efecto invernadero son vitales para la tierra, pues sin ellos el mundo sería un lugar frío y yerto. Pero al aumentar indiscriminadamente el volumen de estos gases provoca unas temperaturas artificialmente elevadas que modifican el clima, es en este punto donde comienza el problema del cambio climático.

En la actualidad existe una cierta preocupación por el hecho de que el clima pueda estar cambiando a un ritmo excesivamente rápido en comparación con sus fluctuaciones naturales. Según el Panel Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático (IPCC, 1996), el incremento de dióxido de carbono y otros gases en la atmósfera, de continuar a los ritmos actuales de emisión, darán lugar en las próximas décadas a un cambio climático global que se reflejará en distintos fenómenos que alterarán especialmente la temperatura y los regímenes de precipitaciones del planeta Tierra.

Cambio Climático

Se llama cambio climático a la modificación del clima con respecto al historial climático a una escala global o regional (Bascopé, 2013). La Convención Marco de la Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (1992), define al cambio climático en su artículo 1 párrafo segundo, como un cambio de clima atribuido directa e indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante períodos de tiempos comparables.

En otras palabras el cambio climático no es otra cosa que el producto entre la acción del hombre y los fenómenos naturales(IPCC,2007) Citado por (GÓMEZ, 2016)

Clima

De acuerdo con el IDEAM el clima se define como un estado medio de la atmosfera que representa las condiciones predominantes en un lugar durante un periodo determinado de tiempo (Montealegre, 2009)((Pabón, 2011) citado por (GÓMEZ, 2016)). El IPCC lo define como el estado promedio del tiempo atmosférico dado en valores medios para periodos que pueden ir desde meses hasta miles de años (IPCC, 2013b). El periodo mínimo para evaluar el Clima es de 30 años según la definición de la Organización Meteorológica Mundial. Las magnitudes que se evalúan son por lo general variables de superficie: Temperatura, Precipitación entre otras. Se considera la temperatura y la precipitación las variables más importantes para interpretar el clima, por su impacto sobre la vida diaria y la disponibilidad de los datos de observación (GÓMEZ, 2016).

Tiempo

El tiempo es el cambio de estado de la atmosfera en el momento que puede ser en unas horas o unos días y es a través de él, según el IDEAM que se puede hacer predicciones sobre el futuro cercano. De forma pedagógica el (IDEAM, 2019) explica que el clima es como la personalidad de una persona y el tiempo su estado de ánimo en un momento determinado. Una región puede tener un clima cálido seco, por ejemplo, pero puede presentar días fríos con aguaceros torrenciales, ese es el tiempo.

2.1 Tratamiento preliminar de datos meteorológicos

Para la obtención de los datos meteorológicos, El IDEAM (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales) en Colombia es la institución encargada de facilitar dicha información y maneja estaciones meteorológicas que pueden proporcionar datos de temperatura, precipitación, brillo solar, Humedad Relativa, etc. esto dependiendo del tipo de estación, ya que hay Climatológica principal (CP), Climatológica Ordinaria (CO), Agro Climatológica (AM), Pluviométrica (PM), Pluviográfica (PG)(IDEAM, 2012). Para el desarrollo de esta investigación se empleó información de 37 estaciones meteorológicas, de las cuales cuatro (4) son CP, Cinco (5) CO, tres (3) AM, Veinte (20) son PM y cinco (5) PG.

En la recopilación de estos datos meteorológicos es posible encontrar anomalías por presencia de valores atípicos o datos faltantes (Vanlesberg, Fibbi, Ibarrola, & Crotti, 2019) los cuales deben ser completados y homogenizados para realizar cualquier análisis (Carrera et al., 2016). Es por ello que se requiere un tratamiento preliminar para tener control de calidad sobre estos datos meteorológicos.

2.1.1 Detección de valores atípicos

En el momento de la recolección de los datos meteorológicos para el desarrollo de la investigación es posible encontrar observaciones numéricas distantes del resto de los datos. Es probable que estos valores atípicos provoquen un efecto desproporcionado en los resultados estadísticos y producir interpretaciones engañosas, pero también es posible que aporten información útil. Es por ello que se hace necesario identificarlos si los hay y posteriormente analizarlos. Para el caso específico de esta investigación se analizaron dichos datos atípicos presentes en las precipitaciones y se optó por dejarlos sin ningún tratamiento ya que se identificó que dichos valores coincidían con el fenómeno de La Niña que se presentó en la zona investigada en 1999 y 2011 (Montealegre J., 2007).

2.1.2 Llenado de datos faltantes

Para completar los datos faltantes de precipitación mensual reportados por 37 estaciones climatológicas distribuidas en el área catalogada como la zona papera de Boyacá durante el periodo de 1986 a 2017 se realizó un análisis de regresión lineal ya que se requieren datos históricos confiables y validados para poder realizar cualquier tipo de análisis (Carrera et al., 2016).

2.1.2.1 Regresión lineal

En busca de obtener una mejor calidad en la información de precipitación antes de tomar los datos anuales que se presentan completos, se realizó una revisión a los datos mensuales solicitados al IDEAM para el periodo de 1986 a 2017 encontrándose huecos de información, muy seguramente por la ausencia de lectura, falla del instrumento de registro, error de transcripción, suspensión o retiro del instrumento de medición, etc. (Instituto Alexander Von Humboldt, 2014). Esto limita su análisis y constituye una fuente de error.

Para completar estos datos faltantes existen una serie de métodos entre ellos los estadísticos, estos están propuestos en la Guía de Prácticas Climatológicas de la Organización Meteorológica Mundial, en inglés llamada *World Meteorological Organization* (WMO, 1993) allí se propone entre otros la regresión lineal, de la razón y la razón normal propuestos por Paulhus y Kohler(1952) Alfaro y Pacheco (2000) (Herrera, Campos, & Carrillo, 2017) donde se concluyó que el mejor es el de la regresión.

La regresión-correlación es uno de los métodos más utilizados a nivel mundial para rellenar la información meteorológica (Carrera et al., 2016), que es un método que parte de la relación lineal entre variables y el grado de relación determinado por el coeficiente de correlación, de lo anterior se genera una ecuación que permite calcular el valor faltante en función del dato de la estación de referencia (Monsalve, 2009 y Aparicio, 2012) citado por (Carrera et al., 2016).

Algunos autores como (Aparicio, 2011) y (Campos Aranda, 1999) citados por (Herrera et al., 2017) señalan que este método se puede usar cuando se parte de registros simultáneos de otras estaciones siempre y cuando sean cercanas a la estación de estudio. Por otra parte, (Eischeid, Pasteris, Diaz, Plantico, & Lott, 2000; Hubbard, 2001; Wade, 1999) indican que uno de los métodos más empleados en la estimación de valores de datos faltantes, principalmente de

precipitación y temperatura, es el método de regresión lineal esto por cuenta de su simplicidad, de no requerir algún software especializado y por entregar unos resultados claros y generosos, citado por (Herrera et al., 2017). Es además considerado un método superior entre los tradicionales para las variables de temperatura y precipitación especialmente (María et al., 2015).

El factor que garantiza la calidad del método de regresión lineal en el llenado de datos faltantes es el coeficiente de correlación, es así como (Pizarro, 2016) indica que un bajo coeficiente puede generar inconsistencias en los resultados y que esto lejos de resolver un problema lo agudizaría generando datos no representativos de la realidad que se quiere estimar (UNESCO - ROSTLAC, 1992) citado en (Pizarro R., Ausensi P., Aravena D., & Sangüesa C., 2016).

El rango de este coeficiente es entre $-1 \leq R \leq 1$, donde el valor 0 indica una correlación nula, en tanto los valores 1 y -1 , denotan una correlación total. (Cruz-Roa & Barrios, 2019) señalan que un coeficiente de correlación R mayor a 0.5 indica que las estaciones involucradas constituyen un grupo hidrológico homogéneo. Si es superior a 0.5 se considera correlación positiva de intensa a perfecta (Lind et al., 2004) citado por (Carrera et al., 2016). Otros autores que han desarrollado trabajos de investigación han empleado coeficientes de correlación plenamente validados y aceptados desde 0.8 como es el caso de la investigación “Estimación de datos faltantes de precipitación por el método de regresión lineal” (Herrera et al., 2017).

2.2 Estimación de cambio de precipitación

De acuerdo con lo anterior y a fin de garantizar la calidad de los datos estimados de precipitación por el método de Regresión lineal simple, se utiliza la regresión lineal para el llenado de datos si se encuentra un coeficiente de correlación igual o mayor a 0,83.

2.2.1 Comparación de precipitaciones periodos 1986-2001 y 2002-2017

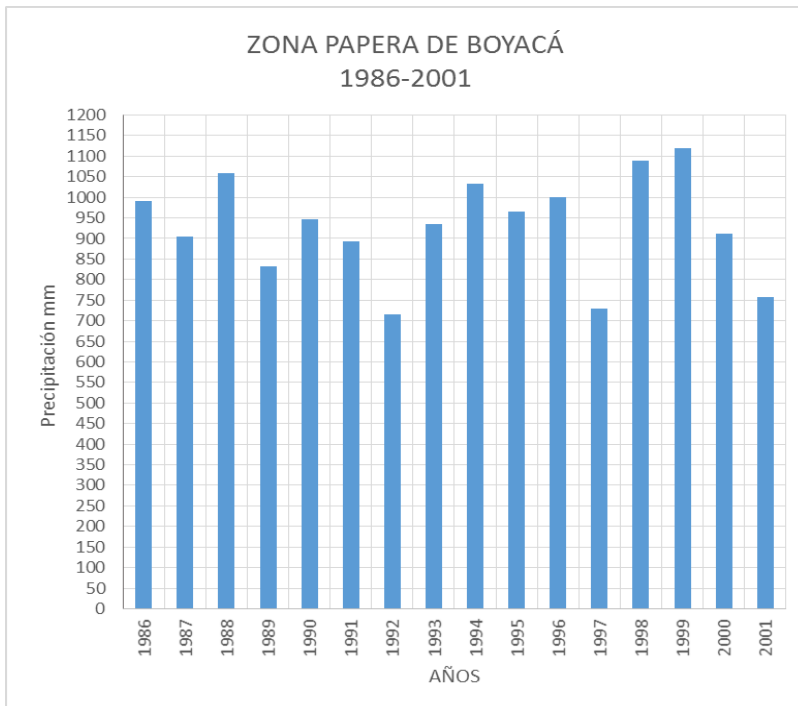
Se toman los totales anuales de precipitación de las estaciones meteorológicas, en total 37, que proporcionaron los datos de precipitación para la zona papera de Boyacá.

2.2.1.1. Precipitación total anual

Los años más lluviosos durante este periodo son 1986, 1988, 1996, 1998 y 1999 con valores de 990, 1.059, 1.000, 1088 y 1.119 mm respectivamente siendo el año más lluvioso el de 1999. El

año que presento menor precipitación con 717 mm de agua fue 1992. En general el promedio de lluvia para este periodo comprendido por 16 años es de 930 mm de lluvia. También es de resaltar que el año que presenta menor precipitación (1992) coincide con un fenómeno de El Niño moderado que se presentó para la época entre 1991 y 1992 de acuerdo con el IDEAM (Montealegre J., 2007) de igual forma que para el año 1999 se presentó un fenómeno de La Niña (Montealegre J., 2007) lo cual queda evidenciado en los resultados.

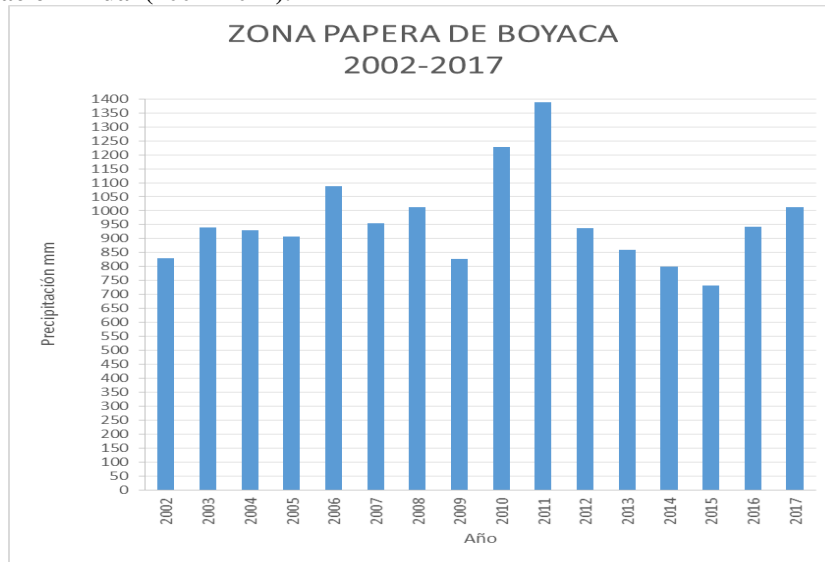
Figura 2. Precipitación Anual (1986-2001)



Fuente: Elaboración propia a partir de datos del IDEAM

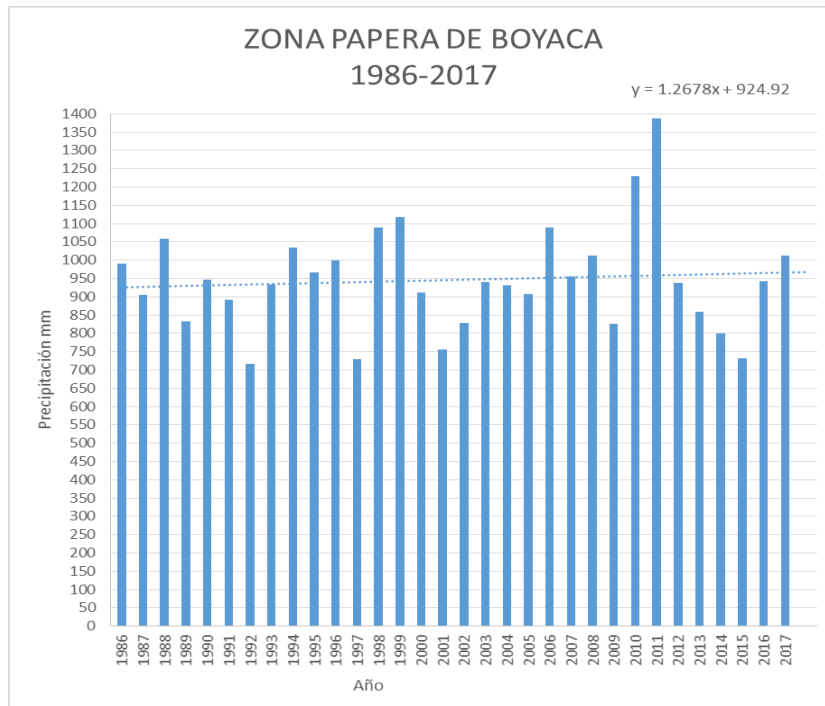
De acuerdo a lo observado en la Figura 3, correspondiente al segundo periodo evaluado entre 2002 y 2017, se presenta para este periodo, el año más lluvioso en el 2011 con 1.387 mm, lo cual coincide con un fenómeno de La Niña que se presentó para este año ((Montealegre J., 2014)) según lo que se puede observar en la Figura 3 el resto de los años del periodo se presentó una relativa estabilidad en las lluvias de año a año. En general el promedio de lluvia para este periodo comprendido por 16 años es de 962 mm de lluvia

Figura 3. Precipitación Anual (2002 -2017).



Fuente: Elaboración propia a partir de datos del IDEAM

Figura 4. Precipitación Anual (1986 - 2017).



Fuente: Elaboración propia a partir de datos del IDEAM

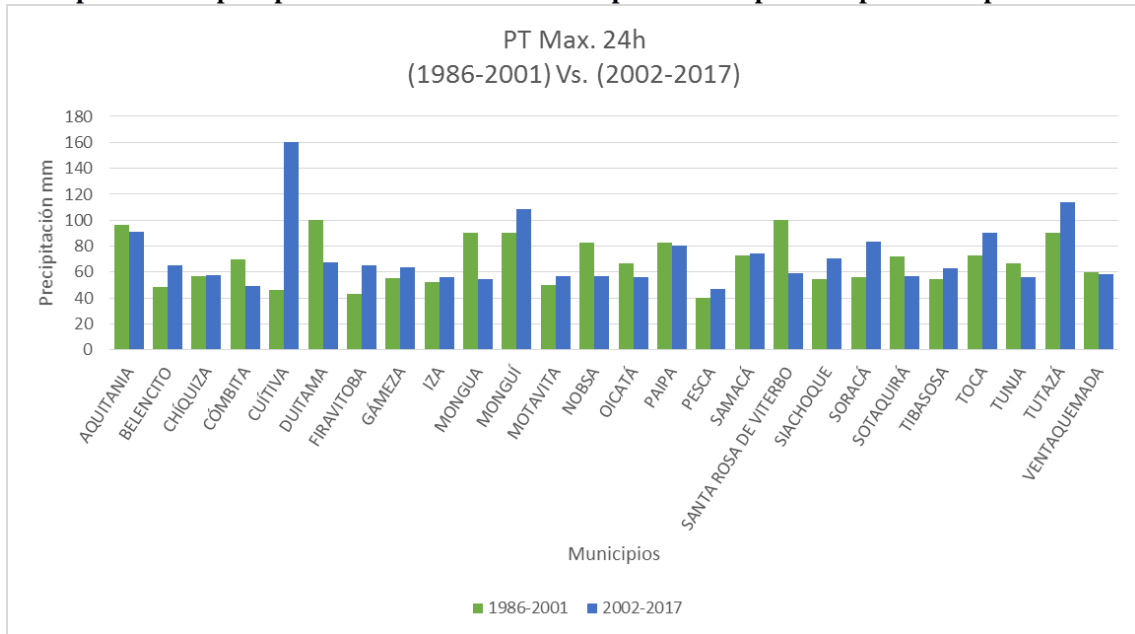
En la figura 4, se encuentra la precipitación total anual para el periodo de (1986 – 2017) comprendido por 32 años. Se observa que de acuerdo a la línea de tendencia esta sube ligeramente pasando del primer año evaluado (1986) de 926,2 mm a 965,5 mm en el año 2017 cuya diferencia es de 39,3 mm, de igual forma su pendiente positiva de 1.2 indica un crecimiento de la precipitación de 1.2 mm por cada año. El periodo de estudio presenta años más lluviosos siendo el mayor el 2011 con precipitaciones de 1.387 mm seguido por el 2010 con 1.229 mm, 1999 con 1.119 mm, 1998 con 1.088 mm y los menores 1992 con 717 mm, 1997 con 729 mm, 2009 con 827 mm y 2015 con 731 mm.

2.2.1.2. Cambio en la precipitación máxima en 24 horas por Municipio

Para estimar la presencia de posibles sucesos extremos existen diferentes variables que se pueden evaluar, una de ellas es la precipitación máxima en 24 horas (Puertas & Soto, 1999). A través de esta variable se puede valorar la presencia de procesos hidrológicos erosivos, en una zona determinada, ya que está demostrada la importancia del factor precipitación en los procesos de erosión y pérdida de suelo (Schnabel, 1998) que a la larga representa peligro para el desarrollo de los cultivos. Cuando los valores de estas precipitaciones máximas en 24 horas sobrepasa los 100 mm se relaciona con una alta probabilidad de que puedan producirse inundaciones en la zona (Martín Vide, Llasat Botija, & Llasat Botija, 2000).

Se observa en la Figura 5 que para el primer periodo evaluado (1986-2001) los municipios de Duitama, Santa Rosa, Aquitania, Mongua y Monguú presentaron los valores mayores de precipitación máxima en 24 horas, siendo el mayor el de Santa Rosa (101mm), Duitama(100mm) seguido por Aquitania con 97 mm lo que indica que en estos 3 municipios se presentó durante este periodo un episodio de lluvias Torrenciales ya que de acuerdo con la teoría (Martín Vide et al., 2000) supera o se encuentra muy cercano a 100 mm de lluvia durante un día. Los demás municipios para este periodo no superaron los 60 mm de precipitación máxima en 24 horas por lo que no se presentó episodios de amenaza para los cultivos.

Figura 5. Comparación de precipitación Máxima en 24 horas para los dos periodos por municipio

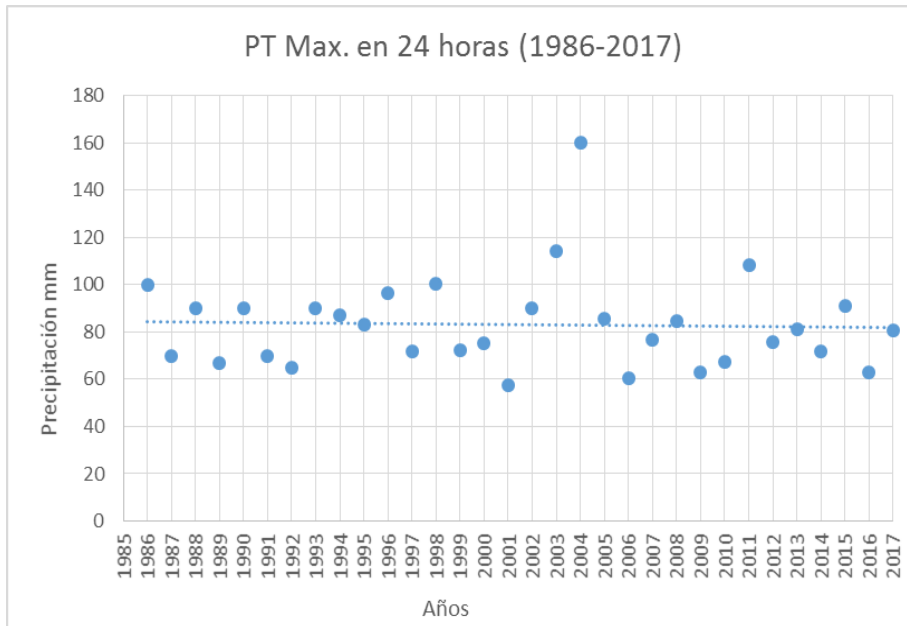


Fuente: Elaboración propia a partir de datos del IDEAM

Para el segundo periodo evaluado 2002-2017 se presenta en el municipio de Cuítiva el valor más alto de 160 mm de PT máxima en 24 horas (2004) lo cual sugiere un fuerte episodio de lluvia Torrenciales e inundaciones, le sigue Tutazá con 114 (2003) mm y MonguÍ con 108 mm (2011) para los cuales también durante este periodo evaluado se presentó un episodio de lluvias Torrenciales. Los demás Municipios estuvieron por debajo de los 100 mm. El análisis anterior sugiere que en los dos periodos para al menos 3 municipios se presentaron episodios que se convierte en amenaza para los cultivos específicamente para el de la papa.

Se toma la precipitación máxima presentada por cada año para este periodo evaluado de 32 años en la zona papera de Boyacá, Figura 6. Se observa que en un 97 % de los años evaluados la variable estuvo por encima de los 60 mm. 17 de los 32 años evaluados equivalente a 53% presenta valores por encima de 80 mm en su mayoría muy cercanos a 100 mm se puede considerar alto dentro del rango de lo normal (Martín Vide et al., 2000) y propenso a erosión y posibles inundaciones (Schnabel, 1998).

Figura 6. Precipitación Max. En 24 horas por año para la zona papera (1986-2017)



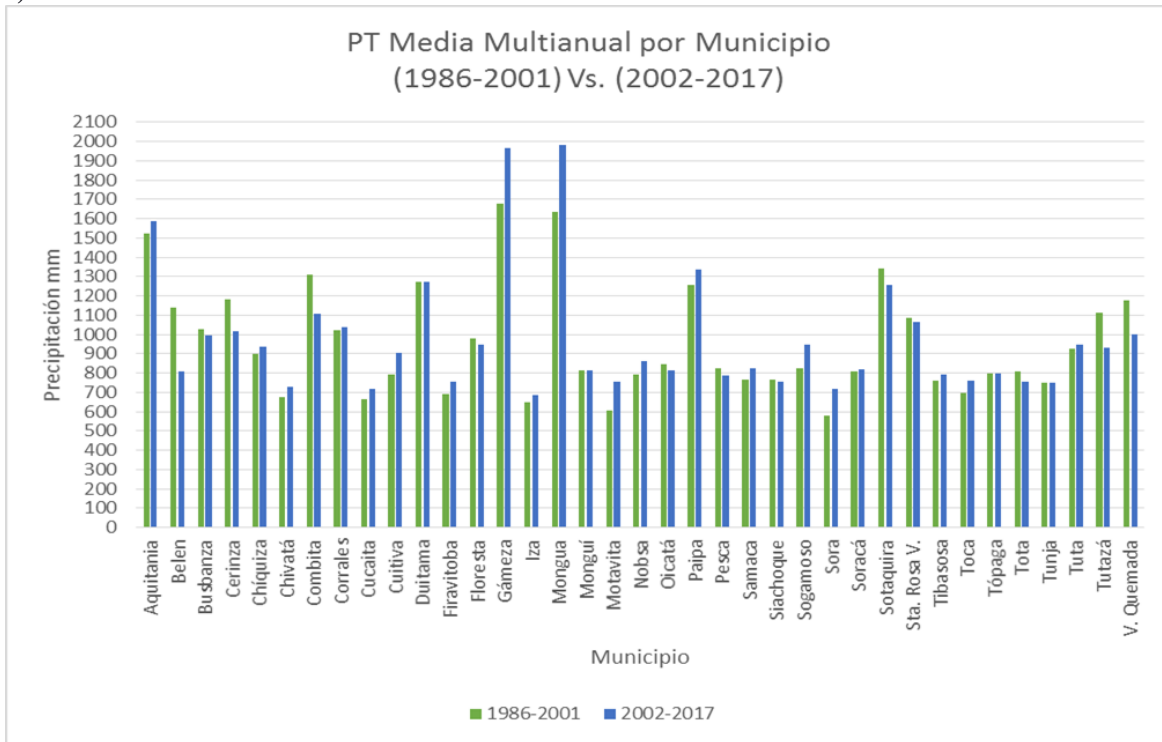
Fuente: Elaboración Propia a partir de datos del IDEAM

Se observa también la presencia de episodios que sobre pasan los 100 mm, el más fuerte de 160 mm en el 2004, seguido por uno de 114 mm en el año 2003 y de uno de 108 mm en el año 2011, por lo cual se puede considerar que en estos años se presentaron amenazas de inundaciones y posible erosión del suelo que pudieron afectar los cultivos en al menos 3 lugares pertenecientes a la zona papera de Boyacá. La tendencia de los datos para este periodo 1986-2017 sugiere que el valor de las precipitaciones máximas en 24 horas para cada año va disminuyendo.

2.2.2 Precipitación Zona Papera de Boyacá por Municipios

De acuerdo a lo observado en la figura 7 para el periodo 1986-2001 los municipios que presentan mayor precipitación total media multianual y que superan los 1.600 mm son Gámeza y Mongua, le sigue Aquitania con 1.522 mm, luego Combita, Duitama, Paipa, Sotaquirá con un poco más de 1.200 mm, le siguen Ventaquemada, Tutazá, Santa Rosa de Viterbo, Corrales, Cerinza, Belén y Busbanzá con un poco más de 1.000 mm. Entre 1.000 – 800 mm esta Chíquiza, Monguít, Oicatá, Pesca, Sogamoso, Soracá, Tota y Tuta. Entre 800 - 600 mm se encuentran Chivatá, Cucaita, Iza, Motavita, Nobsa, Firavitoba, Samacá, Siachoque, Tibasosa, Toca, Tópaga y Tunja. Finalmente, por debajo de los 600 mm se encuentra Sora con una precipitación promedio de 578 mm de PT.

Figura 7. Comparación de precipitación de Zona papera de Boyacá por municipio (1986-2001) Vs. (2002 - 2017)



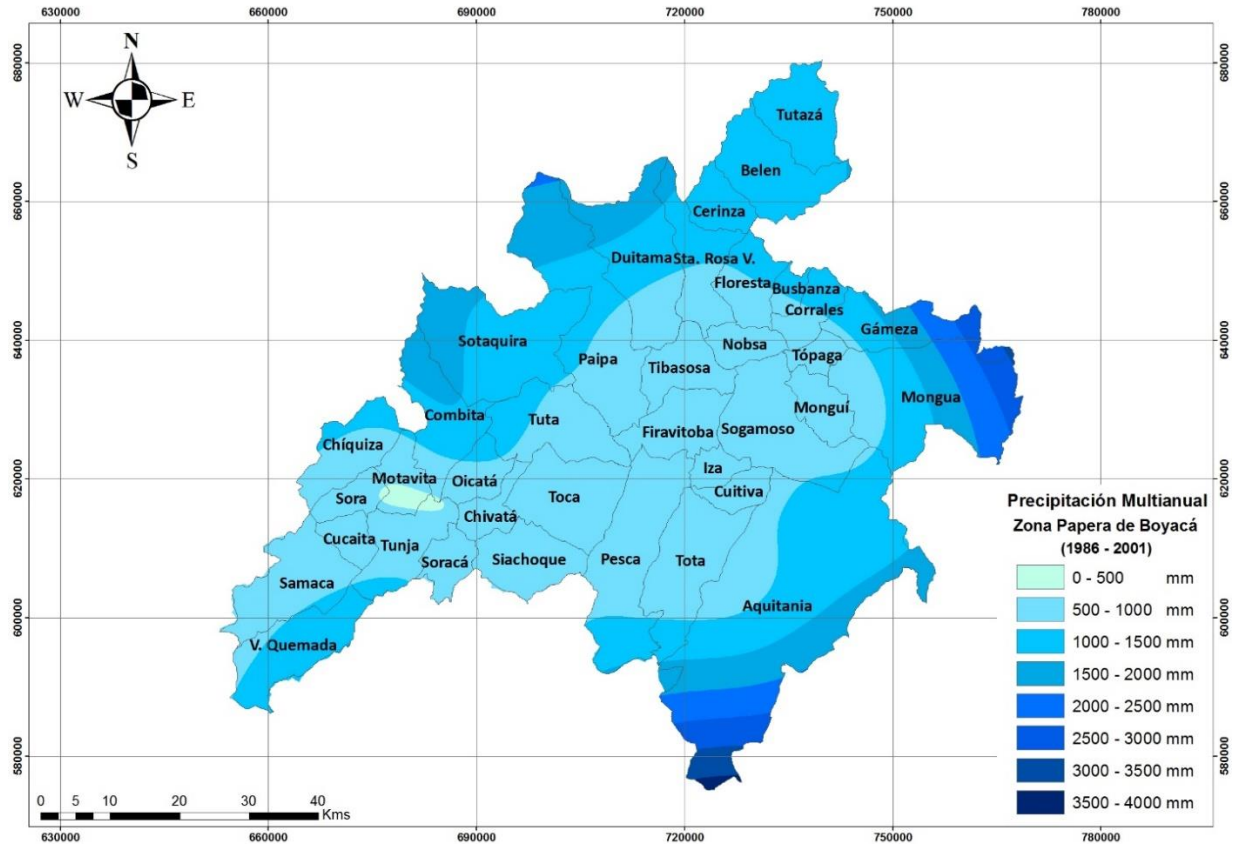
Fuente: Elaboración propia a partir de datos del IDEAM

Para este segundo periodo evaluado (2002-2017), de acuerdo con Figura 7 la precipitación total media multianual para algunos municipios aumento respecto al periodo anterior (1986-2001) tal es el caso de Aquitania que paso de 1.521mm a 1.587 mm, en Gámeza y Mongua aumento en 290 mm y 347 mm respectivamente. Sora que antes se encontraba por debajo de los 600 mm aumento su precipitación a 719 mm aproximadamente. Por encima de los 1400-1200 mm se encuentran Sotaquirá, Paipa, Duitama. Entre 1200-1000mm Cerinza, Combita, Corrales, Santa Rosa de Viterbo y Ventaquemada. Entre 1000-800 mm esta Belén, Cuitiva, Floresta, Monguí, Nobsa, Oicatá, Samacá, Sogamoso, Soracá, Tuta y Tutazá. Entre 800 - 600 mm se encuentra Chivatá, Cucaita, Firavitoba, Iza, Motavita, Pesca, Siachoque, Sora, Tibasosa, Toca, Tópaga, Tota y Tunja. Para este periodo no se encontró valores por debajo de los 600 mm a diferencia del primer periodo 1986-2001.

2.2.3 Distribución espacial del cambio de precipitación

A partir de las 37 estaciones meteorológicas, distribuidas a lo largo de la zona en estudio, con ArcGis se realizó la interpolación correspondiente para la precipitación.

Mapa 3. Distribución espacial de Precipitación total media Multianual periodo (1986-2001)

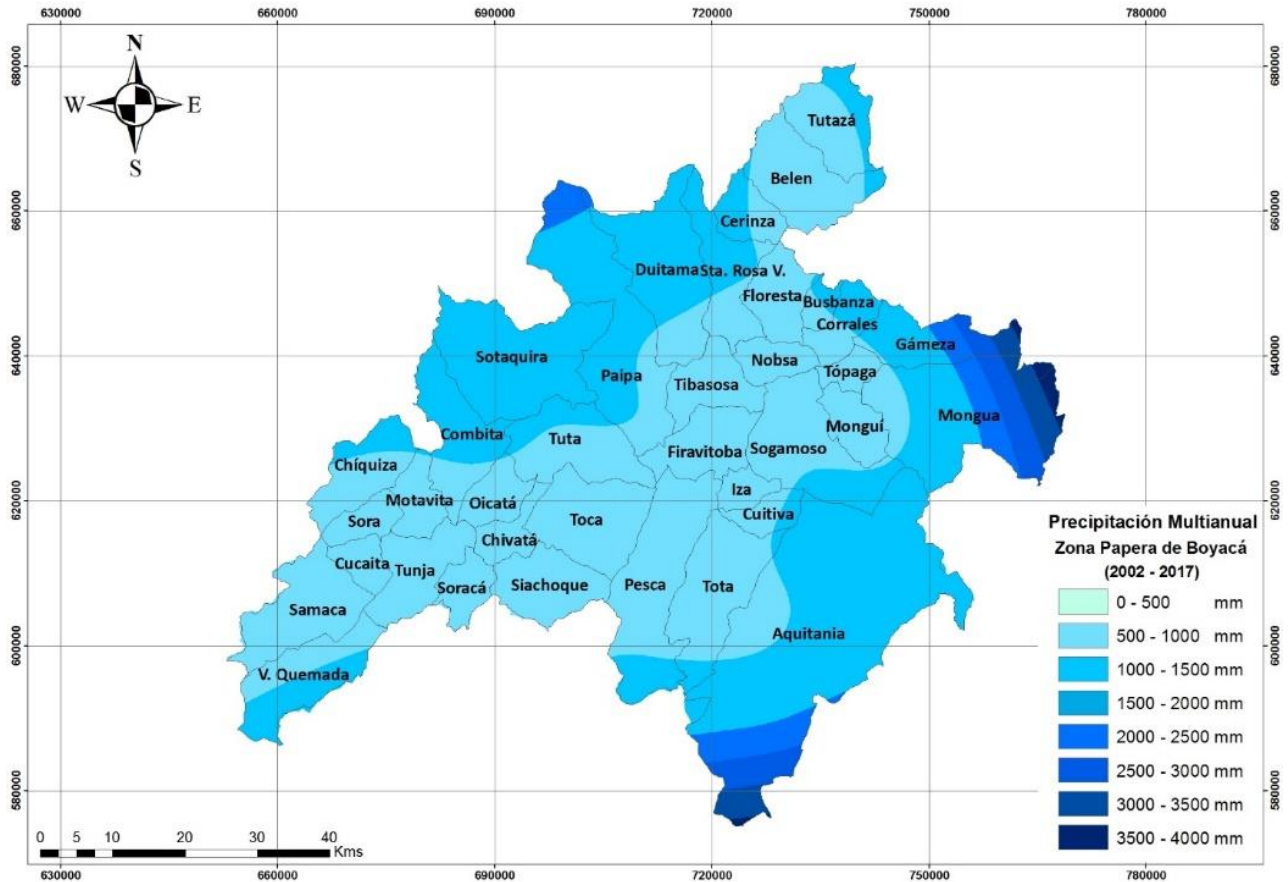


Fuente: Elaboración propia a partir de datos del IDEAM

Se puede observar en el mapa 3 que para el periodo de 16 años comprendido entre 1986 y 2001, la mayor parte de la zona presenta en promedio lluvias entre 500 – 2.000 mm principalmente yendo de menor a mayor del centro hacia afuera en dirección al occidente, abarcando los municipios de Floresta, Corrales, Tópaga, Monguá, Sogamoso, Tibasosa, Paipa, Firavitoba, Pesca, hasta llegar a Tunja y Samacá, presentándose como excepción en una parte del municipio de Motavita que para este periodo presenta lluvias menores a 500 mm. Las mayores precipitaciones (entre 3.000 y 4.000 mm) se presentan en la parte del piedemonte llanero que alcanza a cobijar los municipios de Aquitania y Monguá y de 1.000 a 1.500 mm para parte de los municipios de Combita, Sotaquirá

Duitama, Cerinza, Belén, Tutazá, Busbanzá, Gameza, Mongua y Aquitania. De 1.500 a 2.500 mm las partes altas de Duitama y Sotaquirá.

Mapa 4. Distribución espacial Precipitación Zona Papera de Boyacá (2002-2017)



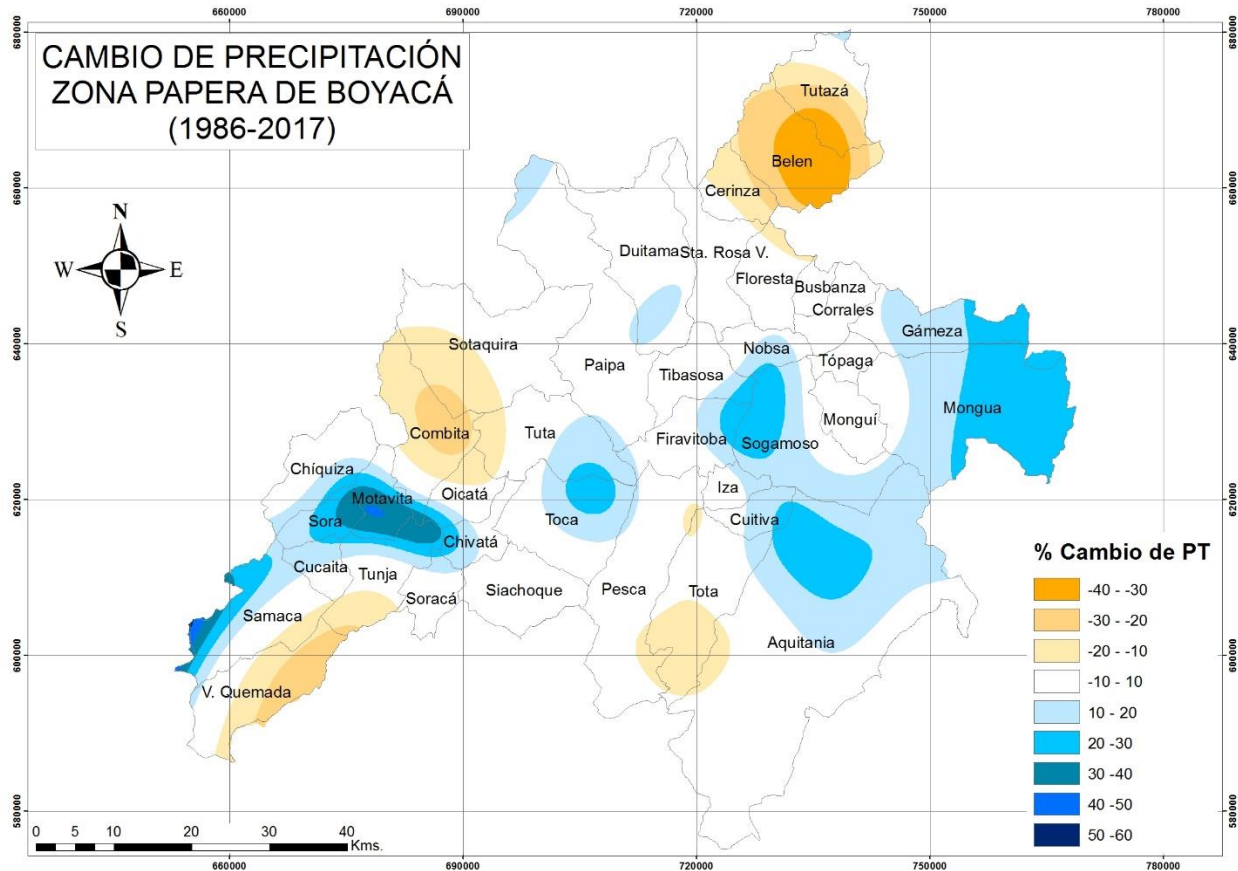
Fuente: Elaboración Propia a partir de datos del IDEAM

Para el segundo periodo evaluado (2002-2017) se observa, de acuerdo con el mapa 4 que se presentan lluvias entre los 500 a 1.000 mm para los municipios Tutazá, Belén, Floresta, Corrales, Tópaga, Monguí, Nobsa, Sogamoso, Tibasosa, Firavitoba, Iza, Tota, parte de Cuitiva, Pesca, Toca, Tuta, Oicatá, Chivatá Siachoque, Soracá, Tunja, Motavita, Chíquiza, Sora, Cucaita, Samacá y Ventaquemada. Entre 1.000 y 1.500 mm Aquitania, Mongua, Gameza y una parte de Busbanzá, Corrales, Pesca y Ventaquemada. Entre 1.500 y 2.000 mm se encuentran Sotaquirá, Combita, Duitama la mayor parte de Santa Rosa, una parte de Cerinza y Chíquiza. En muy pequeñas proporciones se presentaron lluvias mayores de 2.000 mm en la zona y ubicadas principalmente en las orillas de Paipa-Duitama y de en la zona del pie de monte llanero perteneciente a Aquitania y Mongua.

Se comparan los periodos (1986-2001) y (2002 -2017) en los mapas 3 y 4 se puede observar que para el segundo periodo no se presentaron en promedio lluvias totales multianuales menores a 500 mm como sí ocurrió en el primer periodo para el municipio de Motavita específicamente. Para otro sector se mantuvo constante las lluvias entre 500 a 1.000 mm esto en la zona centro en dirección al oeste. Para Tutazá, Belén, Cerinza y parte de Santa Rosa y Floresta las lluvias disminuyeron para el segundo periodo pasando de un rango de 1.500-1.000mm a lluvias entre 500 – 1.000 mm. Evidenciando un cambio para precipitación en estos municipios pertenecientes a la zona papera durante los últimos 32 años.

El mapa porcentaje de cambio de precipitación Mapa 5 proporciona información acerca de cuanto disminuyeron o cuanto aumentaron en porcentaje las precipitaciones totales multianuales del primer periodo 1986-2001 respecto al segundo periodo 2002-2017. Se encuentra que en algunos sectores hubo disminuciones porcentuales hasta en un 40 % y en otros un aumento de la precipitación hasta en 60%. Se considera que se presentó cambio climático de precipitación en los municipios de Tutazá, Belén, Combita y parte de Ventaquemada con disminución de la precipitación hasta en un 40 %. También se presentó cambio climático de precipitación en los municipios de Mongua, Gameza, Aquitania, Sogamoso, Nobsa, Firavitoba, Motavita, Sora y una parte de Samacá incrementándose los mm de precipitación hasta en un 60%. La zona que se encuentra en color blanco es la zona donde se considera que no hubo cambio climático durante periodo 1986-2017, ya que el cambio porcentual se encuentra entre -10 y 10% considerándose no significativo.

Mapa 5. Distribución espacial de Porcentaje de Cambio de Precipitación (1986-2017)



Fuente: Elaboración Propia a partir de datos del IDEAM

2.3 Estimación de Cambio de temperatura

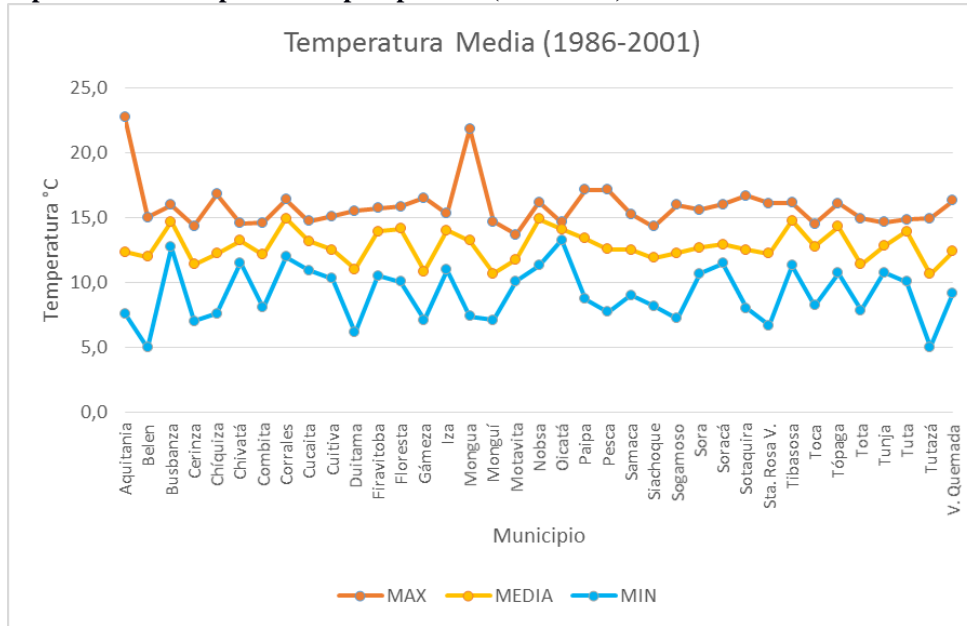
La temperatura es una variable climática de gran importancia en la estimación del cambio climático (IPCC, 2013). Se busca establecer si se presenta algún cambio de esta variable en la zona papera de Boyacá entre 1986-2017.

2.3.1 Comparación de temperatura periodos 1986 a 2001 y 2002 a 2017

Se compara a través de dos ventanas de tiempo (1986-2001) y (2002-2017) el comportamiento de la temperatura para la zona papera de Boyacá a partir de información meteorológica suministrada por el IDEAM. Empleando 9 estaciones meteorológicas con información de temperatura y con ArcGis como herramienta de interpolación se obtiene y se analiza la siguiente información.

2.3.1.1 A partir de la media, máximos, mínimos del periodo

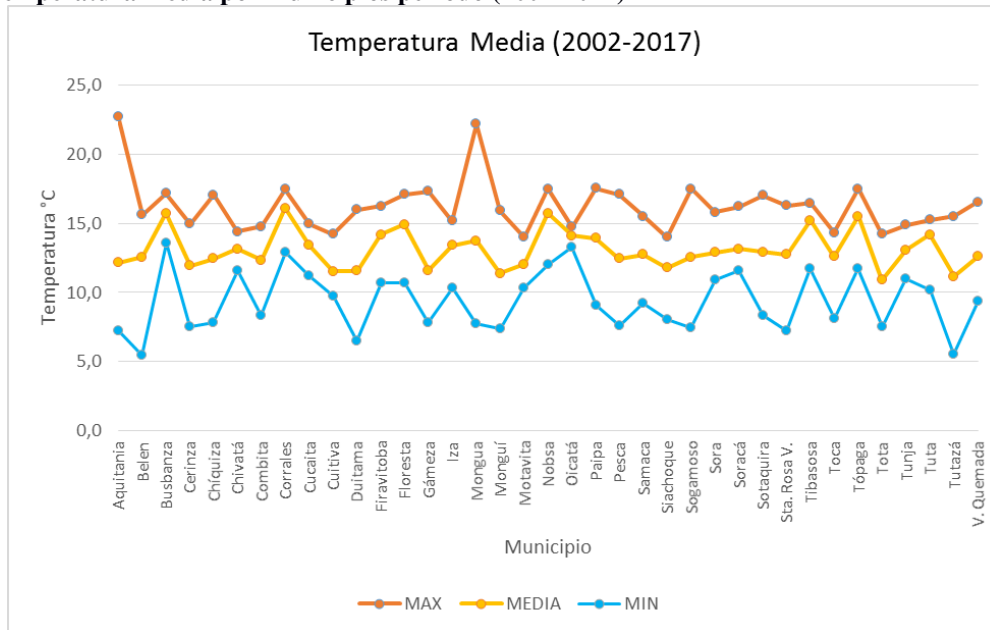
Figura 8. Temperatura Media por municipios periodo (1986-2001)



Fuente: Elaboración propia a partir de datos del IDEAM

De acuerdo con la figura 8, se puede observar que la temperatura media multianual de los municipios para el periodo 1986 a 2001 se encuentra entre 10 a 15 grados centígrados. Presentándose los valores mas altos en Busbanzá, Corrales, Nobsa, Tibasosa, Tópaga y Tuta y los mas bajos en Gameza, Monguí y Tutazá llegando a los 10 °C aprox. Al observar las temperaturas máximas se aprecia que las más altas se registran en Aquitania y en Mongua esto muy seguramente teniendo en cuenta la parte templada con la que cuentan estos municipios. En lo que respecta a temperaturas mínimas es en Belén y Tutazá donde se registran las más bajas de hasta 5°C.

Figura 9. Temperatura media por municipios periodo (2002-2017)



Fuente: Elaboración propia a partir de datos del IDEAM

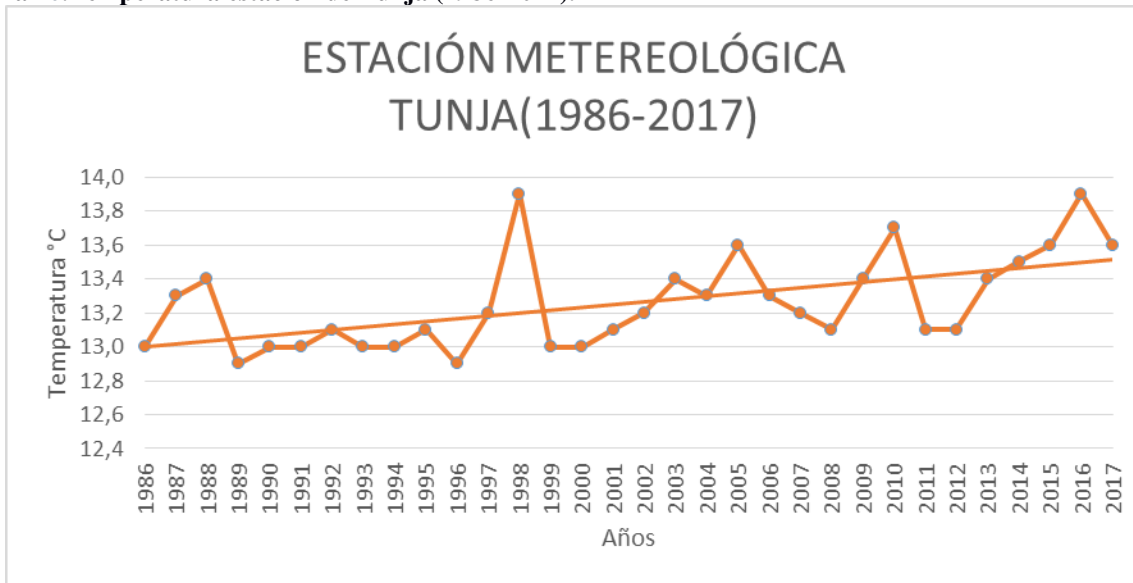
Para este periodo evaluado (2002-2017) Figura 9. La temperatura media de los municipios de la zona papera de Boyacá oscila entre 10 y 16 °C aumentando el rango en un grado respecto a lo observado en la figura 9. Los máximos se siguen presentando en Aquitania y Mongua y los mínimos siguen encontrándose en Belén y Tutazá aumentando levemente en 0.5°C aproximadamente.

2.3.1.2 A partir de la pendiente de la serie

Se presenta a continuación la información obtenida de 2 de las estaciones de las que se pudo obtener valores observables de temperatura, mostrando la pendiente de la serie y su comportamiento, las demás se encuentran en el anexo 2.

Se observa en la Figura 11 que la media anual de temperatura ha venido en aumento, a través de los años, el valor de la temperatura en el municipio de Tunja, y que del año 1986 a 2017 se aumentó 0,6°C lo cual es significativo, evidenciando un cambio climático por temperatura.

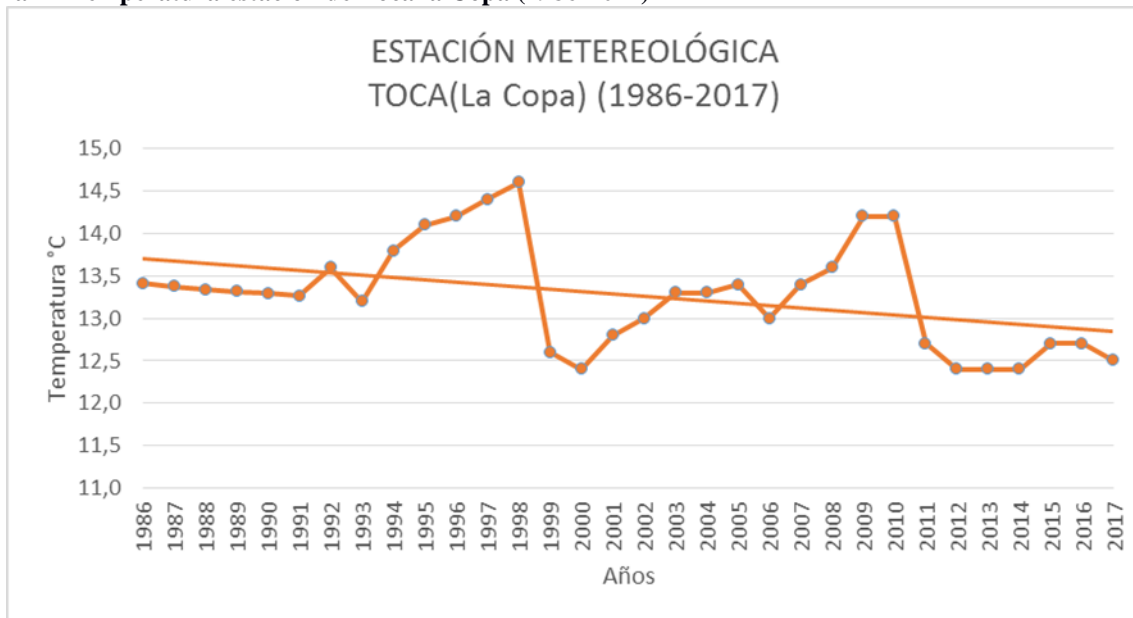
Figura 10. Temperatura estación de Tunja (1986-2017).



Fuente: Elaboración propia a partir de datos del IDEAM

También se puede observar que el año más caluroso fue 1998 y esto tiene relación con un fenómeno de El Niño que se presentó para aquella época entre 1998 y 1999 (Montealegre J., 2007) y que posiblemente tenga relación con ese aumento de temperatura en casi un grado centígrado, lo que coincide también con la situación general analizada para la zona papera de Boyacá en ese año.

Figura 11 Temperatura estación de Toca la Copa (1986-2017)



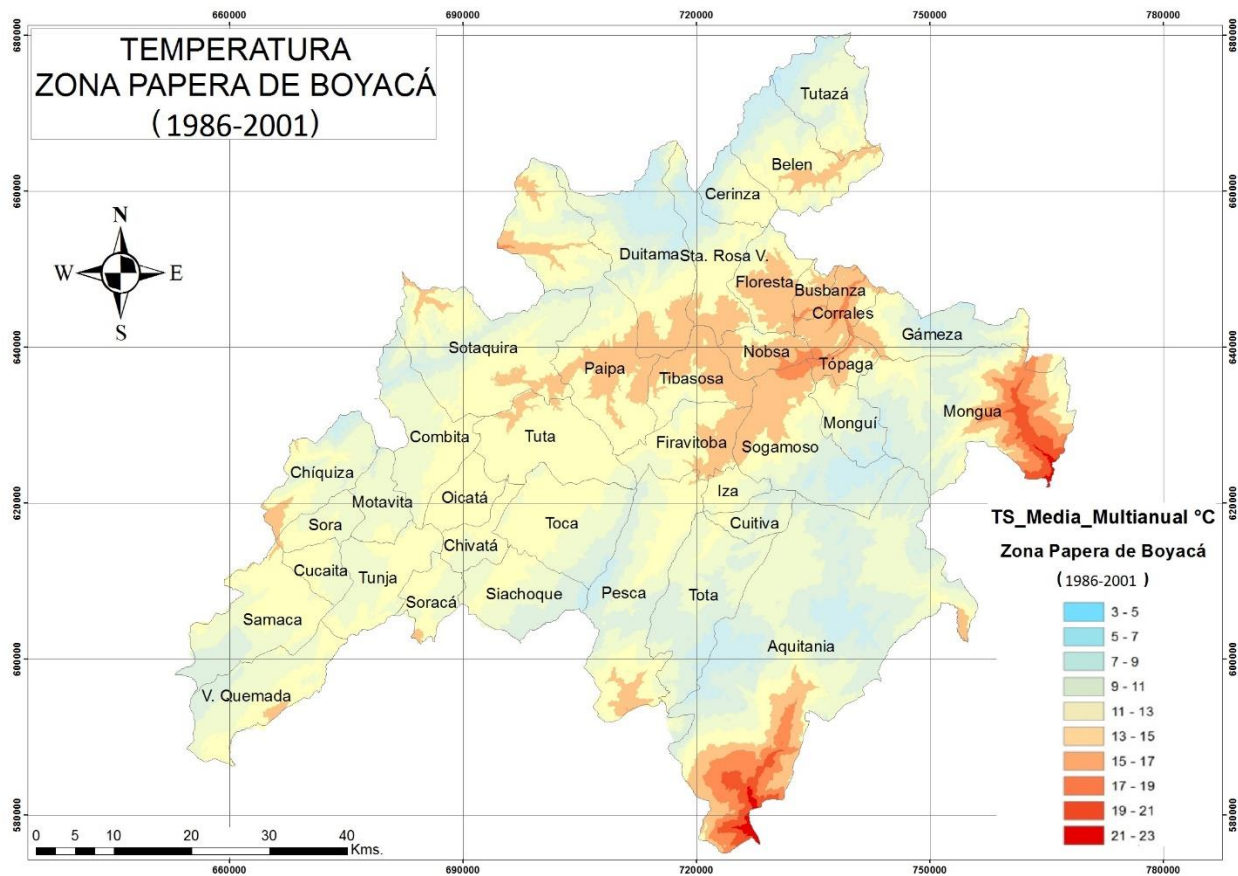
Fuente: Elaboración propia a partir de datos del IDEAM

En la estación Toca la Copa, de acuerdo con la Figura 12, se presenta un fenómeno contrario al presentado en las demás estaciones y es que la temperatura durante este periodo en vez de subir tiende a bajar. De acuerdo con la línea de tendencia en el año 1986 el valor fue de 13,67 °C y en el año 2017 de 12,81°C descendiendo en 0.85 °C. Una posible explicación es que en este sector existe un cuerpo de agua llamado la represa de la Copa que a su vez genera un microclima ya que refresca el lugar a través de evaporación y de la evapotranspiración de la vegetación cercana (Bruna & Ortega, 2018).

Se evaluaron 7 estaciones (Anexos 2), donde presenta comportamiento de tendencia a subir la temperatura.

2.3.1.3 Mapa de cambio de temperatura

Mapa 6. Distribución espacial de Temperatura Zona Papera de Boyacá (1986-2001)

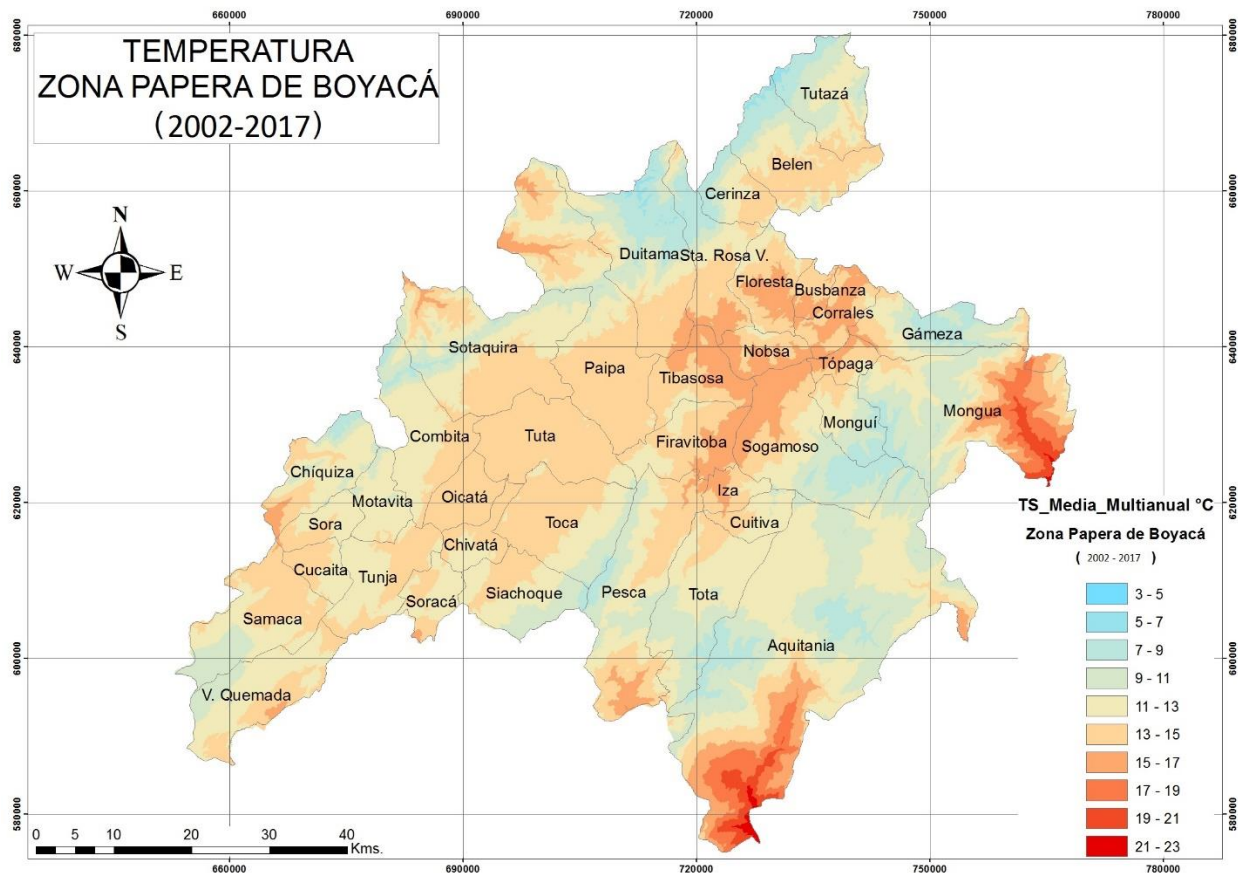


Fuente: Elaboración propia a partir de datos del IDEAM

En la zona papera de Boyacá, para el periodo de (1986-2001), como se evidencia en el mapa 6, se presentan temperaturas bajas entre 3-5 °C aproximadamente hasta temperaturas de 21-23 °C , en

municipios como Mongua y Aquitania, siendo las más calientes en promedio de la zona, esto teniendo en cuenta que no aplica a todo el municipio ya que cuentan con una parte que es pie de monte llanero. Otras poblaciones como Nobsa, Tibasosa, Corrales, Floresta, Sogamoso y Firavitoba presentan temperaturas que están entre los 15 -17 °C; ya un poco más frías se encuentran a Paipa, Tuta, Toca, Oicatá, principalmente con un rango de temperatura de 13-15 °C y más frías aun, a Tunja, Motavita, parte de Combita, Tota, Cúitva: La mayor parte de Aquitania, Mongua, Tutazá, y la parte alta de Duitama, oscilan entre los 11-13 °C. También se encuentran poblaciones entre los 9-11 °C como es el caso de Ventaquemada.

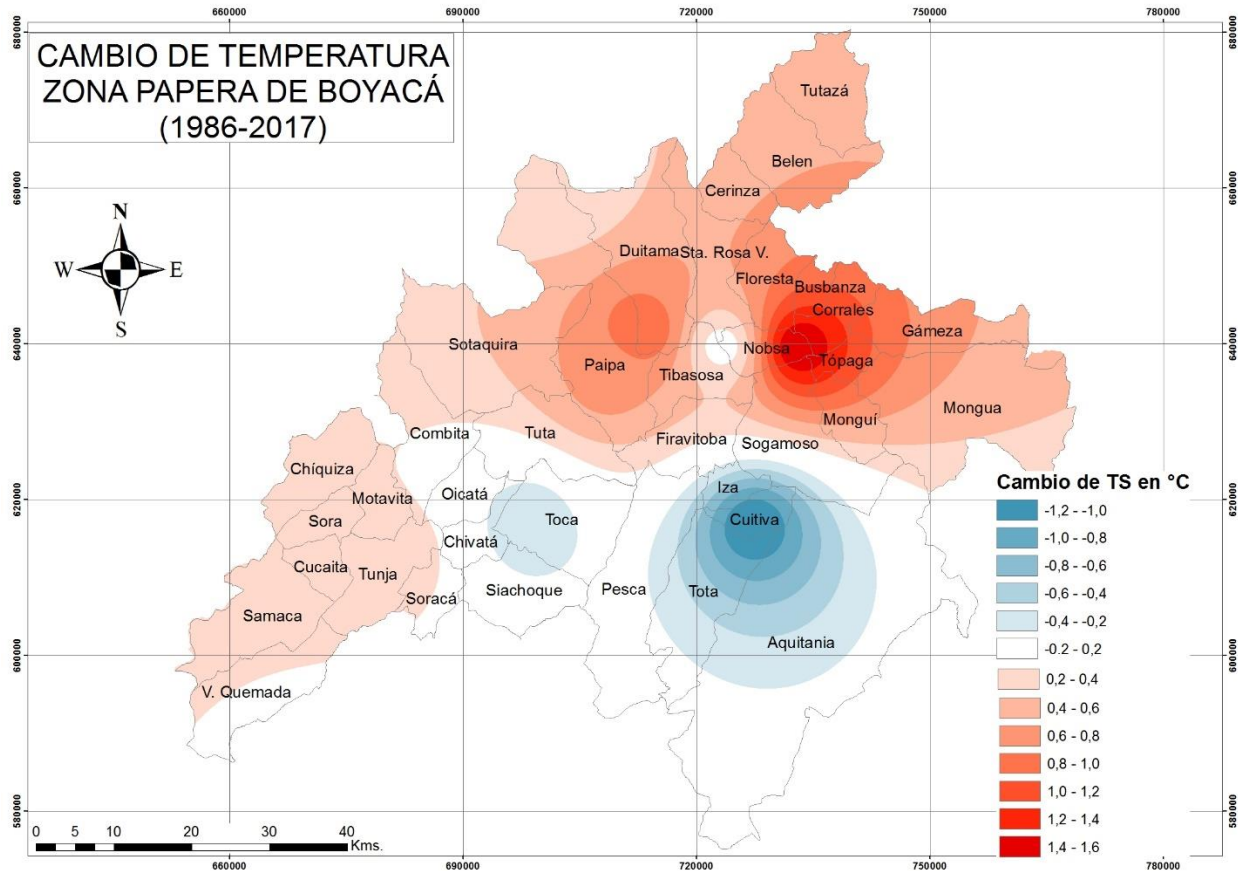
Mapa 7 Distribución espacial de Temperatura Zona Papera de Boyacá (2002-2017)



Fuente: Elaboración propia a partir de datos del IDEAM

Para este segundo periodo evaluado ya no se presentan temperaturas menores de 5 °C como en el periodo anterior (Mapa 6). La temperatura máxima presentada es de 23 °C en este caso no cambio, pero si se evidencia en el mapa 7 respecto al mapa 6 que disminuyo en espacio su grado de incidencia esto para el caso específico de Aquitania y Mongua en su zona templada.

Mapa 8. Distribución espacial de Cambio de Temperatura Zona papera de Boyacá 1986-2017



Fuente: Elaboración propia a partir de datos del IDEAM

El Mapa 8 permite observar los cambios de temperatura en la zona papera de Boyacá. Para poblaciones como Cuítiva, Iza, Tota, Aquitania y Toca se presenta una disminución de temperatura de hasta 1.2 grados centígrados esto posiblemente por la presencia de cuerpos de agua que refrescan y bajan la temperatura a través de la Evapotranspiración por cuenta del ciclo del agua y los procesos que suceden con la participación de los componentes naturales existentes en el lugar (Palma, 2009), Específicamente se encuentra la Laguna de Tota entre Aquitania, Cuítiva y Tota y, el embalse de la Copa en Toca. Al contrario para los municipios de Samacá, Cucaita, Sora, Chíquiza, Tunja, parte de Soracá, Sotaquirá, parte de Combita, Tuta, Firavitoba, Tibasosa y Duitama se presenta aumento en la temperatura que se encuentra entre 0,2 - 0,4 °C. En mayor proporción aumenta para los municipios de Paipa, Duitama, Cerinza, Belén, Tutazá y Mongua con valores entre 0,4-0,6 °C. Entre Paipa y Duitama se encuentra una parte donde la temperatura ha aumentado entre 0,8 – 1,0 °C, la ubicación coincide con la zona industrial de este sector entre otras la Termoeléctrica de Paipa y la Ciudadela Industrial. Para los municipios de Floresta, Nobsa,

Monguít, Gameza, Busbanzá y Corrales también se presenta un aumento de entre 0,8 a 1,0 °C y finalmente el punto donde se presentó el cambio más alto de temperatura entre 1.2 y 1.6 °C se encuentra entre tres municipios en su parte fronteriza y son Nobsa, Corrales, Sogamoso, Monguít y Tópaga, esta ubicación coincide con la ubicación de la empresa siderúrgica Acerías Paz del Rio, la Cementera Holcim, Argos y otras Fábricas que se encuentran allí y que producto de sus procesos generan contaminación. Los municipios en los cuales el aumento de temperatura no supera los 0,2 grados son Combita, Oicatá, Chivata, Siachoque, Pesca, parte de Firavitoba, Aquitania y Sogamoso, este caso se considera que no se ha presentado Cambio de Temperatura significativo por cuanto para estos municipios no se presenta cambio climático.

2.4 Conclusiones capítulo 2

De acuerdo con el análisis de los resultados de cambio climático a partir de precipitaciones y temperaturas, para el periodo 1986 – 2017, podemos concluir que:

- Se presenta cambio climático de precipitación para algunos sectores de la zona papera que incluye los municipios de Ventaquemada, Combita, Tutazá, Belén, Cerinza y Tota con pérdidas entre el 10% hasta 40%, a diferencia de Samacá, Sora, Motavita, Toca, Nobsa y algunas partes de Aquitania, Mongua y Gameza y de Duitama que presentan un incremento de las precipitaciones entre 10-60%.
- Los puntos donde se generó mayor aumento de la temperatura en la zona papera coinciden con corredores industriales que por la contaminación que generan posiblemente contribuyen con este aumento.
- Se presenta Cambio Climático de Temperatura para algunos sectores de la zona papera que comprenden los municipios de Sotaquirá, Paipa, Duitama, Santa Rosa, Cerinza, Belén, Tutazá, Floresta, Mongua y Gameza con aumento entre 0.4 a 0.8 grados centígrados y de más de 1°C en Nobsa, Tópaga, Busbanzá y Corrales. Se presentó disminución en la temperatura entre Iza, Tota, Aquitania entre -0.8 a -0.4 °C y en Cuítiva de -0.8 a -1.2 °C.
- Los dos puntos extremos de temperatura fueron Cuítiva con -1.2 °C y frontera entre Nobsa, Corrales y Tópaga del +1.6°C.

3. Producción de papa en zona papera de Boyacá periodo 1986-2017

La papa se considera uno de los cultivos de mayor difusión en el mundo (Muñoz Jáuregui et al., 2018) siendo en producción el cuarto más importante después del Arroz, el Trigo y el Maíz (Pulatov et al., 2015)(Martín & Jeres E., 2017) y el tercero en ser consumido después del arroz y el trigo. Originaria de los Andes Peruanos y con la llegada de los españoles fue introducida a Europa y luego al resto del mundo. Ha ido ganando importancia en la medida que se reconoce y se identifica su valor en la seguridad alimentaria. La FAO declaró el año 2008 como el año internacional de la papa para hacer ver la importancia que este alimento cumple en el combate contra el hambre y la pobreza del mundo. Según la International Potato Center (CIP) y la FAO, este producto es un elemento fundamental en la seguridad alimentaria de millones de personas en Sudamérica, África y Asia, incluyendo Asia central, tanto así que para el 2015 el 60% de la producción mundial de papa provino de estos países (Datos y Cifras de la papa, 2015_CIP).

Es un cultivo privilegiado en el sentido de presentar mayor capacidad de adaptación (Muñoz Jáuregui et al., 2018), presenta un alto rendimiento en producción en comparación con otros alimentos básicos, es así, por ejemplo que en una hectárea de papa se puede producir de dos a cuatro veces más alimento que en cultivos de cereales (Datos y Cifras de la papa, 2015_CIP). Además requiere menor uso de agua por unidad, ya que es hasta siete veces más eficiente en el aprovechamiento del agua que los cereales y, finalmente el 85% es comestible mientras otros alimentos solo el 50% (Devaux et al., 2011) citado por (FEDEPAPA, 2012), así mismo es un alimento muy nutritivo por su alto contenido de carbohidratos, vitaminas, minerales y otros nutrientes beneficiosos para la salud humana (Muñoz, 2014).

Desde los años 60, se ha incrementado el área de producción de papa hasta superar rápidamente a todos los otros cultivos alimenticios. En este momento se cultiva en 163 países siendo China, India, Rusia, Ucrania y Estados Unidos los cinco primeros con un 57% del total de la producción mundial (Muñoz Jáuregui et al., 2018) (FAOSTAT, 2017). Del año 2016 al 2017 la producción mundial aumento un 1,8% (Fedepapa, 2017).

A nivel latinoamericano la papa es un cultivo de importancia social y económica también (Condori et al., 2016), especialmente en la zonas Altas de los Andes donde es el centro alimentario y nutricional para las familias y agricultores cuyo cultivo les brinda seguridad alimentaria según

(Devaux et al. 2014) citado por (Condori et al., 2016). De acuerdo con la (FAO, 2014) el principal productor es Perú con 4.693.209 Toneladas, le sigue Brasil con 3.917.054 toneladas, en tercer lugar, se encuentra Colombia con 1.990.881 Toneladas le siguen Argentina, Bolivia y Chile.

Colombia produce a nivel mundial el 0,7% de papa (Fedepapa, 2017) y presentó del 2016 al 2017 el crecimiento más elevado del planeta con una tasa de 13,5%. En Colombia, tal como lo indica FEDEPAPA, el cultivo de la papa tradicionalmente ha sido uno de los principales alimentos de la población y se destaca como el cultivo más importante de clima frío (DANE, 2005) citado por (FEDEPAPA, 2018). El cultivo de papa tiene el 3,3% del PIB agropecuario, genera anualmente cerca de 264 mil empleos, de los cuales aproximadamente 75 mil son directos y 189 mil no directos, y además existen unas 100 mil familias que se dedican al cultivo de la papa (Ministerio de agricultura, 2017). En Boyacá el cultivo de papa es de carácter minifundista, de acuerdo con los indicadores suministrados por el Ministerio de Agricultura, el 95 % de los productores siembran menos de 3 hectáreas y el 80 % menos de una hectárea.

Su cultivo

Respecto a su cultivo *Solanum Tuberosum* es una planta herbácea que crece aproximadamente un metro, produce un tubérculo con un alto contenido de almidón. Perteneció a la familia de las floríferas de las solanáceas. El *S. tuberosum* se divide en dos subespecies: la andígena (Cultivada especialmente en los Andes), y la *tuberosum* que es la que se cultiva en todo el mundo actualmente (FAO, 2008) (CIP, 2015).

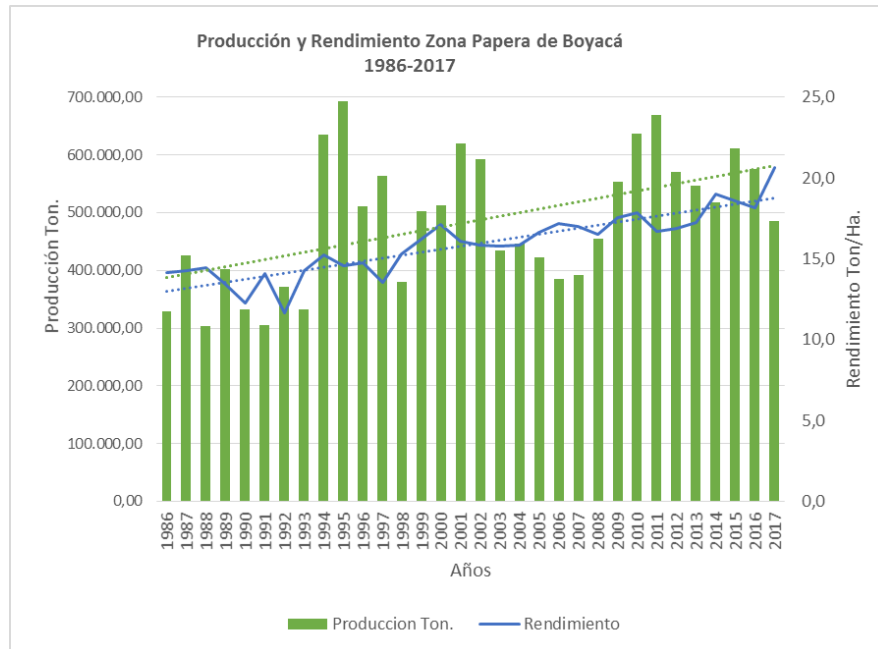
3.1 Producción histórica de la papa en zona papera de Boyacá

A continuación, se presenta la producción y rendimiento del cultivo de la papa por municipios para la zona en estudio, catalogada como la zona papera de Boyacá, para el periodo evaluado de 1986-2017. Se obtuvieron los datos de área, producción y rendimiento a partir de las evaluaciones Agropecuarias de Boyacá de 1985 a 2000 encontradas en la biblioteca Del Ministerio de Agricultura, de 2001-2006 esta información fue encontrada en la secretaria de Fomento Agropecuario de la Gobernación de Boyacá; y del año 2007 al 2017 esta información se encontró a través de la página del ministerio de Agricultura Agronet, de forma anual.

3.1.1 Producción anual de papa en Boyacá en el periodo 1986-2017

A continuación, se presentan las gráficas y las observaciones del caso.

Figura 12. Producción y Rendimiento Zona papera de Boyacá



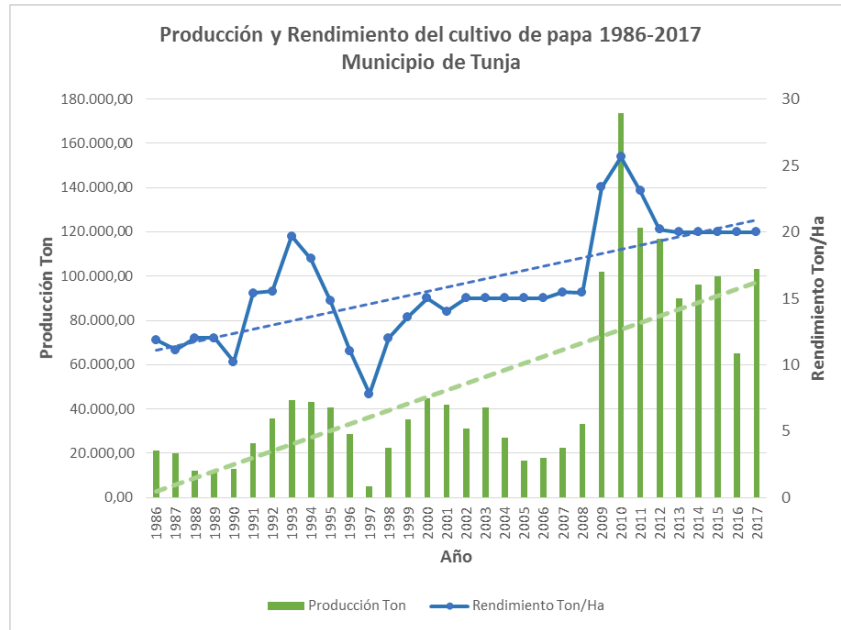
Fuente: Elaboración propia a partir de datos del MADR.

Se presenta la producción de papa en la zona papera de Boyacá en toneladas por cada año del periodo evaluado, de acuerdo con la Figura 12, de tal manera, que la producción de papa en la zona papera de Boyacá durante el periodo de 1986 al 2017 tiende a aumentar, al igual que su rendimiento. Es así como en el año 1986 la producción en toneladas a partir del modelo de tendencia es de 388.000 Toneladas, y en el año 2017 el valor estimado de la tendencia es de 580.000 Toneladas con una diferencia de 192.000 toneladas. Respecto al rendimiento, este tuvo la tendencia a subir pasando de 13 Ton/Ha. en 1986 a una tendencia de 19 Ton/Ha. en 2017. Al comparar la línea de tendencia de producción y rendimiento (Figura 12) se observa que la línea de producción tiene mayor pendiente por lo que su crecimiento es más rápido que la tendencia del rendimiento, lo que indica el área de producción va en aumento. Los años más altos de producción se registraron en 1995 y en 2011, siendo de 672.700 Ton y de 668.903,18 Ton respectivamente. Los años más bajos en producción fueron 1988 con 304.078 Toneladas y 1991 con 305.520 toneladas. En general la zona papera presentó un promedio de producción de 491.179 toneladas y un rendimiento promedio de 16 Ton/Ha, durante este periodo de 32 años.

3.1.2 Producción anual por municipio en zona papera de Boyacá

Se presentan las figuras para algunos municipios que cuentan estaciones meteorológicas de tipo Climatológicas Principales que proporcionan datos puntuales de precipitación y temperatura, los demás municipios se podrán ver en anexo 1.

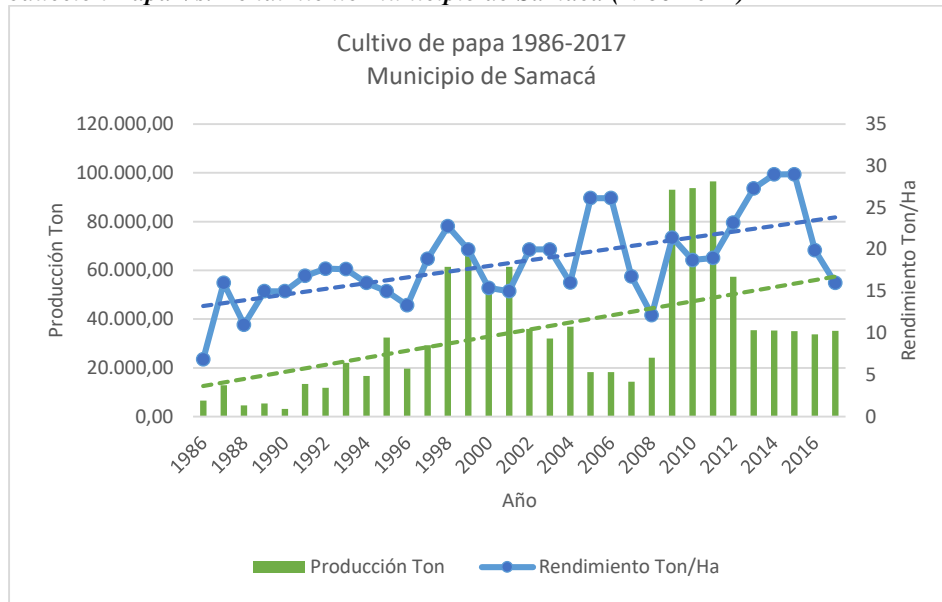
Figura 13. Producción y Rendimiento de papa en Tunja 1986-2017



Fuente: Elaboración propia a partir de datos del MADR.

La producción de papa en este municipio a lo largo de estos 32 años comprendidos entre 1986 - 2017, Figura 14, indica que la producción presenta una tendencia a incrementarse, es así como la producción aumento de acuerdo con la línea de tendencia en 94.500 Toneladas de producción en los 32 años evaluados y un aumento en el rendimiento de 11 Ton/Ha. a 21Ton/Ha. Se presenta su mayor producción en la última década evaluada. Su peor año de producción fue 1997 con tan solo 4.885 toneladas, su mejor año 2010 con 174.000 toneladas de producción aproximadamente. En 1986 superaba las 20.000 Toneladas y en el 2017 está por encima de las 100.000 Toneladas. En su curva de tendencia tanto de producción como de rendimiento se observa que se desarrolla en forma ascendente y tiende a incrementarse.

Figura 14. Producción Papa Vs. Rendimiento municipio de Samacá (1986-2017)

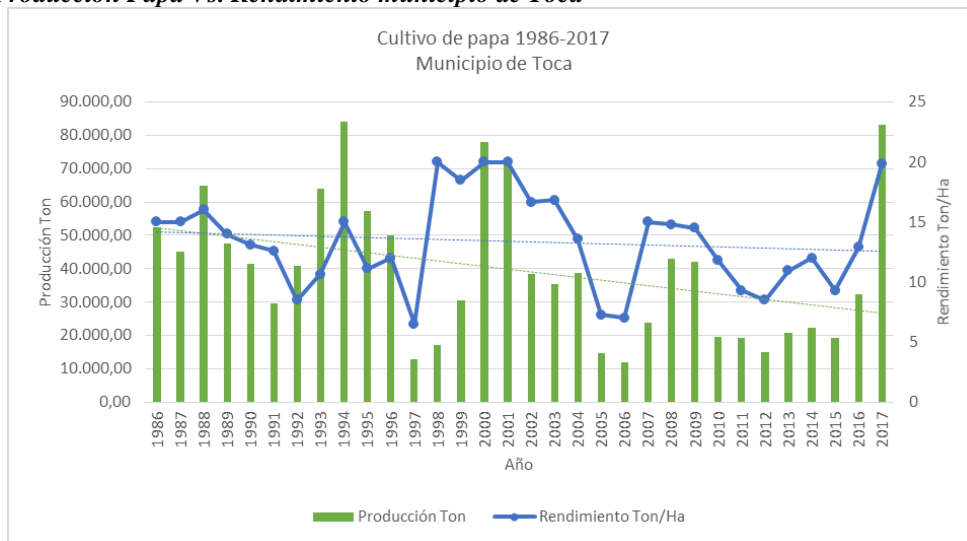


Fuente: Elaboración propia a partir de datos del MADR.

De acuerdo con la Figura 15, en el municipio de Samacá para este periodo 1986-2017 según la curva de tendencia se presenta un incremento en la producción es así como e

n el año 1986 la producción en toneladas a partir del modelo de tendencia es de 13.000 Toneladas y en el año 2017 el valor estimado de la tendencia es de 58.000 Toneladas con una diferencia de 45.000 toneladas. Respecto al rendimiento tuvo la tendencia a subir pasando de 14 Ton/Ha. en 1986 a una tendencia de 22 Ton/Ha. en 2017. Mejores años de producción 2009-2011.

Figura 15. Producción Papa Vs. Rendimiento municipio de Toca



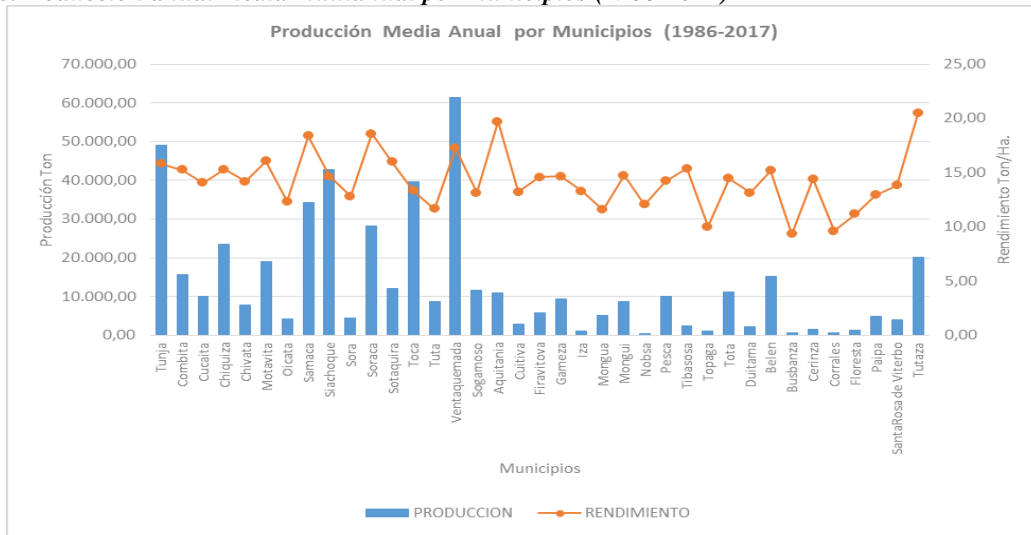
Fuente: Elaboración propia a partir de datos del MADR.

A diferencia de los municipios anteriores, en el municipio de Toca, tal como se observa en la Figura 16, la producción ha venido presentando una tendencia a bajar, a pesar de la producción alta del año 2017, es así como en el año 1986 la producción en toneladas a partir del modelo de tendencia es de 53.000 Toneladas, y en el año 2017 el valor estimado de la tendencia es de 28.000 Toneladas con una diferencia de (-25.000) toneladas. Respecto al rendimiento tuvo la tendencia a bajar pasando de 15 Ton/Ha. en 1986 a una tendencia de 13 Ton/Ha. en 2017. Durante este periodo los años de mayor producción fueron 1994 con 84.000 Toneladas y 2017 con 83.000 Toneladas; los años más bajos en producción fueron 1997 con 13.000 Ton. Y 2006 con 11.900 toneladas, y junto con otros años como 1998-1999, 2002-2016 presentaron producciones inferiores a 43.000 toneladas, estos serían los años que hacen que la tendencia se inclinara a bajar. La línea de tendencia del rendimiento también indica una disminución de toneladas producidas por hectárea, lo cual es posible que se presente por un mayor número de hectáreas sembradas pero menor producción.

En general (ver Anexo 1), los municipios de Tunja, Combita, Chíquiza, Oicatá, Samacá, Siachoque, Soracá, Sotaquirá, Ventaquemada, Aquitania, Firavitoba, Monguí, Tota, Belén y Tutazá aumentaron la tendencia de producción y de rendimiento, lo que significa que ha venido presentándose mayor cantidad de Toneladas de papa por hectárea sembrada. Lo anterior sugiere que es posible que esto suceda por la alta calidad de las tierras de estos municipios en la producción del cultivo de papa.

Mientras que Cucaita, Chivata, Motavita, Sora, Gámeza, Pesca, Tibasosa, Cerinza e Iza disminuyeron su producción pero el rendimiento aumento, este fenómeno posiblemente sea porque disminuyo también la cantidad de área empleada para el cultivo. Por otra parte, los municipios de Toca, Tuta, Cuítiva, Duitama, Paipa, Busbanzá, Corrales, Floresta, Santa Rosa de Viterbo, Mongua, y Nobsa disminuyeron tanto su producción como su rendimiento, esto lleva a considerar que posiblemente disminuyo la cantidad de toneladas producidas y también la cantidad de hectáreas empleadas para el cultivo de papa casi proporcionalmente. Solo Sogamoso presento un aumento en su producción, pero una baja en su rendimiento, lo que indica que se produce menos toneladas por hectárea sembrada y un requerimiento mayor de hectáreas para lograr dicha producción.

Figura 16. Producción anual media multianual por municipios (1986-2017)



Fuente: Elaboración propia a partir de datos del MADR.

De acuerdo con la Figura 17, la mayor concentración de producción se encuentra en los municipios de la provincia del Centro, en sus 15 municipios, siendo los mayores productores Ventaquemada con producción promedio de 61.419 toneladas, le sigue Tunja con 49.000 Ton. Siachoque con 42.000, Toca 39.543 Ton. Samacá con 34.259, Soracá y Chiquiza con 28.000 y 23.500 Toneladas respectivamente. De la provincia del Tundama y Sugamuxi los mayores productores son Tutazá con 20.000 toneladas, Belén con 15.000 toneladas, Sogamoso, Aquitania, y Toca con 11.000 toneladas aproximadamente y Pesca con 10.000 Toneladas. Los más bajos productores de papa en la zona papera son Nobsa con 300 toneladas, Busbanzá y Corrales con 500 toneladas promedio.

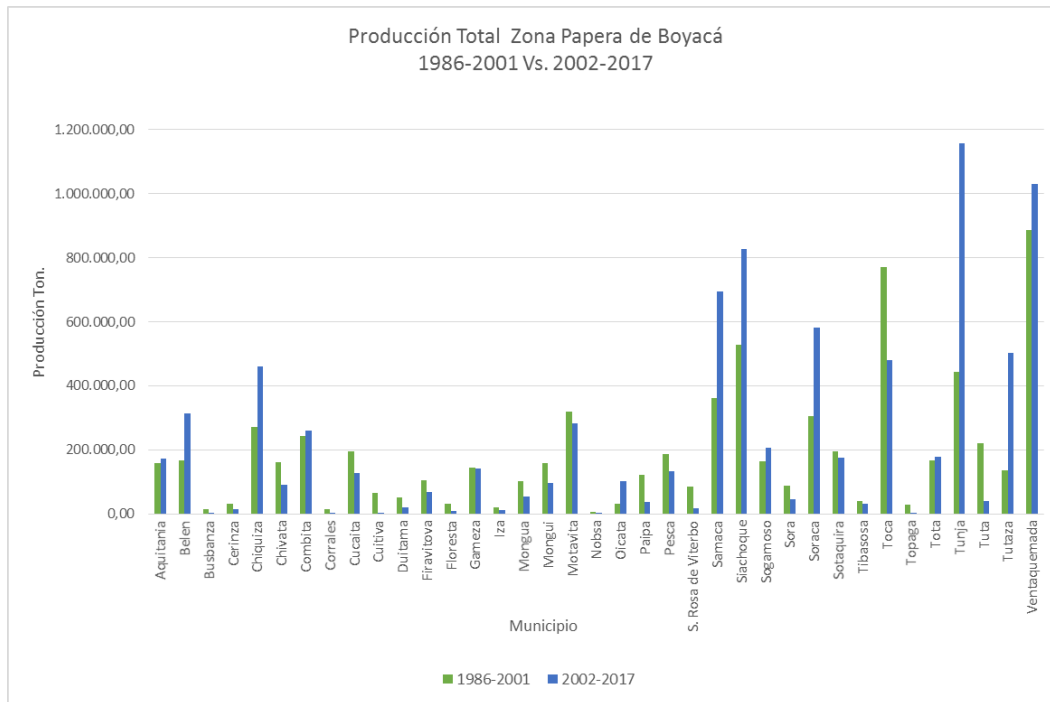
3.2 Análisis comparativo de valores de producción en el periodo 1986-2017

La producción de papa en los municipios que hacen parte de la zona papera de Boyacá presenta unos cambios que se pueden percibir a través de las ventanas evaluadas 1986-2001 y 2002-2017 cada una de 16 años.

3.2.1 Comparación de producción de papa periodos 1986 a 2001 y 2002 a 2017

En la Figura 18 se presenta la producción total de papa para los municipios de la zona papera de Boyacá. Se compara las dos ventanas de 16 años para el periodo evaluado de 32 años 1986-2017.

Figura 17. Producción Total de papa (1986-2001) Vs. (2002-2017)



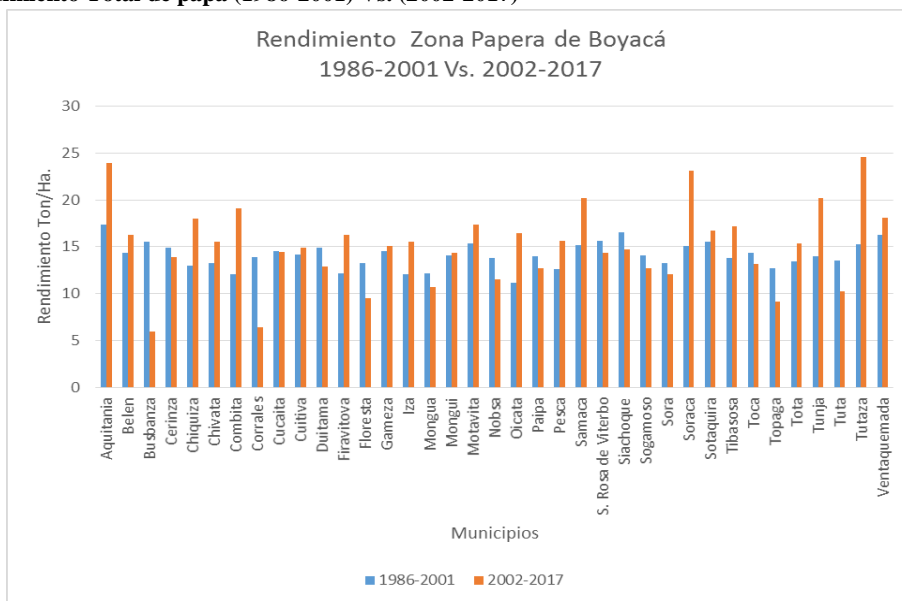
Fuente: Elaboración propia a partir de datos del MADR.

Se observa que municipios como Tunja, Aquitania, Belén, Chíquiza, Combita, Samacá, Siachoque, Sogamoso, Tutazá y Ventaquemada aumentaron su producción en la segunda ventana (2002-2017) respecto a la ventana 1 (1986-2001), Caso contrario para Busbanzá, Cerínza, Chivata, Corrales, Cucaita, Cúitiva, Duitama, Firavitoba, Floresta, Iza, Mongua, Monguí, Motavita, Nobsa, Paipa, Pesca, Santa Rosa de Viterbo, Sora, Sotaquirá, Tibasosa, Toca, Tópaga, y Tuta que para el segundo periodo evaluado 2002-2017 presentan una baja en su producción respecto a los 16 años anteriores 1986-2001. Gámeza, mantuvo prácticamente la misma producción. Para el segundo periodo 2002-2017, los mayores productores fueron Tunja con 1.157.500 toneladas, Ventaquemada con 1.031.996,43 Toneladas, seguido de Siachoque con 828.210 Toneladas, Samacá con 695.406 toneladas y Chíquiza con 460.342 toneladas. Se puede observar también de la Figura 18 que la mayor producción se ubica en municipios de la provincia del Centro en las dos ventanas, que a pesar de que Toca bajo su producción en el segundo periodo, sigue siendo alta (478.000 Ton.) si se compara con un gran número de Municipios.

3.2.2 Comparación de Rendimiento de papa periodo 1986 a 2001 y 2002 a 2017

El rendimiento que es producción de papa en toneladas por área sembrada en Hectáreas también es un factor importante de observar.

Figura 18. Rendimiento Total de papa (1986-2001) Vs. (2002-2017)

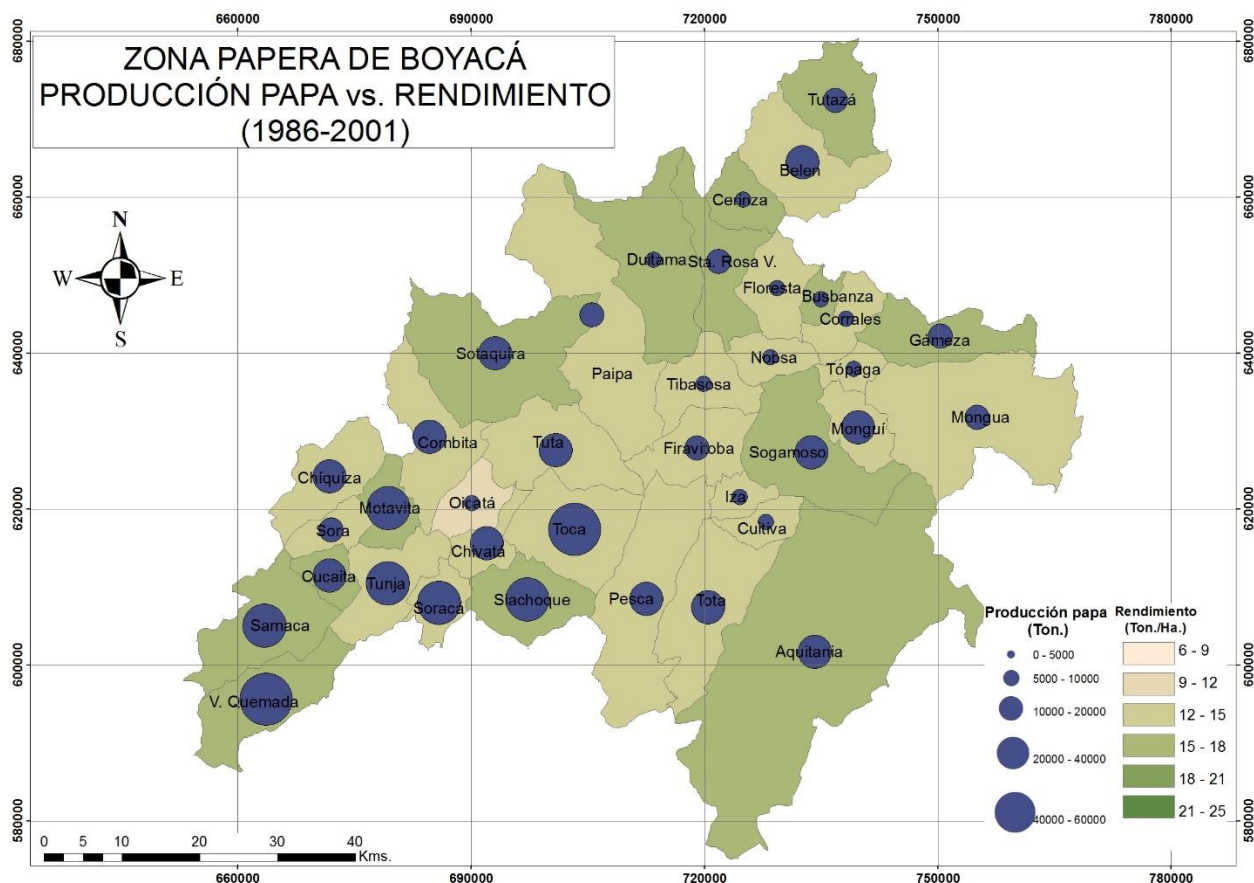


Fuente: Elaboración propia a partir de datos del MADR

Se presentan mejores rendimientos para la segunda ventana de tiempo (Figura 18) sobresaliendo los municipios de Aquitania, Belén, Chíquiza, Combita, Samacá, Soracá, Tunja, Tutazá y Ventaquemada principalmente. Tunja y Aquitania, aunque presentan rendimientos de valor similar al comparar con la Figura 17, muestran que la producción de Tunja fue mucho mayor, uno de los factores que pudo influir es mayor área de producción.

3.2.3 Distribución espacial del cambio de producción de papa periodo 1986 a 2017

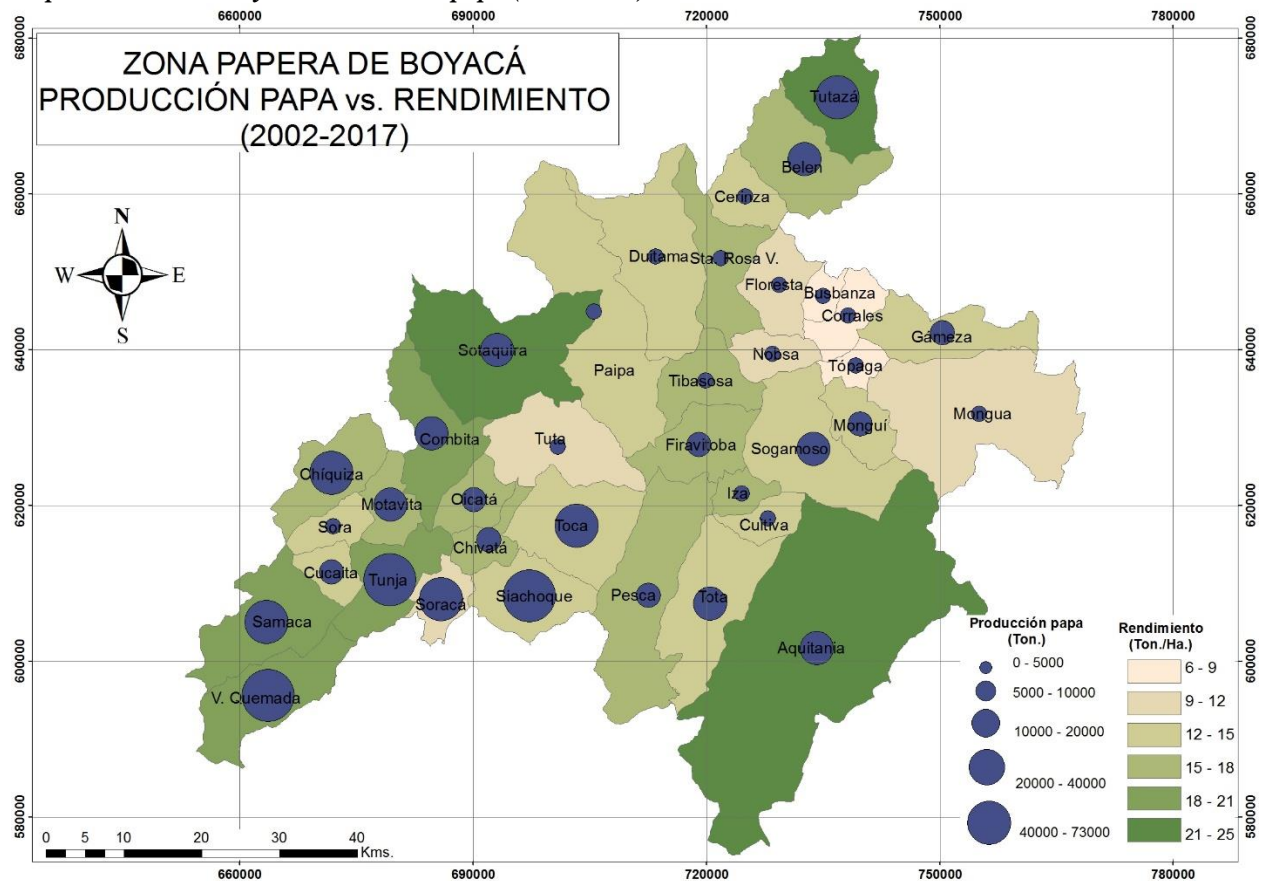
Mapa 9 Producción y Rendimiento de papa (1986-2001)



En el Mapa 9 se presenta la comparación entre la producción y el rendimiento de papa por municipios, se encuentra del color ocre claro hacia el verde el aumento del rendimiento que está dado en número de Toneladas producidas por Hectárea. A su vez se presenta la producción registrada para cada municipio presentada por rangos de producción en toneladas. Se puede observar que los municipios con mayor rendimiento para este periodo evaluado de 16 años, comprendido entre 1986-2001 son Aquitania y Sogamoso con un rendimiento de 17 Toneladas por hectárea sembrada, le siguen Ventaquemada, Siachoque, Santa Rosa y Busbanzá con 16 Ton/ha. Los que presentan un rendimiento de 12 Ton/ Ha son Mongua, Firavitoba, Combita e Iza. El más bajo de 11 Ton/Ha se presentó en Oicatá, los demás municipios con rendimientos entre 13-15 Ton/Ha. Los mayores productores en Toneladas se encuentran En Ventaquemada y Toca con más de 40.000 toneladas a pesar de que su rendimiento no fue el mayor en comparación con otros

municipios. Le siguen Tunja, Samacá, Motavita, Sotaquirá, Sogamoso con producciones entre 20.000-40.000. Oicatá, Nobsa y Busbanzá, Duitama, Cerinza, Iza, Floresta, Corrales y Cuítiva presentaron la producción más baja por debajo de las 5.000 Toneladas. Al estimar la relación entre rendimiento y producción, se observa que el rendimiento no es directamente proporcional con la producción en todos los casos. Es así como Toca con un rendimiento de 14 Ton/Ha. presentó la mayor producción, acercándose a las 60.000 toneladas producidas.

Mapa 10. Producción y Rendimiento de papa (2002-2017)

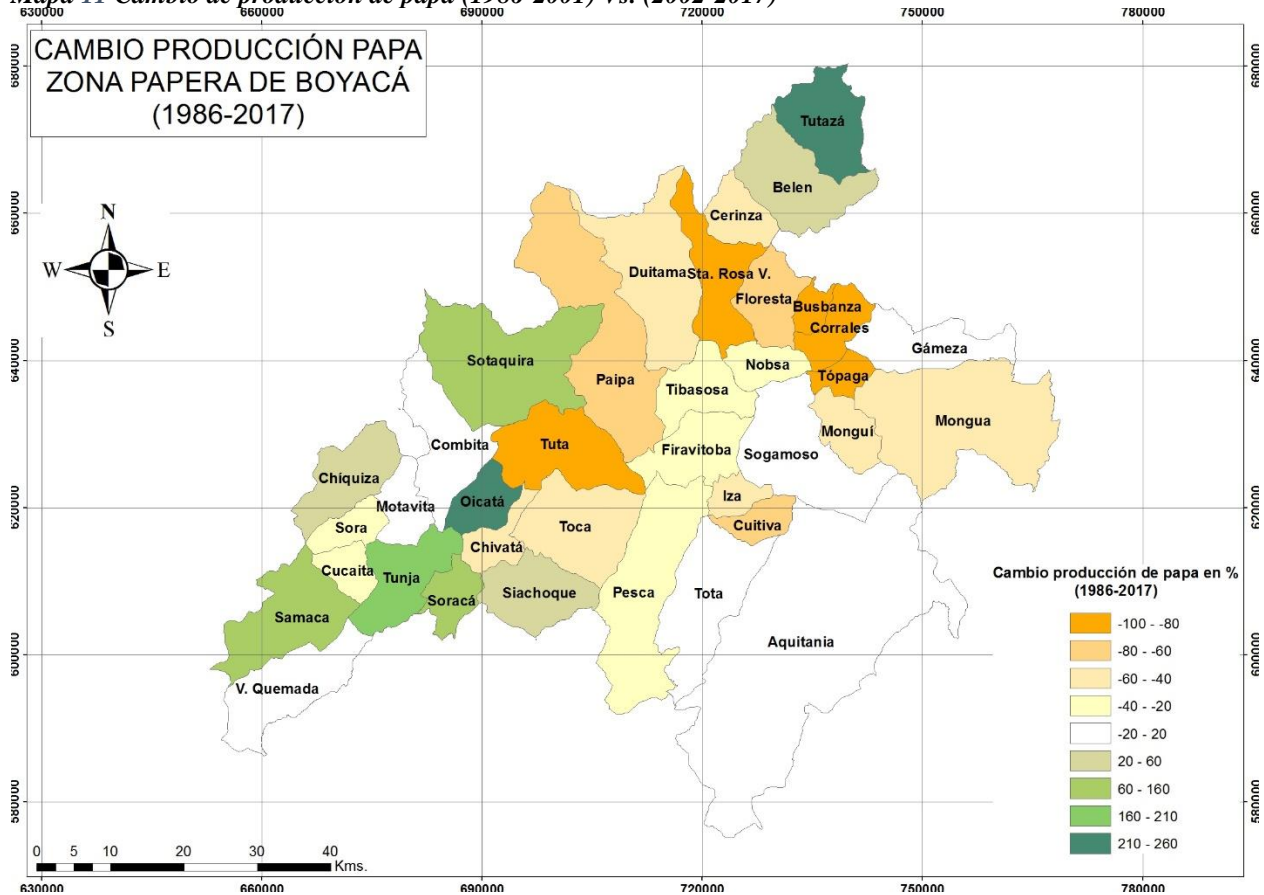


Fuente: Elaboración propia a partir de datos del MADR.

En el mapa 10, se presenta una comparación entre la producción y el rendimiento por municipios para el segundo periodo de estudio. Igualmente se presenta del color ocre claro hacia el verde, el cambio en aumento del rendimiento que esta dado en número de Toneladas producidas por Hectárea. A su vez se presenta la producción registrada para cada municipio presentada por rangos de producción en toneladas. Como se puede observar hay municipios que su producción y rendimiento van en la misma dirección, rendimientos altos con producciones altas, pero también

se presentan casos con rendimientos medios-bajos con producciones medias a altas y rendimientos bajos con producciones bajas. El rendimiento más bajo para este periodo es de 6 - 9 Ton/Ha. y el más alto de 21- 25 Ton/ Ha. Los municipios de mayor producción y mayor rendimiento están ubicados en la provincia centro, como Ventaquemada, Samacá, Tunja, Combita, Oicatá, Motavita, Chíquiza, Siachoque, Cucaita, Sotaquirá, Chivata, prestándose unas excepciones como el caso de Tuta, y Sora que bajaron de 16 Ton/ha hasta 12-15 Ton/Ha. Por su parte Tutazá, y Belén presentaron para este segundo periodo una mejor producción y rendimiento de 18 a 25 Ton/Ha. La mayor parte de los municipios pertenecientes a la provincia del Sugamuxi bajaron su producción y rendimiento.

Mapa 11 Cambio de producción de papa (1986-2001) Vs. (2002-2017)



Fuente: Elaboración propia a partir de datos del MADR.

Como se muestra en el Mapa 11, los municipios con colores ocres indican que el porcentaje de producción disminuyó del periodo 1986-2001 al periodo 2002-2017, en algunos casos fue del 20-40% como Pesca, Firavitoba, Tibasosa, Nobsa y Cucaita. Del 40 al 60% disminuyó la producción en Chivata, Toca, Monguí, Mongua, Iza y Cerinza. Disminución entre 60-80% en los municipios

de Paipa, Duitama, Floresta y Cuítiva. Entre el 80 y el 100 % que fueron donde mayor disminución se presentó están los municipios de Santa Rosa, Tuta, Busbanzá, Corrales y Tópaga. Contrario a lo anterior hubo municipios que aumentaron su porcentaje de producción como es el caso de Chíquiza, Belén y Siachoque en un rango de 20 -60%, le siguen Samacá, Sotaquirá con un 60-160%, De un 160-210% se encuentran Tunja, y de un 201-260% en aumento de producción de papa fueron Oicatá y Tutazá que en porcentaje fueron los más altos. No se presentaron cambios significativos en la producción de papa en los municipios de Motavita, Combita, Ventaquemada, Tota, Aquitania, Sogamoso y Gámeza considerándose que mantienen similar producción entre los dos periodos.

3.3 Conclusiones Capítulo 3

- En comparación del periodo 1986 – 2001 y del periodo 2002 – 2017, 9 de los 37 municipios aumentaron su producción hasta en un 60%.
- En 21 de los 37 municipios evaluados se presentaron disminuciones en la producción.
- En 7 de los 37 municipios evaluados no se presentó cambio significativo en la producción de papa.
- El 24 % de la zona papera aumento su producción entre un 20 a 260%, el 19 % de zona papera presento un cambio no significativo en su producción encontrándose entre un rango de -20 a 20% y el 57% de la zona disminuyo su porcentaje de producción durante el período de 1986-2017 entre un 20 a 100%.
- A nivel general en la zona papera de Boyacá aumento la producción y el rendimiento presentando mayor crecimiento la producción respecto a la tendencia del rendimiento lo que significa que también aumento el área de producción del cultivo en la zona.
- La mayor producción de papa se concentra en la provincia centro.

4. Relación entre el cambio climático y la producción de papa de la zona papera en Boyacá

El cambio climático al producir alteraciones en las condiciones predominantes del clima, se convierte en una amenaza para muchos sectores productivos, entre ellos el sector agrícola ya que puede presentar temperaturas más altas o más bajas y esto tiene un impacto sobre los rendimientos de los cultivos (Bascopé, 2013; Mora Motta, 2014; Rojas, 2011)

Los cambios en los patrones de las precipitaciones a corto plazo representarían pérdidas de cosechas, y en el largo plazo, una disminución en la producción (GÓMEZ, 2016; Ministerio de Agricultura, 2013). No obstante, es muy probable que el cambio climático también genere ciertos beneficios en algunos cultivos y regiones específicas del mundo.

La producción de papa no es ajena a la posibilidad de ser afectada por cambios en el clima, cambios que pueden ser positivos o negativos. Este cultivo requiere de unas condiciones mínimas de precipitación y temperatura para desarrollarse.

Su producción se concentra en ecosistemas montañosos de clima frío entre 2.500 y 3.000 m.s.n.m. (Cortes, 2013). Corchuelo (2005) señala que en su etapa de crecimiento y desarrollo la temperatura óptima para la fotosíntesis oscila entre 18°C a 24 °C (Villamil, 2005). Es importante mencionar que temperaturas por debajo de 2°C afectan negativamente la tasa fotosintética trayendo efectos nocivos para el crecimiento del tubérculo, perjudica las relaciones hídricas y los procesos de translocación y asignación del carbono (Corchuelo, 2005) citado por (Cortes, 2013).

Si se presenta sequía durante el desarrollo del cultivo de la papa, se genera en ella algo conocido como estrés hídrico, este es causante de reducción de fotosíntesis, cambios metabólicos, acumulación de prolina en la planta, y si este estrés hídrico se presenta principalmente durante la tuberización puede afectar fuertemente los rendimientos, ya que disminuye la capacidad de la planta de absorber Carbono necesario para el crecimiento de los tubérculos (Campo et al., 1992).

Se busca determinar si hay una relación entre el cambio climático de la zona papera de Boyacá con el comportamiento de la producción de papa durante el periodo evaluado 1986-2017. Tomando los valores obtenidos a través del procesamiento de la información estadística por municipio, empleando como herramienta ArcGis, se obtuvo la información mostrada en la Tabla 3.

Tabla 3. Cambio de PT, Diferencia de TS y Porcentaje Cambio Producción papa por municipios.

Municipios	%Cambio Producción(y)	%Cambio PT(x1)	Diferencia TS(x2)
Aquitania	2,4	6,5	-0,22
Belén	77,0	-29,2	0,57
Busbanzá	-97,9	-3,1	1,05
Cerinza	-56,7	-13,9	0,56
Chíquiza	59,4	5,6	0,22
Chivata	-47,0	9,1	-0,08
Combita	7,7	-13,2	0,21
Corrales	-91,2	1,4	1,15
Cucaita	-38,5	9,0	0,22
Cúitiva	-67,1	13,2	-1,01
Duitama	-64,3	1,1	0,56
Firavitoba	-39,9	9,4	0,25
Floresta	-70,7	-2,8	0,79
Gameza	-8,9	15,7	0,74
Iza	-49,4	5,1	-0,62
Mongua	-48,6	18,9	0,50
Monguí	-43,8	0,0	0,68
Motavita	-17,5	27,0	0,24
Nobsa	-25,4	8,5	0,83
Oicatá	210,6	-1,0	0,02
Paipa	-72,6	6,1	0,53
Pesca	-33,3	-4,2	-0,13
Samacá	80,6	10,2	0,20
S. Rosa de Viterbo	-81,1	-1,2	-0,10
Siachoque	47,3	15,5	0,28
Sogamoso	17,8	24,7	0,22
Sora	-52,5	2,3	0,19
Soracá	79,0	-5,8	0,41
Sotaquirá	-16,6	-1,6	0,52
Tibasosa	-21,6	4,5	0,43
Toca	-41,7	9,9	-0,18
Tópaga	-89,9	-0,2	1,17
Tota	0,1	-6,4	-0,49
Tunja	160,6	4,4	0,25
Tuta	-83,4	4,0	0,24
Tutazá	248,8	-16,6	0,52
Ventaquemada	9,1	-13,8	0,20

Fuente: Elaboración Propia a partir de Datos del IDEAM y de MADR

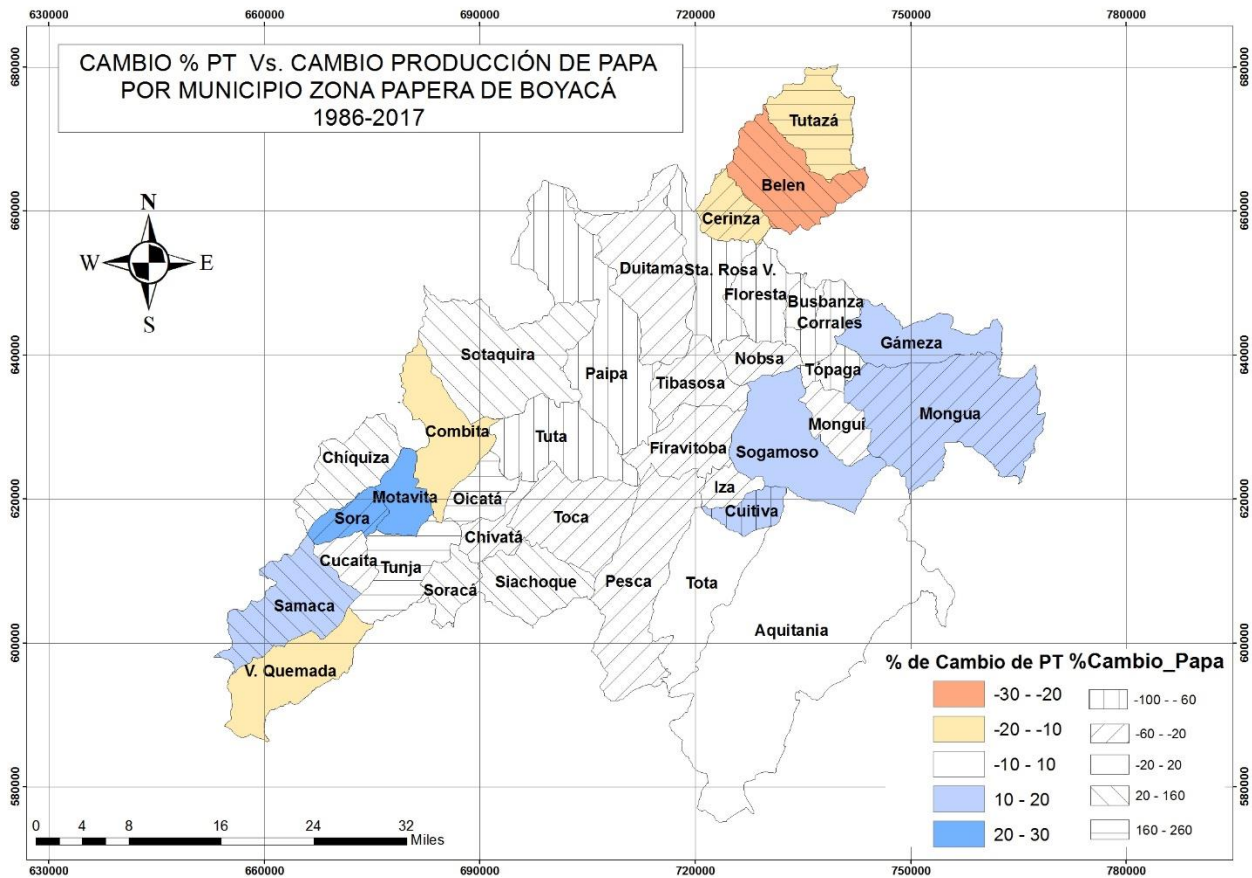
4.1 Relación entre Cambio de precipitación y cambio de producción de papa en zona papera de Boyacá.

De acuerdo con lo visto en el capítulo 2, se presentó cambio climático de precipitación para algunos municipios de la zona papera de Boyacá, otros no. En el capítulo 3 se identificó el cambio de la producción de papa tanto en general para la zona papera de Boyacá como en cada municipio. Ahora se busca determinar si existe alguna relación entre el cambio de precipitación y el comportamiento de la producción de papa entre 1986-2017. Para ello se emplea el método de la regresión simple y los valores presentados en la tabla 3. Tomando la variable porcentaje de producción como “y” y la variable porcentaje de cambio de precipitación PT como “x”.

Con el uso de Excel, con un nivel de confianza del 95 % se halló la correlación para Precipitación y Producción de papa, datos tomados de Tabla 3. Dio como resultado un coeficiente de correlación del 0,22 lo que de acuerdo a la teoría “donde el valor 0 indica una correlación nula, en tanto los valores 1 y -1, denotan una correlación total” (Cruz-Roa & Barrios, 2019), por lo tanto para este caso que se acerca a cero, se puede afirmar que no se evidencia relación entre el cambio climático por precipitación y producción de papa a través del coeficiente de correlación de Pearson para la Zona papera de Boyacá.

En el Mapa 12 se presenta en color la media del porcentaje de cambio de precipitación y en achurados el porcentaje de cambio en la producción de papa por municipio. Como se puede observar a pesar de que en Belén se presenta una disminución de la precipitación entre el 30-20%, la producción de papa aumento entre un 20-160 %, lo mismo sucede en Tutazá con una baja de precipitación de entre 20-10 % pero con un aumento en su producción de 160-260%. Situación que no se presenta en Cerinza ya que tanto disminuye el porcentaje de precipitación (20-10%) como el porcentaje de producción (60-20%). Aquitania y Toca no presentaron cambio ni en precipitación ni en producción de papa. Cucaita, Chivata, Toca, Tuta, Pesca, Firavitoba, Iza, Monguí, Tópaga, Nobsa, Duitama, Santa Rosa y Paipa presentaron disminución en la producción de papa y un cambio no significativo en la precipitación. Mientras que Sora y Cuítiva aumento la precipitación pero disminuyo la producción de papa. Motavita, Sogamoso y Gameza a pesar de subir su porcentaje de precipitación presento un cambio no significativo en la producción de papa.

Mapa 12. Cambio de PT y producción de papa en zona papera por municipios (1986-2017)



Fuente: Elaboración Propia a partir de Datos del IDEAM y de MADR

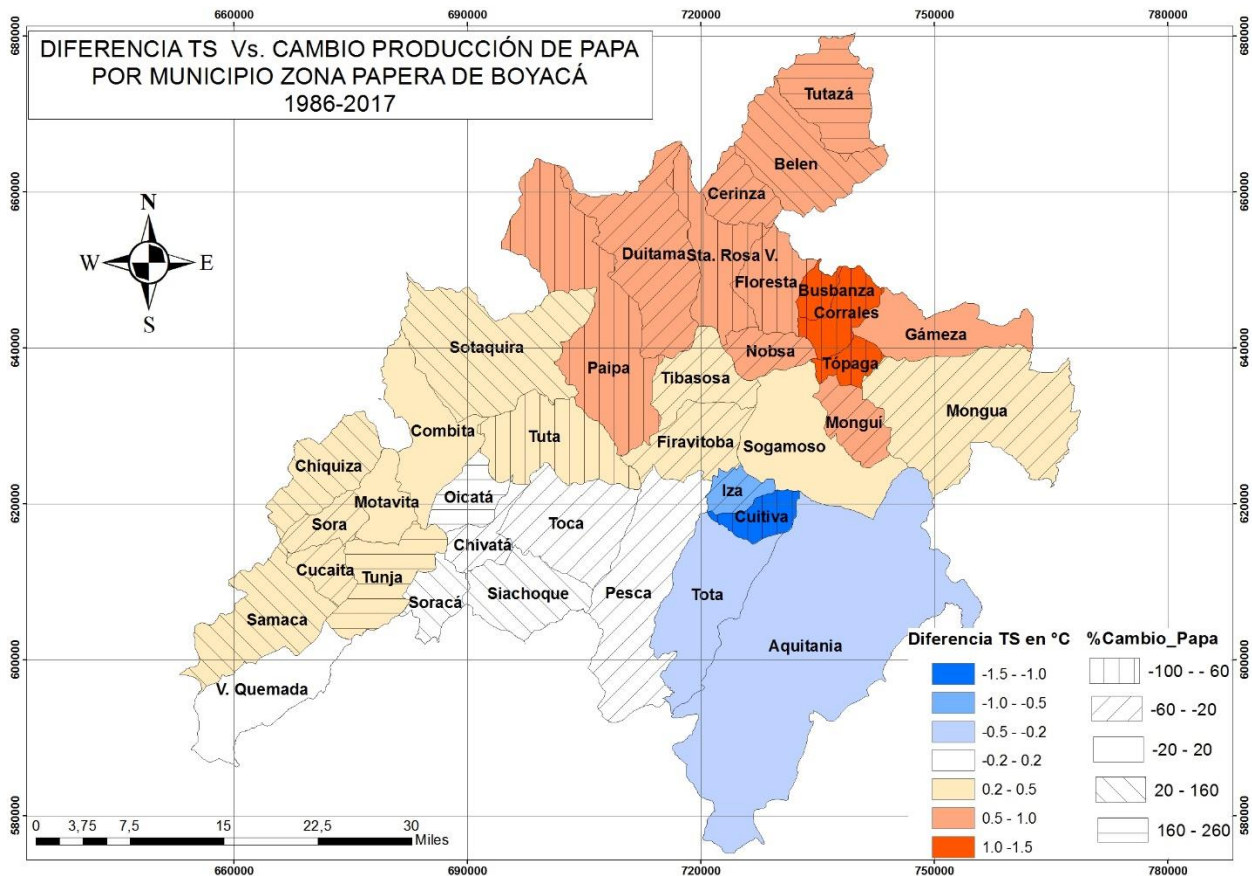
En Samacá aumento tanto la precipitación como la producción y finalmente en Tunja, Soracá, Siachoque, Oicatá, Chíquiza y Sotaquirá presento un aumento en su producción de papa sin cambio significativo en la precipitación.

4.2 Relación entre Cambio de Temperatura y el cambio de producción de papa en zona papera de Boyacá.

Tomando la información de la Tabla 3 para el cambio en la producción de papa y su relación con la diferencia de temperatura en la zona papera por municipios para el periodo 1986-2017, se realizó el mismo procedimiento, donde se tomaron los valores medios obtenidos a través del procesamiento de la información estadística empleando como herramienta a ArcGis. Y utilizando el método de la regresión simple y con un nivel de confianza del 95% se halló la correlación para Cambio de Temperatura y Cambio de Producción de papa. Da como resultado un coeficiente de correlación del 0,09 (Cruz-Roa & Barrios, 2019), por lo tanto para este caso, que se acerca a cero el coeficiente de correlación, se puede afirmar que la relación entre el cambio climático por temperatura y la producción de papa es prácticamente nula para la zona papera de Boyacá.

Para ilustrar mejor la relación y de acuerdo con el mapa 13 en donde se muestra en color el cambio medio de temperatura en cada municipio y en achurados los cambios en el porcentaje de la producción de papa, se puede observar que el mayor cambio en el que la temperatura sube entre 1.0 a 1.5 °C se presenta en los municipios de Busbanzá, Tópaga y Corrales que a su vez presentan el porcentaje de mayor pérdida de producción de papa entre 100-60%. El segundo mayor rango de aumento de temperatura de 0.5-1.0°C lo presenta los municipios de Monguí, Gameza, Nobsa, Floresta, Paipa, Duitama, Santa Rosa de Viterbo, Cerinza, Belén y Tutazá presentando a su vez pérdidas en la producción excepto en Tutazá y Belén con porcentajes entre 260-160 % y 20-160% respectivamente y en el caso de Gameza que no presentan cambio significativo en su producción de papa.

Mapa 13. Cambio de TS y Producción de papa en zona papera de Boyacá por municipios (1986-2017)



Fuente: Elaboración Propia a partir de Datos del IDEAM y de MADR

Otros municipios por su parte presentan aumento en su temperatura entre 0.2-0.5 °C en los cuales Monguía, Tibasosa, Cucaita y Firavitoba presentan disminución en su producción de papa 20-160% y Samacá, Chíquiza, Sotaquirá aumentaron su producción entre 20-160% mientras municipios como Motavita y Combita no presentaron cambio significativo en su producción y Tunja presenta el mayor porcentaje de producción entre 160-260%. En Pesca, Toca, Chivatá, Oicatá y Soracá aunque no se presentaron cambios significativos en la temperatura si se presentaron disminución en el porcentaje de producción y finalmente Ventaquemada fue el municipio que no presento cambio significativo en ninguna de las variables observadas. De acuerdo con lo anterior se puede estimar que no se presenta una relación directa en todos los municipios entre el aumento o disminución de temperatura con el aumento o disminución en la producción de papa en la zona papera de Boyacá para 1986-2017.

4.3 Relación entre Producción de papa, precipitación y temperatura en zona papera de Boyacá.

En la búsqueda de determinar una relación entre las tres variables se aplica en forma directa a los datos de la tabla 3 una regresión múltiple. En donde Producción, será la variable dependiente (Y) y las variables independientes, Precipitación (X1) y Temperatura (X2). Empleando Excel como herramienta y a través del análisis de datos por regresión, con un nivel de confianza del 95% se obtiene como resultado un coeficiente de correlación de 0,26 (Ver anexo 3), que de acuerdo con la teoría (Cruz-Roa & Barrios, 2019), se puede afirmar que el cambio en la producción de papa en la zona papera de Boyacá, no evidencia una relación directa con el cambio de precipitación y temperatura esto a partir del método de regresión lineal múltiple aplicado para todos los municipios de la zona papera de Boyacá.

4.3.1 Cálculo de Correlación a partir de información de estaciones meteorológicas.

Se tomaron 3 estaciones meteorológicas con datos de precipitación y temperatura para ser comparados con la producción de papa en el municipio representativo, para el periodo de 1986-2017. (Tabla 4)

4.3.1.1 Producción de papa y su relación con precipitación y temperatura en la estación Meteorológica de Tunja (UPTC)

Tabla 4. Producción de papa y datos climáticos en Tunja.

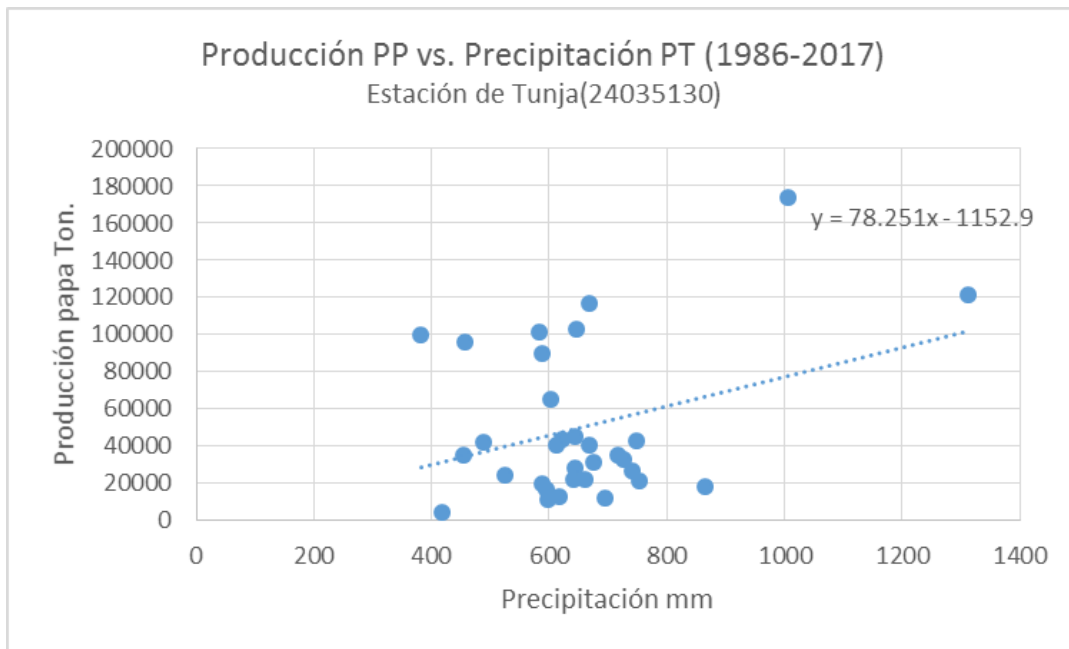
Estación Tunja 24035130			
	PP (Ton.)	PT (mm.)	TS (°C)
1986	21400	753	13.0
1987	20000	589	13.3
1988	12000	695	13.4
1989	11400	598	12.9
1990	12960	618	13.0
1991	24650	524	13.0
1992	35600	454	13.1
1993	43998	622	13.0
1994	43200	748	13.0
1995	40560	613	13.1
1996	28600	644	12.9
1997	4885	419	13.2
1998	22560	641	13.9
1999	35400	716	13.0
2000	45000	643	13.0
2001	42000	488	13.1
2002	31230	676	13.2
2003	40500	668	13.4
2004	27000	740	13.3
2005	16500	595	13.6
2006	18000	865	13.3
2007	22400	660	13.2
2008	33160	726	13.1
2009	101840	583	13.4
2010	173690	1007	13.7
2011	121860	1312	13.1
2012	116900	669	13.1
2013	90000	588	13.4
2014	96000	457	13.5
2015	100000	383	13.6
2016	65020	602	13.9
2017	103400	646	13.6

Fuente: Elaboración propia a partir de Datos IDEAM y MADR

a. Relación entre Producción de papa (PP) y Precipitación Total (PT)

Se encontró un coeficiente de correlación de Pearson de 0,32 entre la producción de papa anual en Tunja y la precipitación total de la estación Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia-UPTC, lo cual no evidencia la existencia de una relación lineal entre estas dos variables.

Figura 19. Producción papa vs. PT (1986-2017) Estación Tunja

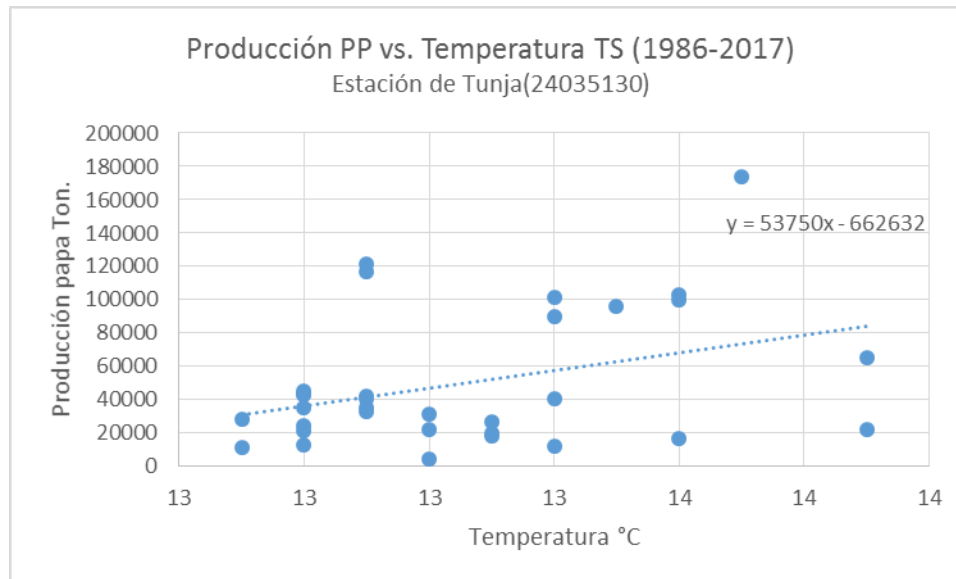


Fuente: Elaboración propia a partir de Datos IDEAM y MADR

b. Relación entre producción de papa (PP) y temperatura media (TS)

Al igual que con precipitaciones, no se evidencia a través del coeficiente de correlación de Pearson, una relación lineal entre la producción de papa en Tunja y la temperatura media en su estación representativa (estación UPTC), siendo el coeficiente de correlación de 0,36 poco significativo estadísticamente.

Figura 20. Producción Papa vs. PT (1986-2017) Estación Tunja



Fuente: Elaboración propia a partir de Datos IDEAM y MADR

c. Relación entre producción de papa y las variables climáticas de precipitación y temperatura

Se encuentra un coeficiente de correlación de 0,5 considerando la producción de papa (PP) como variable “dependiente” y la precipitación (PT) y temperatura (TS) como variables “independientes”. A pesar de ser mayor al coeficiente obtenido en las regresiones lineales simples (PP vs PT y PP vs TS), este valor para el coeficiente de correlación de la regresión lineal múltiple (PP vs PT y TS) no se considera significativo (Cruz-Roa & Barrios, 2019) por lo tanto no se presenta buena correlación lineal, en el periodo de estudio, de la producción de papa en Tunja con respecto a la temperatura y precipitación .

4.3.1.2 Estación Meteorológica La Copa (Toca)

Tabla 5. Estación La Copa

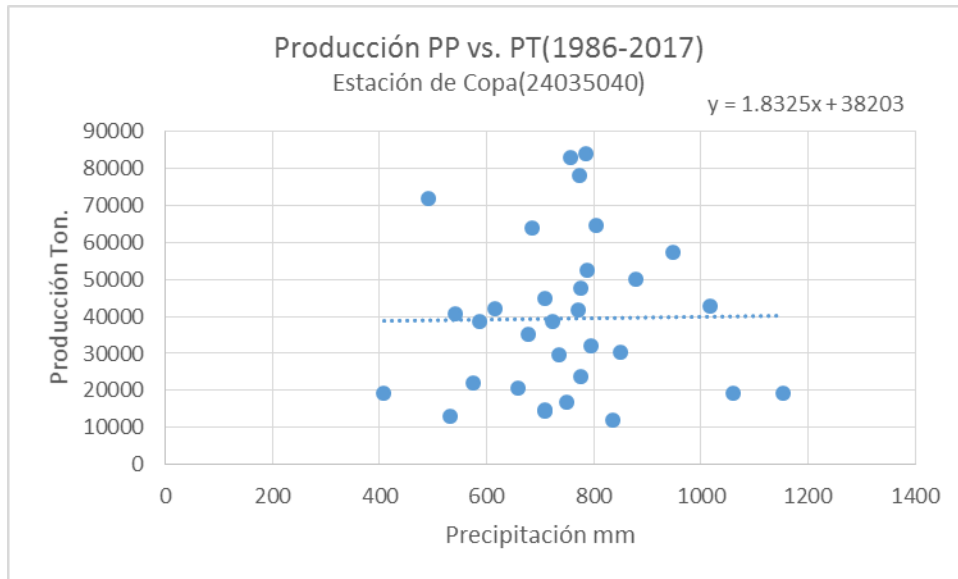
Estación la Copa 24035040			
	PP (Ton.)	PT (mm.)	TS (°C)
1986	52.500.00	787	13.4
1987	45.000.00	708	13.4
1988	64.800.00	804	13.3
1989	47.600.00	776	13.3
1990	41.600.00	770	13.3
1991	29.505.00	734	13.3
1992	40.800.00	542	13.6
1993	64.000.00	685	13.2
1994	84.000.00	784	13.8
1995	57.200.00	947	14.1
1996	49.920.00	879	14.2
1997	13.000.00	532	14.4
1998	17.000.00	750	14.6
1999	30.500.00	849	12.6
2000	78.000.00	772	12.4
2001	72.000.00	491	12.8
2002	38.565.00	586	13.0
2003	35.280.00	678	13.3
2004	38.700.00	723	13.3
2005	14.575.00	709	13.4
2006	11.900.00	835	13.0
2007	23.700.00	775	13.4
2008	42.900.00	1017	13.6
2009	42.000.00	615	14.2
2010	19.430.00	1059	14.2
2011	19.215.00	1153	12.7
2012	14.900.00	709	12.4
2013	20.800.00	660	12.4
2014	22.200.00	574	12.4
2015	19.400.00	408	12.7
2016	32.200.00	796	12.7
2017	83.040.00	757	12.5

Fuente: Elaboración propia a partir de Datos IDEAM y MADR

a. Relación entre Producción de papa (PP) y Precipitación Total (PT)

Se encontró un coeficiente de correlación de Pearson de 0,013 entre la producción de papa anual en Toca y la precipitación total de la estación La Copa, el valor es casi cero (0) por lo que se presenta una relación lineal prácticamente nula entre las variables.

Figura 21. Producción papa vs. PT (1986-2017) Estación La Copa

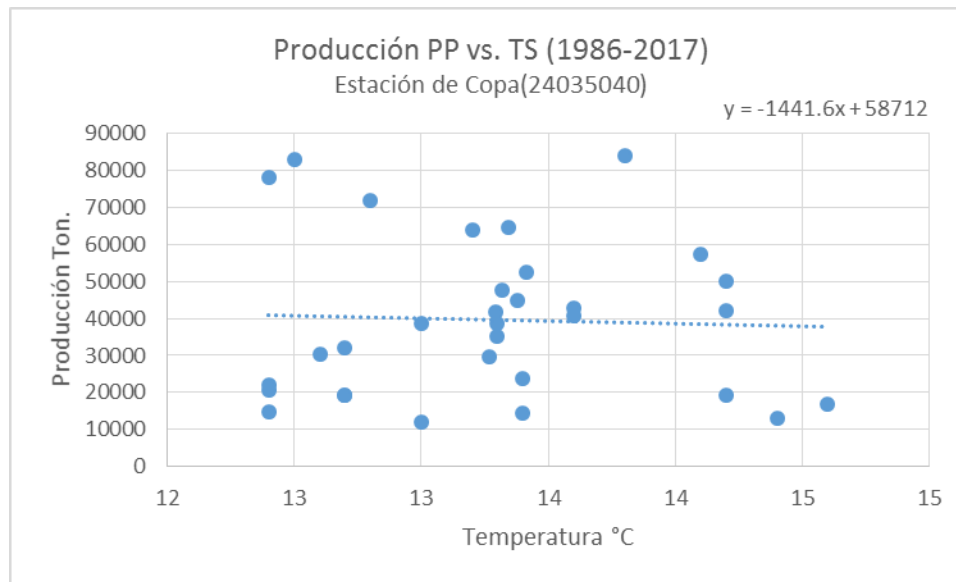


Fuente: Elaboración propia a partir de Datos IDEAM y MADR

b. Relación entre producción de papa (PP) y temperatura media (TS)

Al igual que con precipitaciones, no se evidencia a través del coeficiente de correlación de Pearson, una relación lineal entre la producción de papa en Toca y la temperatura media en su estación representativa (estación LA COPA), siendo el coeficiente de correlación de 0,047 poco significativo estadísticamente y prácticamente nulo.

Figura 22. Producción de papa vs. TS (1986-2017) Estación Copa



Fuente: Elaboración propia a partir de Datos IDEAM y MADR

c. Relación entre producción de papa y las variables climáticas de precipitación y temperatura

Se encuentra un coeficiente de correlación de 0,04 considerando la producción de papa (PP) como variable “dependiente” y la precipitación (PT) y temperatura (TS) como variables “independientes”. Al igual que el coeficiente obtenido en las regresiones lineales simples (PP vs PT y PP vs TS), este valor para el coeficiente de correlación de la regresión lineal múltiple (PP vs PT y TS) no se considera significativo y es prácticamente nulo (Cruz-Roa & Barrios, 2019) por lo tanto no se presenta buena correlación lineal, en el periodo de estudio, de la producción de papa en Toca con respecto a la temperatura y precipitación .

4.3.1.3 Estación Meteorológica de Belencito

Tabla 6. Estación de Belencito

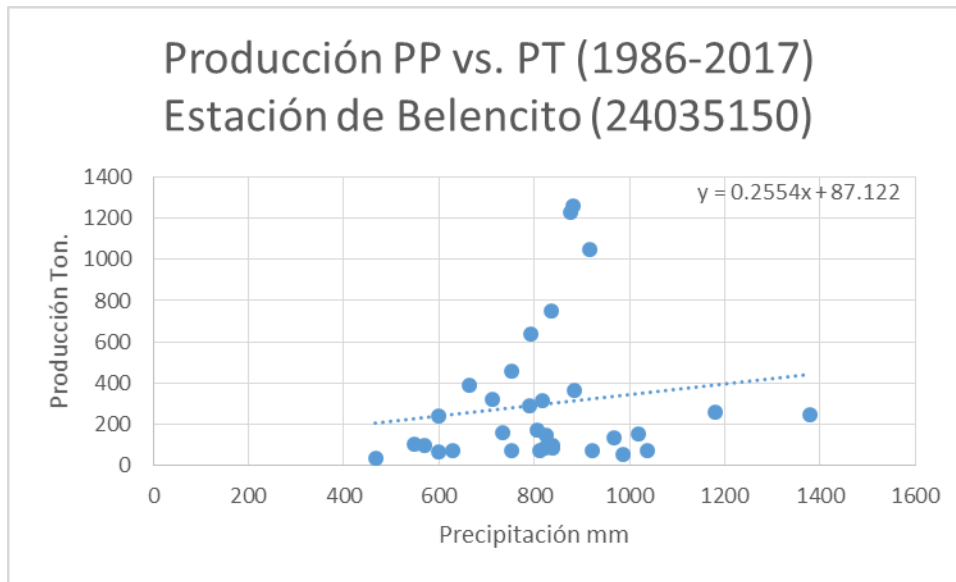
	Estación la Belencito 24035150		
	PP (Ton.)	PT (mm.)	TS (°C)
1986	1.230.00	876	14.7
1987	750.00	835	15.2
1988	1.050.00	915	15.0
1989	320.00	712	14.4
1990	360.00	883	15.0
1991	84.00	823	14.9
1992	240.00	598	15.4
1993	288.00	791	15.1
1994	390.00	665	15.0
1995	144.00	824	15.2
1996	150.00	1018	14.7
1997	33.00	466	15.3
1998	94.00	839	15.2
1999	49.50	986	14.4
2000	81.63	838	14.8
2001	64.53	600	15.8
2002	72.41	629	16.1
2003	67.02	923	16.7
2004	71.40	812	16.9
2005	68.84	751	16.9
2006	69.92	1037	17.0
2007	312.50	816	16.6
2008	130.66	968	16.5
2009	454.00	753	16.7
2010	241.77	1378	16.8
2011	255.19	1179	16.7
2012	171.00	806	16.8
2013	154.00	733	16.4
2014	95.00	570	16.6
2015	100.00	549	16.3
2016	640.00	794	17.1
2017	1.260.00	881	16.6

Fuente: Elaboración propia a partir de Datos IDEAM y MADR

a. Relación entre Producción de papa (PP) y Precipitación Total (PT)

El coeficiente de correlación de Pearson es de 0,14 entre la producción de papa anual en Nobsa y la precipitación total de la estación de Belencito, lo cual no evidencia la existencia de una relación lineal entre estas dos variables.

Figura 233. Producción papa vs. PT 1986-2017 Estación de Belencito

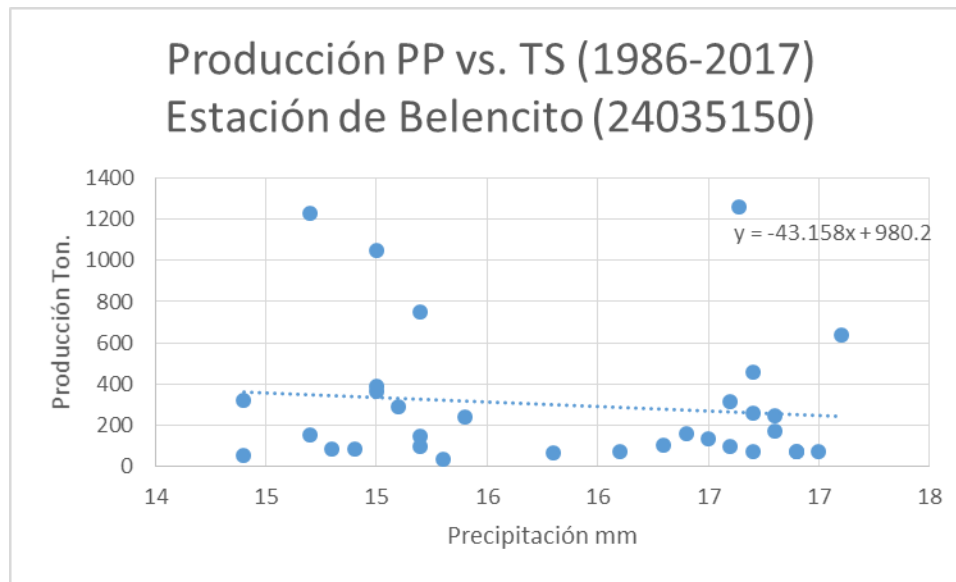


Fuente: Elaboración propia a partir de Datos IDEAM y MADR

b. Relación entre producción de papa (PP) y temperatura media (TS)

Así como en precipitaciones, no se evidencia a través del coeficiente de correlación de Pearson, una relación lineal entre la producción de papa en Nobsa y la temperatura media en su estación representativa (estación Belencito), siendo el coeficiente de correlación de 0,11 poco significativo estadísticamente.

Figura 24. Producción de papa vs. TS (1986-2017) Estación Belencito



Fuente: Elaboración propia a partir de Datos IDEAM y MADR

c. Relación entre producción de papa y las variables climáticas de precipitación y temperatura

Se encuentra un coeficiente de correlación de 0,19 considerando la producción de papa (PP) como variable “dependiente” y la precipitación (PT) y temperatura (TS) como variables “independientes. El coeficiente de correlación de la regresión lineal múltiple (PP vs PT y TS) no se considera significativo (Cruz-Roa & Barrios, 2019) por lo tanto no se presenta buena correlación lineal, en el periodo de estudio, de la producción de papa en Nobsa con respecto a la temperatura y precipitación .

4.4 Conclusiones Capitulo 4

- No todos los municipios presentaron el mismo comportamiento de producción de papa de acuerdo a la precipitación: Sora, Samacá y Sogamoso aumentaron precipitación (PT) y Producción. Motavita Gámeza, Cuítiva y Mongua aumentaron PT pero disminuyeron Producción; Tutazá, Belén aunque disminuyeron su porcentaje de precipitaciones hasta en un 30%, aumentaron su producción hasta en un 260% y Cerinza que disminuyo PT también disminuyo producción de papa. Los demás municipios cuyo cambio de porcentaje de precipitación no es significativo presentaron disminuciones de producción.
- No se evidencia, a través del coeficiente de correlación lineal de Pearson relación entre el cambio climático por temperatura y precipitación con la producción de papa en la zona papera de Boyacá.

5. CONCLUSIONES GENERALES

- La zona papera de Boyacá se encuentra enmarcada principalmente en tres provincias: Centro, Tundama y Sugamuxi que corresponde a la zona de piso térmico frío.
- Los mayores municipios productores se encuentran en los municipios de la provincia del Centro, siendo el primero Tunja seguido de Ventaquemada, Siachoque, Toca, Samacá, Sora y Chíquiza.
- Se presenta cambio climático de temperatura en algunos sectores de la zona papera de Boyacá, siendo menos las áreas que han disminuido su temperatura hasta en 1.2 °C y mayores las que han aumentado su temperatura hasta en 1.6°C. Aproximadamente en un tercio de la zona papera no se evidencia un cambio de temperatura en el periodo 1986 a 2017.
- El sector donde se presenta el mayor aumento de temperatura de 1.6°C coincide en su ubicación geográfica con la zona donde están ubicadas importantes empresas de la región que generan contaminación en la zona y posiblemente incidan en el aumento de la temperatura del sector.
- Se presenta cambio climático de precipitación para algunos sectores de la zona papera de Boyacá llegando a presentarse disminuciones de hasta 40% (entre Belén y Tutazá) y aumentos en la precipitación hasta en 60% (muy pequeño en frontera de Samacá). En cerca de la mitad de la zona papera de Boyacá no se evidencia un cambio de precipitación significativo en el periodo de estudio.
- En general, para el periodo 1986 – 2017, la zona papera de Boyacá presenta una tendencia a aumentar su producción de papa y rendimiento teniendo en promedio una producción de 491.179 toneladas por año y un rendimiento de 16 ton/ha.
- Entre 1986-2017 ha aumentado la cantidad de área de tierra cultivada en 2.000 hectáreas y la producción de papa en 200.000 Toneladas, con tendencia continuar subiendo, en la zona papera de Boyacá.
- El cambio climático de precipitación y temperatura en general para la zona papera de Boyacá no evidencia relación lineal con el cambio en la producción de papa, por lo que se puede afirmar que no se presenta una fuerte afectación del impacto directo en la producción de papa por cuenta del cambio climático de la zona papera de Boyacá.

RECOMENDACIONES

La importancia que tiene la papa para el desarrollo económico y la mantención de la seguridad alimentaria en Boyacá son temas que merecen seguir siendo profundizados y más ahora con la presencia de cambio climático que ocurre con mayor aceleración a nivel global donde el departamento de Boyacá no es ajeno.

Esta investigación es solo una contribución al departamento desde una visión del clima y su incidencia, por lo cual se sugiere dar continuidad a temas como los siguientes:

- Análisis del aumento de área que se presenta para mantener y aumentar la producción de la papa y que impacto puede tener sobre los ecosistemas de paramo.
- Evaluación del aumento de insumos para mantener y aumentar la producción de papa en Boyacá.
- Análisis del impacto de la industrialización sobre sectores que anteriormente eran cultivadores de papa.
- Identificación de las causas por las que municipios que eran productores de papa hasta el 2001 dejaron de serlo para el siguiente periodo 2002-2017.
- Un análisis más profundo en la zona donde se presenta mayor aumento de temperatura tomando en cuenta no solo la presencia de cementeras, siderúrgicas y termoeléctricas sino analizando otros posibles factores como cambio del uso de suelo, disminución de cobertura vegetal, la circulación vehicular por doble calzada y su relación con ellas.

BIBLIOGRAFÍA

- Adhikari, U., Nejadhashemi, A. P., & Woznicki, S. A. (2015). Climate change and eastern África: A review of impact on major crops. *Food and Energy Security*, 4(2), 110–132. <https://doi.org/10.1002/fes3.61>
- Aranza, Y. R., & Ramírez, K. R. (2016). Boyacá: un contraste entre competitividad, desempeño económico y pobreza, *Núm.245*, 86.
- Asociación Latinoamericana de papa ALAP. (2016). *XXVII Congreso ALAP*.
- Barrientos, J. C., Rondón D., C., & Melo, S. E. (2014). Comportamiento de precios de las variedades de papa Parada Pastusa y Diacol Capiro en Colombia (1995-2011). *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 8(2), 272–286.
- Barrientos, J., & Nústez, C. E. (2014). Difusión de seis nuevas variedades de papa en Boyacá y Cundinamarca (Colombia) entre 2003 y 2010. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 8(1), 126–147.
- Bascopé, A. (2013). Estudio : “Cambio Climático Impacto en la Agricultura Heladas y Sequía.” *Oficina de Estudios y Políticas Agrarias ODEPA*, 38.
- Bonilla, M. H., Cardozo, F., & Morales, A. (2009). *Agenda prospectiva de investigación y desarrollo tecnológico para la cadena productiva de la papa en Colombia con énfasis en papa criolla*. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Bruna, P., & Ortega, M. (2018). Introducción a la evapotranspiración del agua en las plantas cultivadas. *Centro de Transferencia Agroalimentaria*, 8.
- Campo, E. N. C. D. E., Martínez, C. A., Biología, D. De, Nacional, U., La, A., Apartado, M., & Molina, L. (1992). En Dos Variedades De Papa Sometidas a Estrés Hídrico. *Revista Brasileira De Fisiología Vegetal*, 4(1), 33–38.
- Carrera, Guevara-García, P. V., Tamayo-Bacacela, L. C., Balarezo-Aguilar, A. L., Narváez-Rivera, C. A., & Morocho-López, D. R. (2016). Relleno de series anuales de datos meteorológicos mediante métodos estadísticos en la zona costera e interandina del Ecuador, y cálculo de la precipitación media. *Idesia (Arica)*, 34(3), 81–90. <https://doi.org/10.4067/S0718-34292016000300010>

- Cesar, J., & Cortez, O. (2017). Yield of two varieties of papa (*Solanum tuberosum* L.) with the application of black earth and inorganic fertilizers, *4*, 56–62.
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe CEPAL. (2011). Agricultura y cambio climático: instituciones, políticas e innovación. *Seminarios y Conferencias*, (65), 120.
- Condori, B., De La Casa, A., Fernández, A. M., Soratto, R. P., Olarte, S., Mompies, E. J.,... Van Den Berg, M. (2016). *Modelación de la papa en Latinoamérica: Estado del arte y base de datos para parametrización*.
- Consejo Nacional de la Papa. (2011). Diagnóstico de la Cadena Productiva de la papa, (1), 15.
- Consejo Nacional de la Papa. (2014). Encadenamiento de Papa, 9–10. Retrieved from <http://www.boyaca.gov.co/SecFomento/14-agroindustria-y-encadenamientos-productivos/29-cadena-agroalimentaria-de-la-papa>
- Cortés, & Alarcon, J. C. (2016). Impactos del cambio climático sobre las áreas óptimas de nueve cultivos en Cundinamarca Colombia, *21*(2).
- Cortes, C. (2013). Uso del modelo AguaCrop para estimar rendimientos para el cultivo de papa en los departamentos de Cundinamarca y Boyacá. *Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural*, (I3428S/1/08.13), 52. Retrieved from http://documentacion.ideam.gov.co/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=17150&shelfbrowse_itemnumber=18023#
- Cortés, C. (2013). Uso del modelo AquaCrop para estimar rendimientos para el cultivo de papa en los departamentos de Cundinamarca y Boyacá.
- Cramer, L., Huyer, S., Lavado, A., Loboguerrero, A. M., Martínez Barón, D., Nyasimi, M., Wijk, M. T. van. (2017). Métodos propuestos para evaluar el impacto potencial del cambio climático sobre la seguridad alimentaria y nutricional en Centroamérica y la República Dominicana. Retrieved from <https://hdl.handle.net/10568/80049>
- Cruz-Roa, A. F., & Barrios, M. I. (2019). Estimación de datos faltantes de lluvia mensual a través de la asimilación de información satelital y pluviométrica en una cuenca andina tropical. *Idesia (Arica)*, (ahead), 0–0. <https://doi.org/10.4067/s0718-34292018005001601>
- Departamento Administrativo Nacional de Estadística DANE. (2005). Censo Nacional de la papa, 44. Retrieved from https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/agropecuario/enda/ena/censo_papa_villapinzon.pdf

- Departamento Administrativo Nacional de Estadística DANE_ Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural MADR. (2002). I censo nacional del cultivo de papa Departamento de Boyacá, 35.
- Devaux, A., Andrade-Piedra, J., Ordinola, M., Velasco, C., & Hareau, G. (2011). La papa y la seguridad alimentaria en la reegión andina: situación actual y desafíos para la innovación, 10–14.
- Embid, A., & Martín, L. (2017). El Nexo entre el agua, la energía y la alimentación en América Latina y el Caribe Planificación, marco normativo e identificación de interconexiones prioritarias, 71. Retrieved from http://repositorio.cepal.org/handle/11362/41069#.WZom5wDvg6M.mendeley%0Ahttp://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/41069/1/S1700077_es.pdf
- Estupiñan P., L. A. (2014). La provincia en Boyacá : unidad territorial, histórico-funcional de planificación en la gestión del desarrollo regional endógeno, 2004-2011, 33(0120-3053), 163–188.
- Federación Colombiana de Productores de Papa FEDEPAPA. (2010). Acuerdo de Competitividad de la Cadena Agroalimentaria de la Papa en Colombia, 12. Retrieved from <http://www.fedepapa.com/wp-content/uploads/pdf/acuerdo-competitividad-cadena-agroalimentaria-papa.pdf>
- Federación Colombiana de Productores de Papa FEDEPAPA. (2017). BOLETÍN ECONOPAPA No.32, (32), 2. Retrieved from <http://fedepapa.com/Boletines/QUINCENALES/BOLETÍN ECONOPAPA 32.pdf>
- Federación Colombiana de Productores de Papa FEDEPAPA. (2012). La papa, alimento esencial y saludable. *REVISTA PAPA; Órgano Informativo de La Federación Nacional de Productores de Papa*, 26(26), 20. <https://doi.org/0122-2686>
- Federación Colombiana de Productores de Papa FEDEPAPA. (2018). El agricultor y su papel en el país, 43, 48. Retrieved from <http://fedepapa.com/wp-content/uploads/2017/01/REVISTA-43-OK.pdf>
- Fernández, M. E., FONADE, F. financiero de proyectos de desarrollo, & IDEAM, I. de hidrología meteorología y estudios ambientales. (2013). Efectos del cambio climático en la producción y rendimiento de cultivos por sector. *Cambios Climáticos*, 0–49.
- Flückiger, S., Brönnimann, S., Holzkämper, A., Fuhrer, J., Krämer, D., Pfister, C., & Rohr, C. (2017). Simulating crop yield losses in Switzerland for historical and present Tambora climate scenarios. *Environmental Research Letters*, 12(7). <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aa7246>

- Gibergans Báuena, J., (1994). Aproximación a una tipología de lluvias extremas: análisis de las precipitaciones superiores a 100 mm en 24 h. Tesis de licenciatura. Departamento de Astronomía y Meteorología Universidad de Barcelona.
- Gómez, c. p. (2016). Capacidad de adaptación de Colombia a los efectos del cambio climático sobre el agua. *Uptc-igac*, 237.
- González Velandia, K. D., & Galera Gelvez, K. C. (2014). Efectos del cambio climático sobre la producción de papa en el municipio de Villapinzón (Cundinamarca-Colombia) a partir del Enfoque Ricardiano. 231–242. Retrieved from <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=fua&AN=110129500&lang=es&site=ehost-live>
- Haverkort, A. J., Franke, A. C., Engelbrecht, F. A., & Steyn, J. M. (2013). Climate Change and Potato Production in Contrasting South African Agro-ecosystems 1. Effects on Land and Water Use Efficiencies. *Potato Research*, 56(1), 31–50. <https://doi.org/10.1007/s11540-013-9230-4>
- Herrera, C. S., Campos, J., & Carrillo, F. (2017). Estimación de datos faltantes de precipitación por el método de regresión lineal: Caso de estudio Cuenca Guadalupe, Baja California, México. *Investigacion Y Ciencia*, 28, 34–44. Retrieved from <http://www.redalyc.org/pdf/674/67452917005.pdf>
- Hidalgo, M. del M. (2013). La influencia de cambio climático en la seguridad alimentaria. *Cuadernos de Estrategia*, ISSN 1697-6924, N°. 161, 2013 (Ejemplar Dedicado a: Seguridad Alimentaria y Seguridad Global), Págs. 67-89, (161), 67–89. Retrieved from <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4184082>
- Instituto Alexander Von Humboldt. (2014). Informe técnico final de clima insumos y bases de datos sig: levantamiento de inventarios de estaciones meteorológicas en el país, control de calidad de las bases de datos de información climática, análisis de la climatología nacional y generación de prod, 014, 369.
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales-IDEAM (2012). Catálogo de Estaciones HidroMeteorológicas, (20), 1–146.
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales-IDEAM (2014). Atlas climatológico de Colombia. *Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales*, 0. Retrieved from <http://atlas.ideam.gov.co/presentacion/>

- Instituto Geográfico Agustín Codazzi-IGAC.1992.Instituto Geográfico Agustín Codazzi, IGAC. Atlas de Colombia: 321 p. Santafé de Bogotá. 1992
- Lizarazo H., S. P., Hurtado R., G. G., & Rodríguez C., L. F. (2015). Análisis técnico económico de la producción de bioetanol a partir de papa a nivel de laboratorio en Boyacá. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 9(1), 97. <https://doi.org/10.17584/rcch.2015v9i1.3749>
- López, S. K. E. T. (2016). “Impacto de cambio climático en el cultivo de papa (*Solanum tuberosum*) y quinua (*Chenopodium quinoa* Will), (511), 87.
- María, A., Trujillo, T., Ramírez, R. A., Alberto, M., Peña, V., & Ibáñez, A. (2015). Relleno de series diarias de precipitación, temperatura mínima, máxima de la región norte del Urabá Antioqueño *
Fill of daily series of precipitation, minimum and maximum temperature from the northern region of Urabá Antioquia Resumen Introducción. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 6(d), 577–588.
- Martín Vide, J., Llasat Botija, M., & Llasat Botija, M. (2000). Las precipitaciones torrenciales en Cataluña. *Serie Geográfica*, (9), 17–26.
- Martín, R., & Jeres E. (2017). Efecto de las temperaturas en el rendimiento de la papa (*Solanum tuberosum* L.) VARIEDAD ROMANO. *Cultivos Tropicales*, 38(1), 75–80.
- Mesa, J. B. (2009). Cambio climático en Colombia, 1–50.
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural MADR y Gobernación de Boyacá. (2006). *Desarrollo de la fruticultura en Boyacá Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural -MADR Gobernación de Boyacá Fondo Nacional de Fomento Hortofrutícola - FNFH Asociación Hortofrutícola de Colombia -Asohofrucol*. Tunja.
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural MADR. (2017). Cadena de papa Indicadores e instrumentos 2017.
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. (2013). Estudio : “Cambio Climático Impacto en la Agricultura Heladas y Sequía,” 38. <https://doi.org/10.1007/sl0745-009-9237-2>
- Montealegre J. (2007). Fenómenos El Niño y La Niña en Colombia. *Ideam*. Retrieved from <http://www.ideam.gov.co/documents/21021/440517/Modelo+Institucional+El+Niño++La+Niña.pdf/232c8740-c6ee-4a73-a8f7-17e49c5edda0>
- Montealegre J. (2014). Actualización del componente Meteorológico del modelo institucional del IDEAM sobre el efecto climático de los fenómenos El Niño y La Niña en Colombia, como insumo

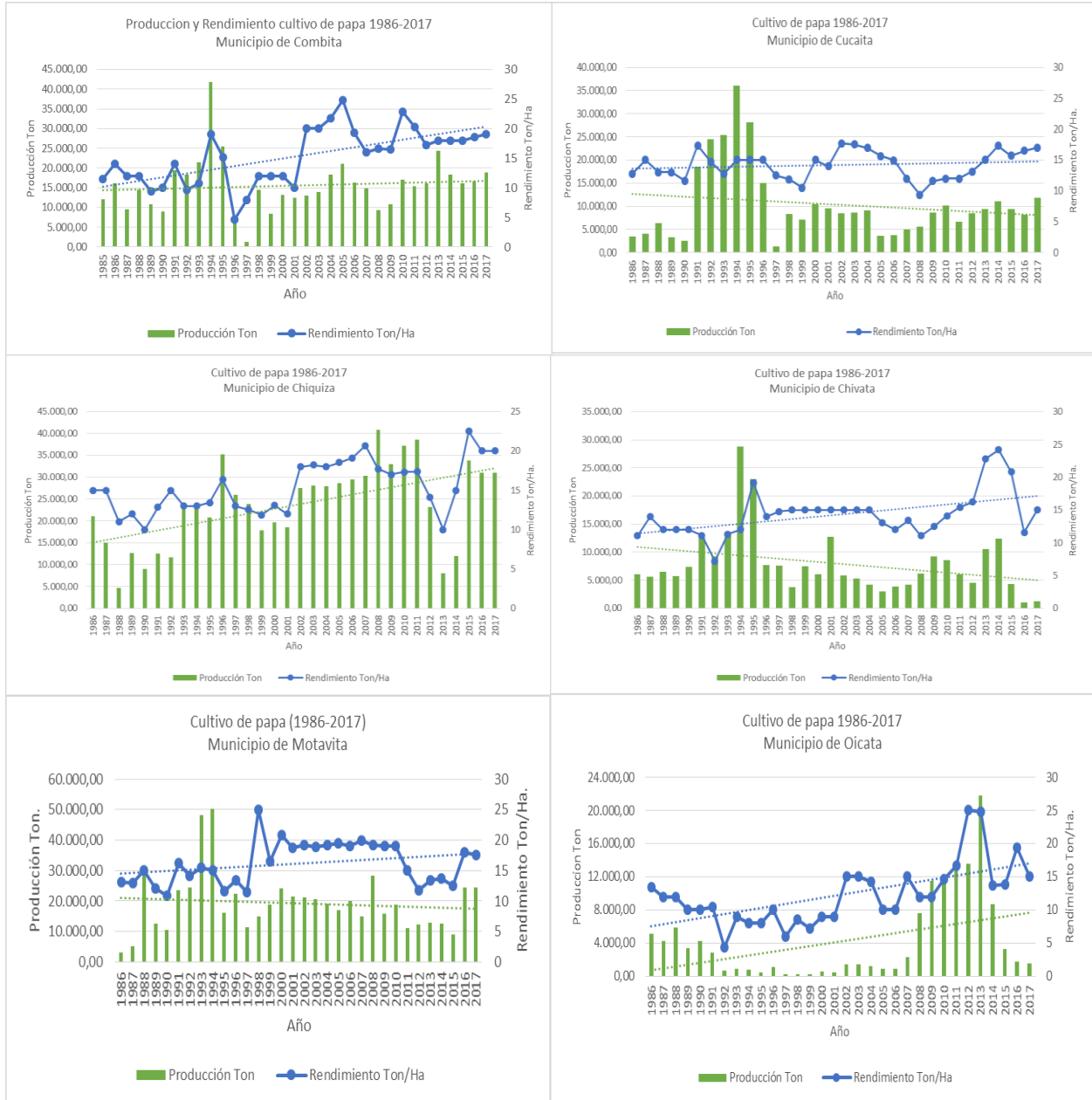
- para el Atlas Climatológico. *IDEAM*.
- Montealegre, J. E. (2009). Estudio de la variabilidad climática de la precipitación en Colombia asociada a procesos oceánicos y atmosféricos de meso y gran escala. *Ideam*, 54.
- Mora Motta, A. (2014). El cambio climático y la inequidad en Colombia: tendencias recientes y perspectivas futuras, 121. Retrieved from <http://www.bdigital.unal.edu.co/40026/>
- Muñoz Jáuregui, A. M., Valdizán Ayala, J., Blanco de Alvarado-Ortiz, T., Gómez Mendoza, J., Alberto Chávez, L., Zavaleta Melgar, J.,... De la Fuente de Diez Canseco, L. (2018). La papa Orgullo del Perú. *Universidad San Ignacio de Loyola*, 20. Retrieved from <http://repositorio.usil.edu.pe/handle/USIL/8835>
- Muñoz, M. (2014). Composición y aportes nutricionales de la papa. *Tecnología*, 36–37.
- Naresh Kumar, S., Govindakrishnan, P. M., Swarooparani, D. N., Nitin, C., Surabhi, J., & Aggarwal, P. K. (2014). Assessment of impact of climate change on potato and potential adaptation gains in the Indo-Gangetic Plains of India. *International Journal of Plant Production*, 9(1), 151–170.
- Ocampo, O. (2011). El cambio climático y su impacto en el agro. *Revista de Ingeniería*, 115–123. <https://doi.org/10.16924/riua.v0i33.184>
- Ochuodho, T. O., Olale, E., Lantz, V. A., Damboise, J., Daigle, J. L., Meng, F. R.,... Chow, T. L. (2014). How do soil and water conservation practices influence climate change impacts on potato production? Evidence from eastern Canada. *Regional Environmental Change*, 14(4), 1563–1574. <https://doi.org/10.1007/s10113-014-0599-7>
- Organización para las Naciones Unidas en la Alimentación y Agricultura FAO, (2014). Adaptación de la agricultura al cambio climático, 24. Retrieved from http://www.fao.org/fileadmin/templates/tci/pdf/backgroundnotes/webposting_SP.pdf
- Organización para las Naciones Unidas en la Alimentación y Agricultura FAO, 2015. Potato yield and production in LA. FAO, Rome. Available at: <http://www.faostat.fao.org> [Accessed December 19, 2015].
- Organización Meteorológica Mundial OMM. 2006. El Clima y la Degradación de las Tierras. OMM-Nº 989. Organización Meteorológica Mundial (OMM). Ginebra, Suiza, 34 p.
- Organización Meteorológica Mundial OMM. 2011. Guía de Prácticas Climatológicas. OMM-Nº 100. Organización Meteorológica Mundial (OMM).Ginebra, Suiza, 128 p.

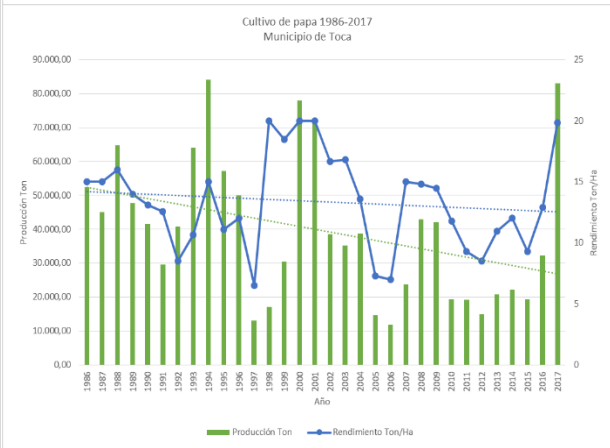
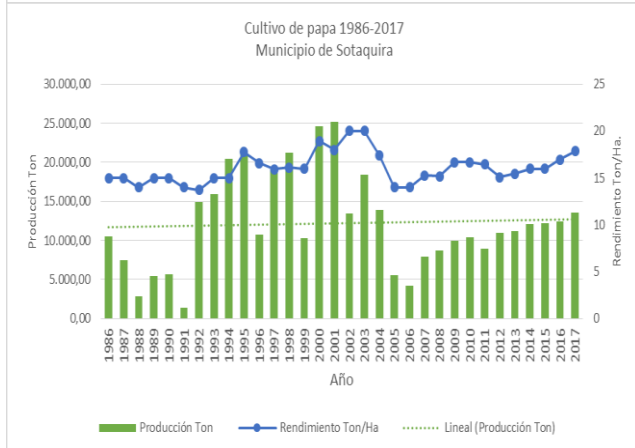
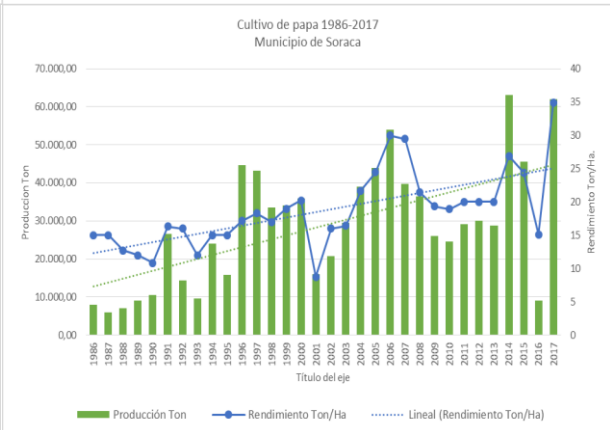
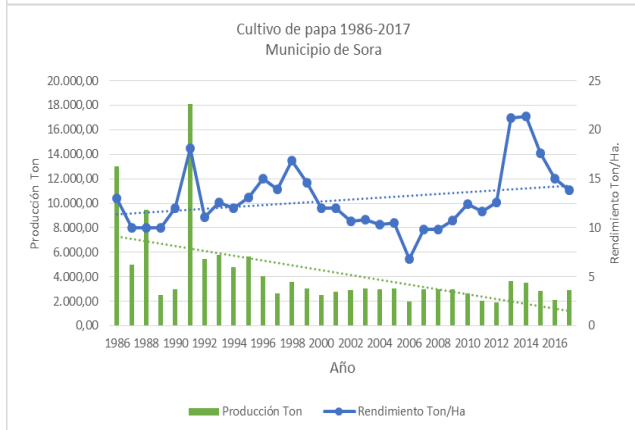
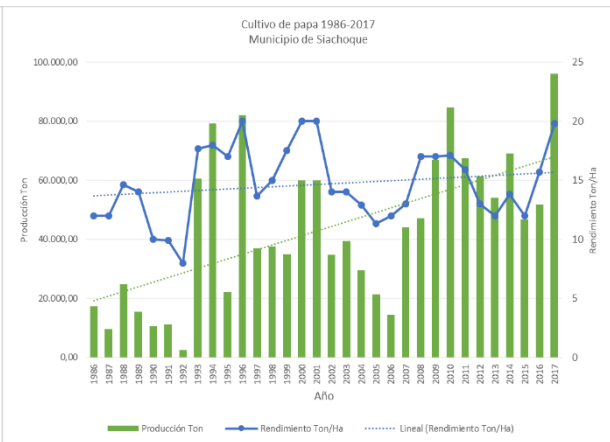
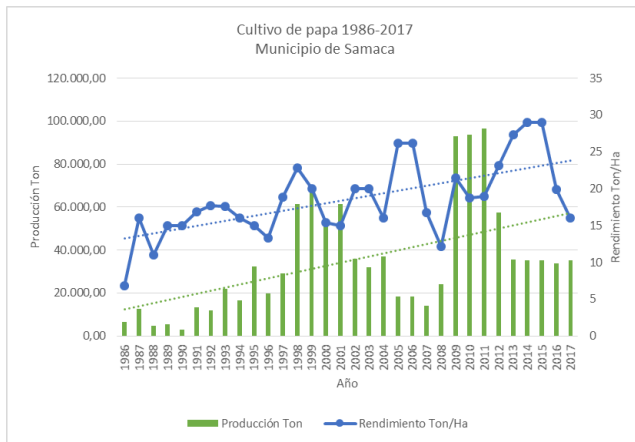
- Pabón, J. (2007). El tiempo y el clima en el territorio colombiano. Documento, Bogotá. Recuperado el 31 de 5 de 2014, de http://www.humanas.unal.edu.co/contextogeo/docs/2007/tiempo_clima_colombia.pdf.
- Palma, H. Z. (2009). Elaboremos Un Estudio De Impacto Ambiental. Retrieved from https://comunidad.udistrital.edu.co/hzuniga/files/2012/06/elaboremos_un_estudio_de_impacto_ambiental.pdf
- Panel Intergubernamental de Expertos en Cambio Climático-IPCC. (2013a). *Cambio climático 2013 Bases físicas Resumen para responsables de políticas. Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.*
- Panel Intergubernamental de Expertos en Cambio Climático-IPCC. (2013b). Glosario.
- Panel Intergubernamental de Expertos en Cambio Climático-IPCC., G. I. de E. sobre el C. C. (2013). Bases Físicas. *Cambio Climático 2013: Bases Físicas. Contribución Del Grupo de Trabajo I Al Quinto Informe de Evaluación Del Grupo Intergubernamental de Expertos Sobre El Cambio Climático*, 27. <https://doi.org/10.1256/004316502320517344>
- Pizarro R., Ausensi P., Aravena D., & Sangüesa C. (2016). Evaluación de Métodos Hidrológicos para la Completación de Datos Faltantes de Precipitación en estaciones pluviográficas de la VII Región del Maule, Chile. *Evaluation*, 1–4.
- Puertas, J., & Soto, B. (1999). Análisis Regional De Las Precipitaciones. *Ingeniería Del Agua*, 6(diciembre), 379–386.
- Pulatov, B., Linderson, M. L., Hall, K., & Jönsson, A. M. (2015). Modeling climate change impact on potato crop phenology, and risk of frost damage and heat stress in northern Europe. *Agricultural and Forest Meteorology*, 214–215, 281–292. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2015.08.266>
- Rodríguez, M. (2001). Análisis de Regresión Múltiple. *Estadística Informática: Casos y Ejemplos Con El SPSS*, 3–17. <https://doi.org/84-7908-638-6>
- Rojas, B. E. O. (2011). Evaluación del desarrollo del cultivo de papa bajo escenarios de variabilidad climática interanual y cambio climático, en el sur oeste de la Sabana de Bogotá, 178.
- Sanabria, J., & Lhomme, J. P. (2013). Climate change and potato cropping in the Peruvian Altiplano. *Theoretical and Applied Climatology*, 112(3–4), 683–695. <https://doi.org/10.1007/s00704-012-0764-1>

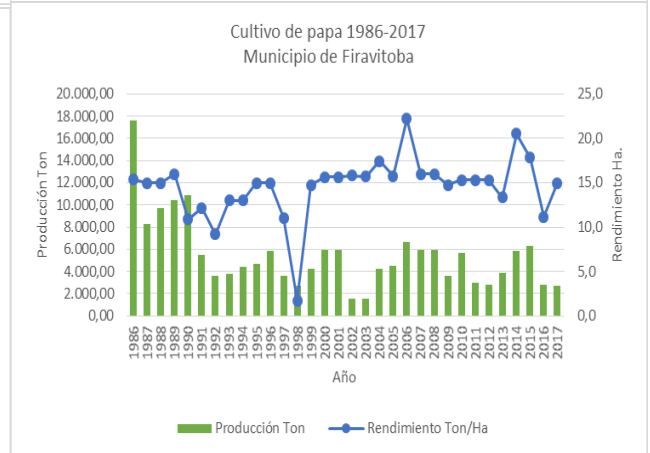
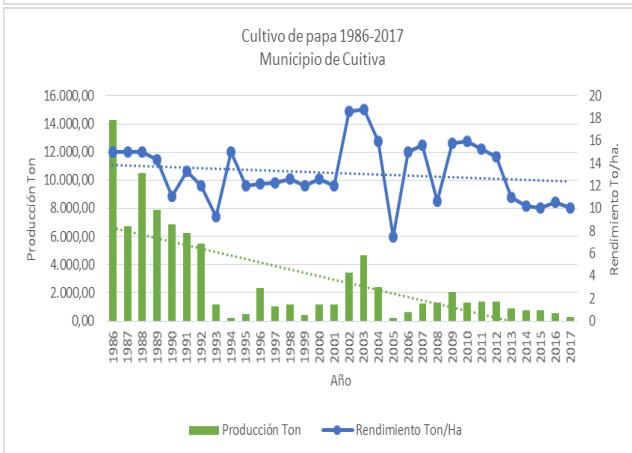
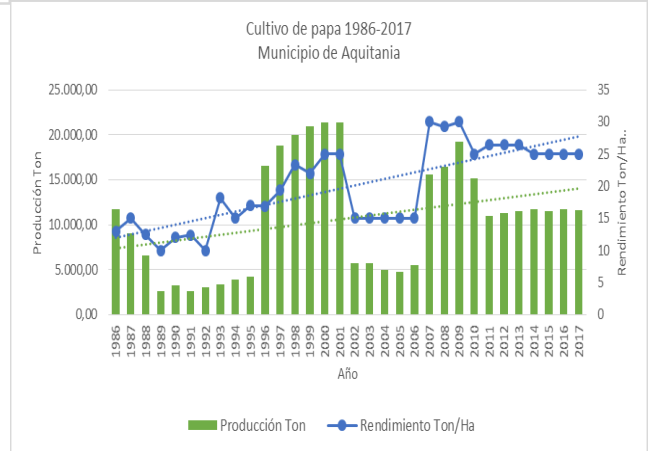
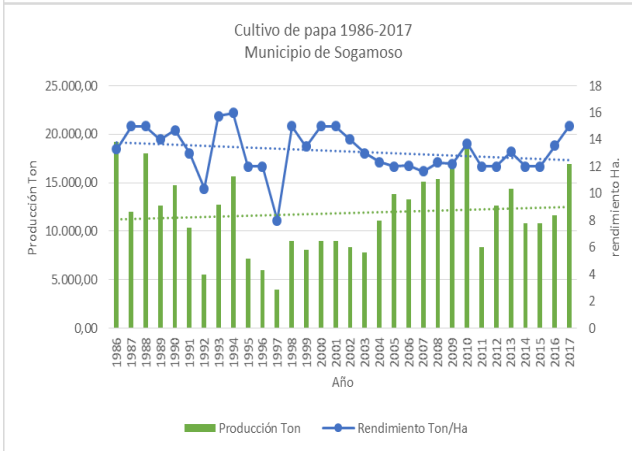
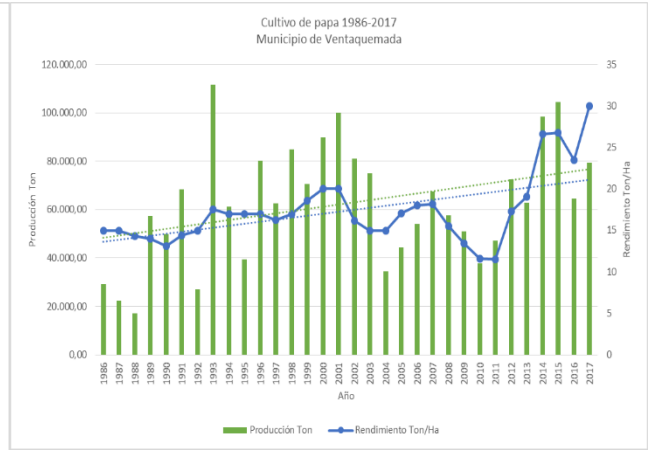
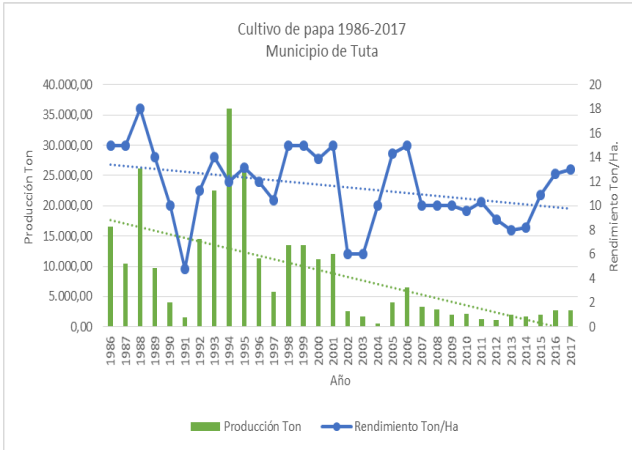
- Schnabel, S. (1998). La precipitación como factor en los procesos hidrológicos y erosivos. *Norba. Revista de Geografía*, 10.
- Shakya, S. K., Goss, E. M., Dufault, N. S., & van Bruggen, A. H. C. (2015). Potential Effects of Diurnal Temperature Oscillations on Potato Late Blight with Special Reference to Climate Change. *Phytopathology*, 105(2), 230–238. <https://doi.org/10.1094/PHYTO-05-14-0132-R>
- Sparks, A. H., Forbes, G. A., Hijmans, R. J., & Garrett, K. A. (2014). Climate change may have limited effect on global risk of potato late blight. *Global Change Biology*, 20(12), 3621–3631. <https://doi.org/10.1111/gcb.12587>
- Stäubli, B., Wenger, R., & Wymann von Dach, S. (2008). La papa y el cambio climático. *InfoResources Focus*, 1/08(1), 1–16. Retrieved from <http://www.simas.org.ni/publicacion/cidoc/3931/inforesources-focus-1-08-la-papa-y-el-cambio-clim-tico>
- Tito, R., Vasconcelos, H. L., & Feeley, K. J. (2018a). Global climate change increases risk of crop yield losses and food insecurity in the tropical Andes. *Global Change Biology*, 24(2), e592–e602. <https://doi.org/10.1111/gcb.13959>
- Tito, R., Vasconcelos, H. L., & Feeley, K. J. (2018b). Global climate change increases risk of crop yield losses and food insecurity in the tropical Andes. *Global Change Biology*, 24(2), e592–e602. <https://doi.org/10.1111/gcb.13959>
- Universidad San Ignacio de Loyola. (2018) La papa, orgullo del Perú. L. de la Fuente de Diez Canseco (Ed) Lima: Fondo Editorial USIL
- Vanlesberg, S., Fibbi, L., Ibarrola, S., & Crotti, C. (2019). Datos meteorológicos, su control y tratamiento, 1–10. Retrieved from <http://frutic.inta.gob.ar/frutic/images/archivos/246a7-analisis-de-datos-meteorologicos.pdf>
- Villamil, H. J. (2005). Análisis de crecimiento del cultivo de papa. *Cevipapa*, 19. Retrieved from <http://corpomail.corpoica.org.co/BACFILES/BACDIGITAL/44470/44470.pdf#page=17>
- Yao Yuxi, Wang Runyuan , Deng Zhenduo, "Han Shulin Xing Toqin. (2010). El Cambio Climático y su efecto sobre el crecimiento y desarrollo de la papa en la region semiárida de la meseta de Loess.

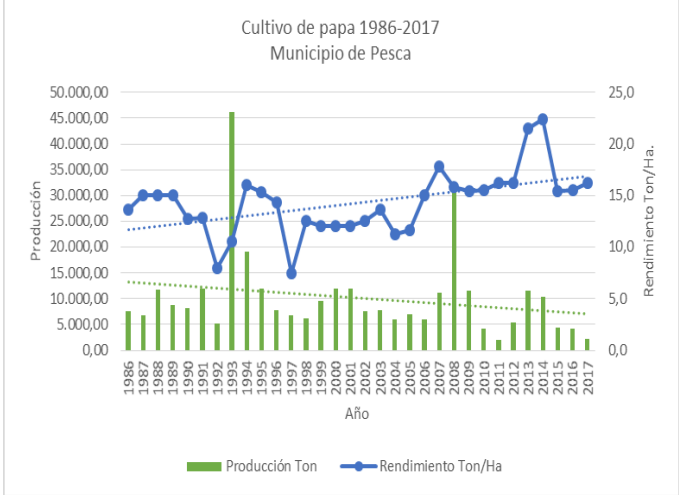
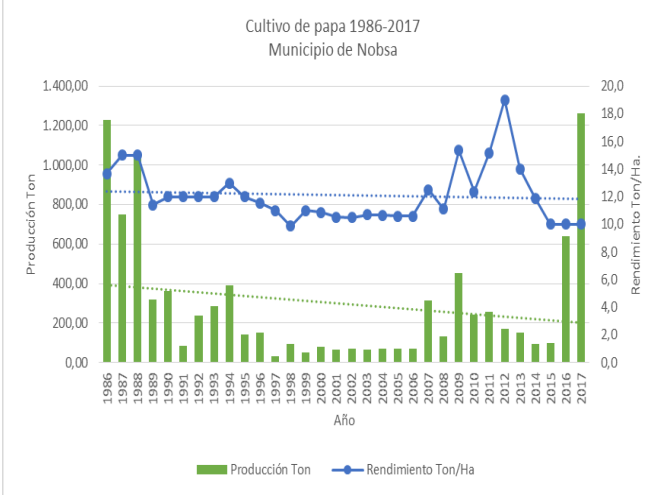
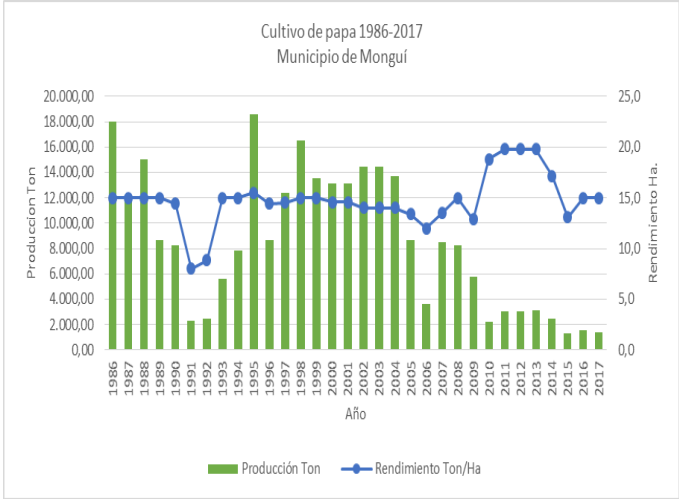
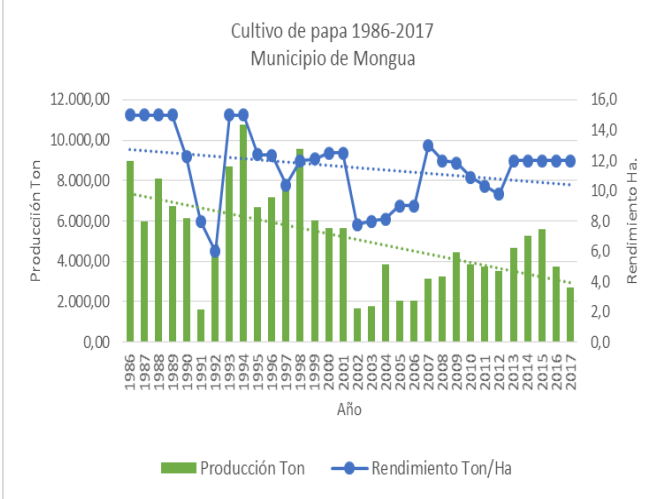
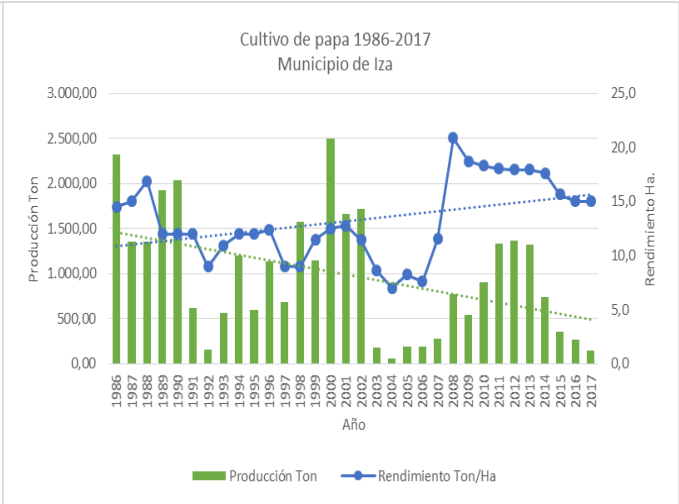
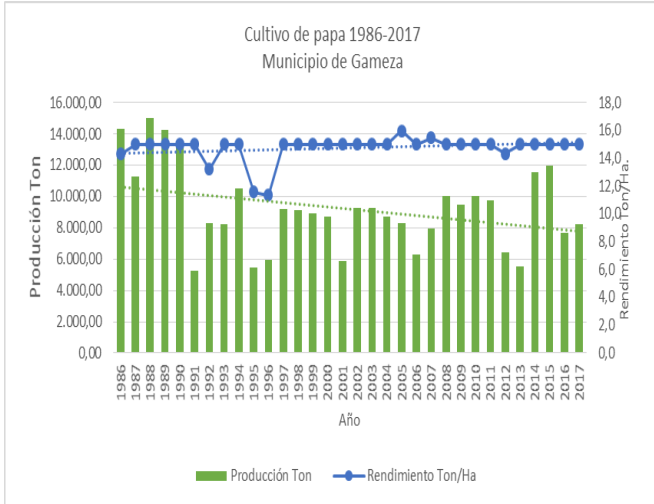
ANEXOS

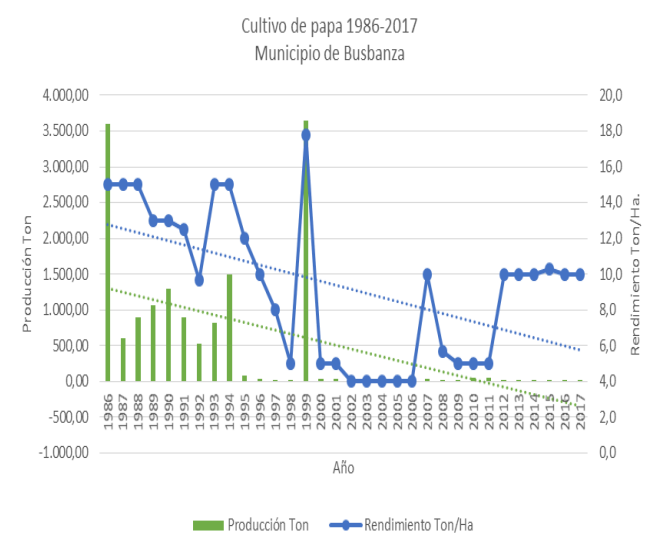
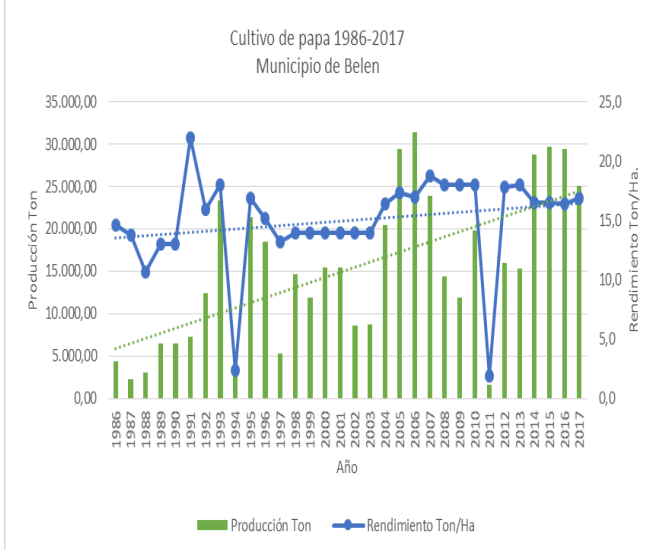
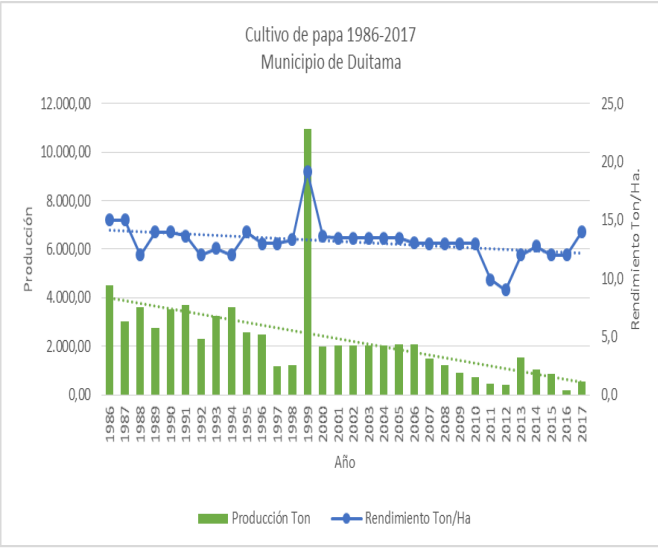
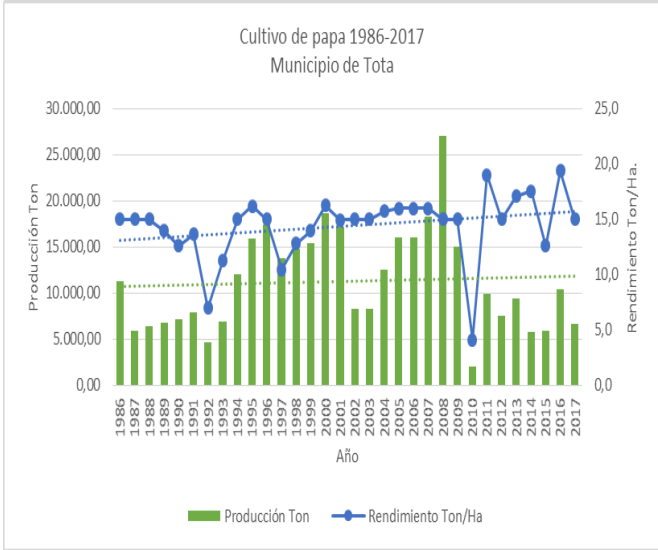
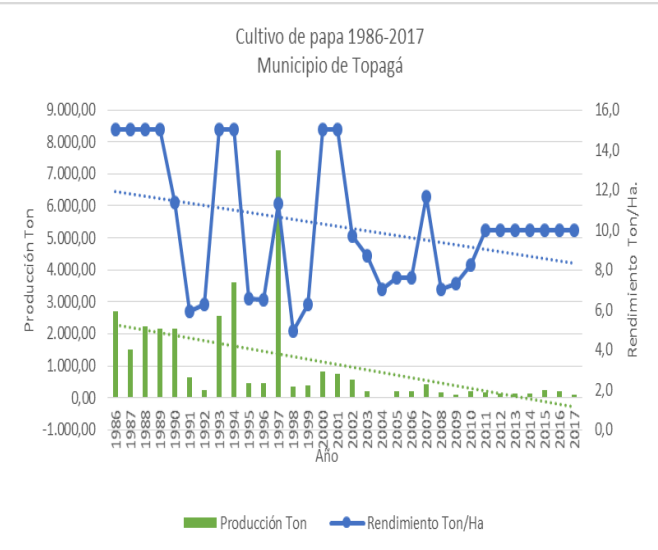
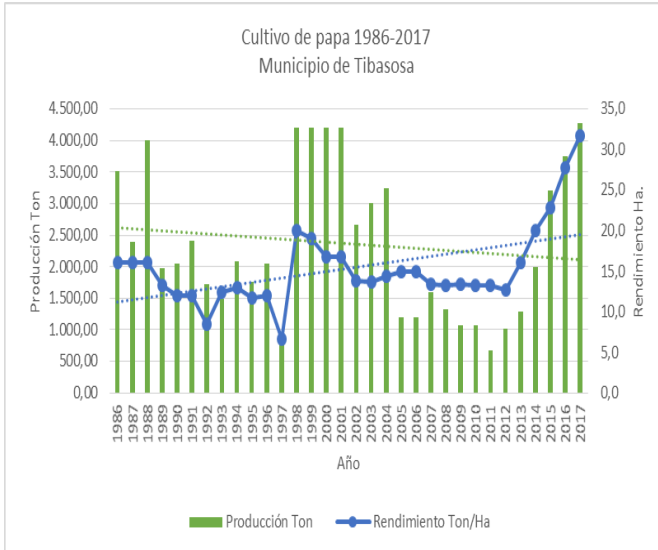
Anexo 1. Producción y Rendimiento de papa por municipios 1986-2017

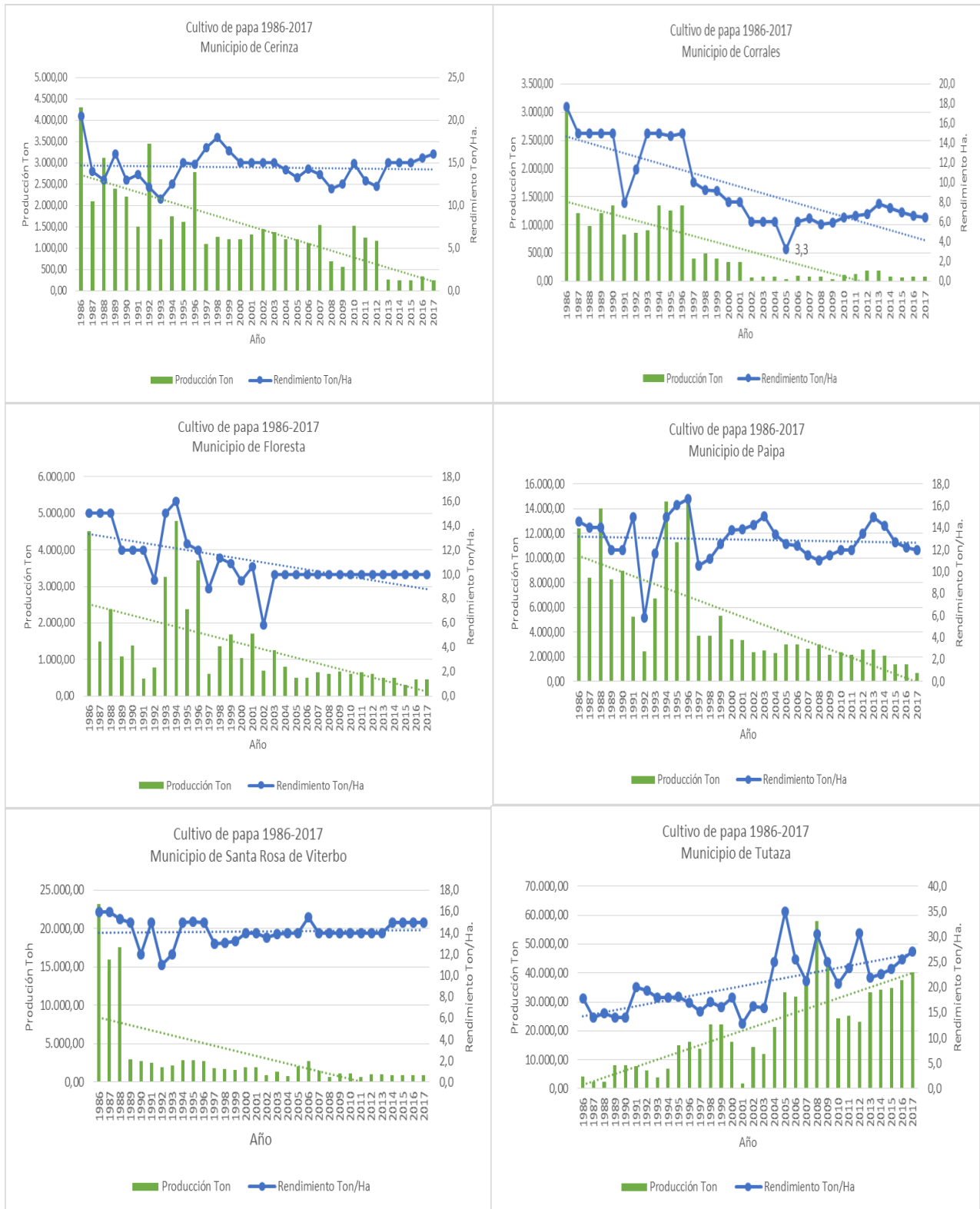




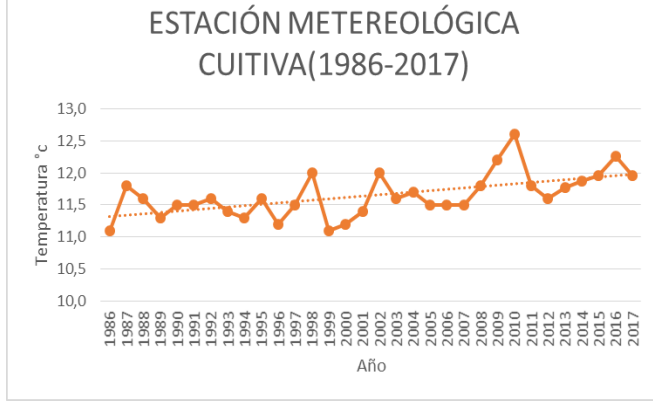
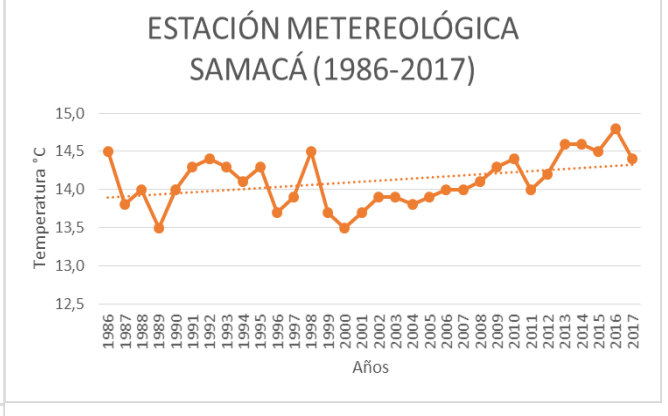
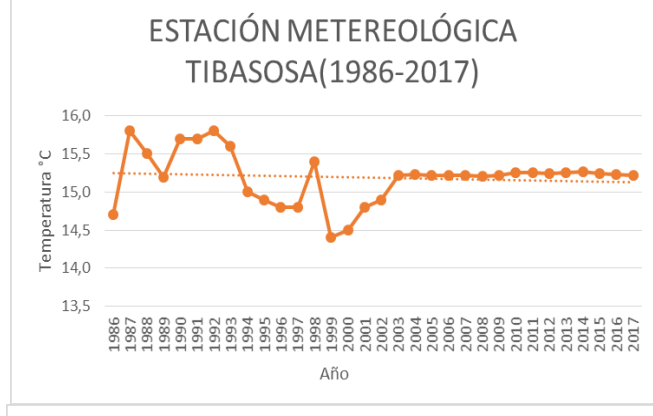
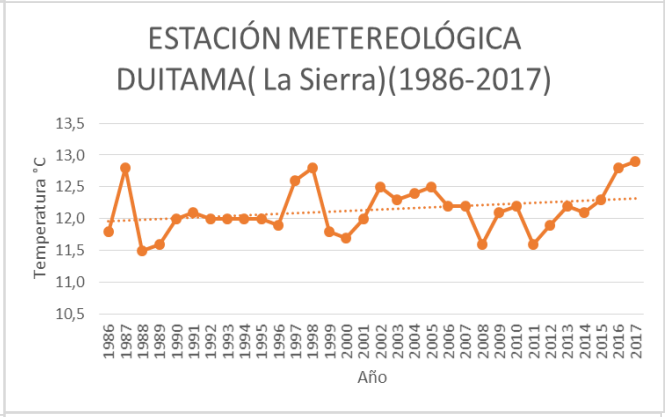
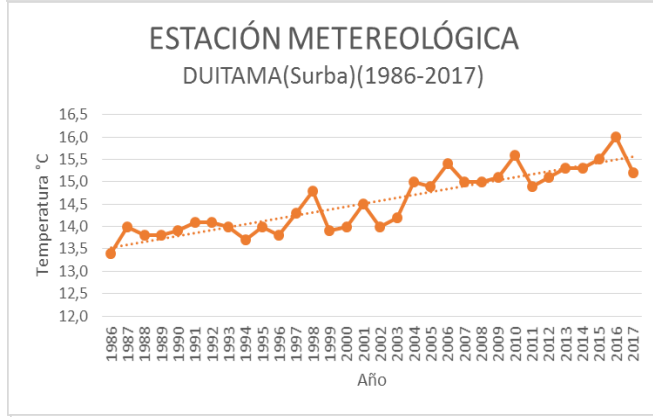
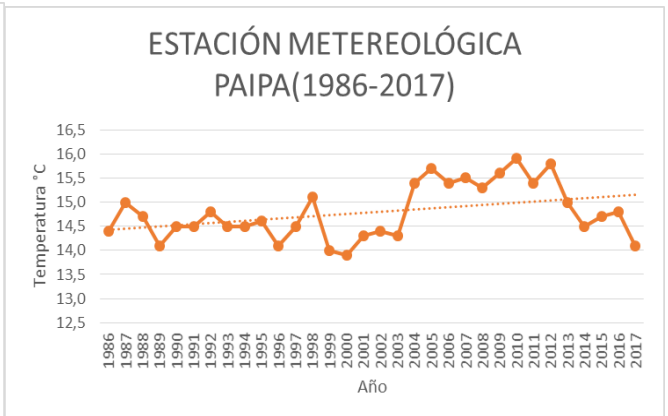
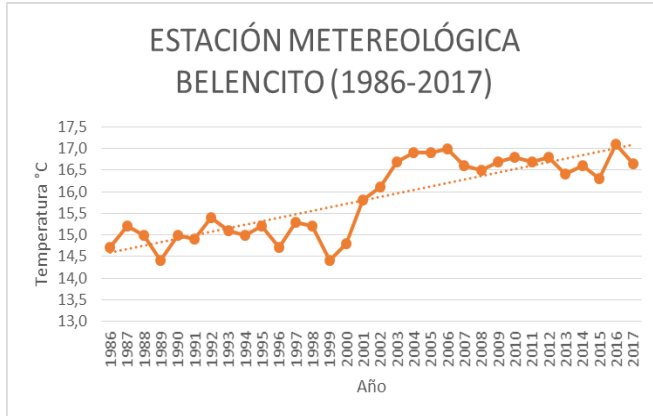








Anexo 2. Comportamiento de la temperatura por estaciones periodo 1986-2017



Anexo 3. Regresión Múltiple de Producción, Cambio Precipitación y Temperatura por municipios

Regresión Múltiple								
Estadísticas de la regresión								
Coefficiente de correlación múltiple	0,26714938							
Coefficiente de determinación R ²	0,07136879							
R ² ajustado	0,01674343							
Error típico	80,3062037							
Observaciones	37							
ANÁLISIS DE VARIANZA								
	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	F	Valor crítico de F			
Regresión	2	16851,6405	8425,82024	1,30651379	0,28401133			
Residuos	34	219268,936	6449,08635					
Total	36	236120,576						
	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	Inferior 95%	Superior 95%	Inferior 95,0%	Superior 95,0%
Intercepción	4,99206877	16,4030543	0,30433776	0,76272557	-28,3429483	38,3270859	-28,3429483	38,3270859
Variable X 1	-1,80628176	1,19834076	-1,50731897	0,14096514	-4,24160318	0,62903967	-4,24160318	0,62903967
Variable X 2	-24,2797763	29,3945884	-0,82599477	0,41456579	-84,0167672	35,4572147	-84,0167672	35,4572147

Fuente: Elaboración propia a partir de datos del IDEAM y del IGAC

Anexo 4. Regresión Lineal Múltiple para Producción, Precipitación y Temperatura Estación Meteorológica de Tunja

Resumen								
<i>Estadísticas de la regresión</i>								
Coefficiente de correlación múltiple	0.50666834							
Coefficiente de determinación R ²	0.25671281							
R ² ajustado	0.20545162							
Error típico	36393.4874							
Observaciones	32							
ANÁLISIS DE VARIANZA								
	Grados de libertad	cuadrado de los cuadrados	F	valor crítico de F				
Regresión	2	1.3266E+10	6632942550	5.00793735	0.01354476			
Residuos	29	3.841E+10	1324485929					
Total	31	5.1676E+10						
	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	Inferior 95%	Superior 95%	Inferior 95.0%	Superior 95.0%
Intercepción	-754083.51	314526.632	-2.39751879	0.02316914	-1397362.7	-110804.318	-1397362.7	-110804.318
Variable X 1	83.2008623	38.0271484	2.18793325	0.03688047	5.42661114	160.975113	5.42661114	160.975113
Variable X 2	56540.5082	23540.2599	2.40186423	0.02294201	8395.27086	104685.746	8395.27086	104685.746

Anexo 5. Regresión lineal Múltiple para producción, Precipitación y Temperatura Estación La Copa

Resumen								
<i>Estadísticas de la regresión</i>								
Coefficiente de correlación múltiple	0.04771957							
Coefficiente de determinación R ²	0.00227716							
R ² ajustado	-0.06653131							
Error típico	21893.6936							
Observaciones	32							
ANÁLISIS DE VARIANZA								
	Grados de libertad	cuadrado de los cuadrados	F	valor crítico de F				
Regresión	2	31726287.3	15863143.6	0.03309415	0.96748396			
Residuos	29	1.3901E+10	479333818					
Total	31	1.3932E+10						
	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	Inferior 95%	Superior 95%		
Intercepción	58136.7208	83078.8145	0.69977793	0.48964179	-111778.533	228051.975		
Variable X 1	2.83047604	25.0328958	0.11307026	0.91075396	-48.3675445	54.0284966		
Variable X 2	-1557.24438	6321.42694	-0.24634381	0.80715148	-14486.0141	11371.5254		

Anexo 6. Regresión lineal Múltiple de producción, precipitación y temperatura Estación Belencito

Resumen						
<i>Estadísticas de la regresión</i>						
Coefficiente de correlación múltiple	0.193955					
Coefficiente de determinación R ²	0.03761854					
R ² ajustado	-0.02875259					
Error típico	340.725234					
Observaciones	32					
ANÁLISIS DE VARIANZA						
		<i>Grados de libertad</i>	<i>cuadrado de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>valor crítico de F</i>	
Regresión	2	131601.641	65800.8204	0.56679069	0.57350219	
Residuos	29	3366716.87	116093.685			
Total	31	3498318.51				
	<i>Coefficientes</i>	<i>Error típico</i>	<i>Estadístico t</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Inferior 95%</i>	<i>Superior 95%</i>
Intercepción	858.818486	1086.95702	0.79011264	0.43587554	-1364.25824	3081.89521
Variable X 1	0.2852242	0.33383981	0.85437444	0.39990059	-0.39755488	0.96800328
Variable X 2	-50.2656476	68.4388564	-0.73446066	0.46856561	-190.238825	89.7075301