

Capacidad de Adaptación al Cambio Climático de los Sistemas Productivos de Papa en Boyacá

Gloria Lucia Camargo Millán

Universidad de Manizales

Facultad de Ciencias Contables, Económicas y Administrativas

Doctorado en Desarrollo Sostenible

Manizales

Junio de 2022

Capacidad de Adaptación de los Sistemas Productivos de Papa al Cambio Climático en Boyacá**Gloria Lucia Camargo Millán****Trabajo de Grado Presentado como Requisito Parcial para Optar por el Título de *Doctor en Desarrollo Sostenible*****Director:****Ph.D. Jorge William Arboleda Valencia****Co-Director:****Ph. D. Rigaud Sanabria Marín****Universidad de Manizales****Facultad de Ciencias Contables. Económicas y Administrativas****Doctorado en Desarrollo Sostenible****Manizales****Junio de 2022**

DEDICATORIA

*A Dios, quien llena de bendiciones cada día de mi vida, me
acompaña y guía.*

*A mi esposo y mi hijo por ser la motivación para ser mejor en todo
momento.*

A mi madre por ser mi apoyo y ayuda incondicional.

A mi padre por animarme a seguir este camino académico.

*En honor a mi hermosa Ana Lucia, quien fue mi mejor ejemplo en
la vida.*

*A todos aquellos que de alguna forma han apoyado a conseguir
esta meta tan anhelada.*

AGRADECIMIENTOS

Al Ph. D. Jorge William Arboleda Valencia por su permanente acompañamiento y su gran apoyo para lograr esta meta.

Al Ph. D. Rigaud Sanabria Marín por sus oportunas orientaciones y su gran asistencia para alcanzar este fin.

Al Profesor Ciro Alfonso Serna Mendoza por su gran colaboración y por su excelente labor desarrollada durante la dirección del programa Doctoral.

Al Doctor Diego Hernández por su apoyo incondicional y su colaboración como director del programa Doctoral.

A las Ing. Sulma Suárez, Ing. Ligia Vargas y al futuro Ing. Bramdon García por su apoyo en el trabajo de campo y logístico insumo fundamental para el desarrollo de la investigación.

A la Dra. Jenny García, por todos sus valiosos aportes y recomendaciones.

A todos los que de alguna manera contribuyeron en mi formación y que hoy se puede ver consolidada en esta investigación.

TABLA DE CONTENIDO

Introducción	17
Diseño Teórico	18
Título de la Investigación	18
Preguntas de Investigación	18
Descripción del Área Problemática	18
Antecedentes Investigativos	20
Cambio Climático	<u>¡Error! Marcador no definido.20</u>
Adaptación al Cambio Climático	21
Sostenibilidad Agrícola	<u>2425</u>
Seguridad Alimentaria	<u>2628</u>
Prácticas Agrícolas	<u>2729</u>
Cultivo de Papa	<u>¡Error! Marcador no definido.30</u>
Justificación de la Investigación	<u>2832</u>
Objetivos	<u>3135</u>
Objetivo General	<u>3135</u>
Objetivos Específicos	<u>3135</u>
Supuestos y Categorías de Análisis	<u>3235</u>
Supuestos	<u>3235</u>
Categorías de Análisis	<u>3236</u>
Fundamentación Teórica	<u>3337</u>

CAPACIDAD DE ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO DE...

Cambio Climático y Adaptación	<u>3337</u>
Marco de Indicadores de Evaluación de Sistemas de Gestión de Recursos Naturales (MESMIS)	<u>3438</u>
Seguridad Alimentaria	<u>3640</u>
Prácticas Agrícolas	<u>3742</u>
Cultivo de Papa	<u>3944</u>
Diseño Metodológico	<u>4045</u>
Tipo de Investigación	<u>4145</u>
Tamaño de la Muestra (población y muestra)	<u>4146</u>
Estrategias de Muestreos	<u>4247</u>
Procedimiento de la Investigación	<u>4548</u>
Técnicas e Instrumentos	<u>4650</u>
Técnicas de Investigación	<u>4650</u>
Instrumentos	<u>4650</u>
Resultados	<u>5559</u>
Localización de los Municipios Bajo Estudio	<u>5559</u>
Recopilación de información socio productiva de los sistemas de papa	<u>5660</u>
Género	<u>5661</u>
Edad	<u>5762</u>
Años viviendo en la zona	<u>5863</u>

CAPACIDAD DE ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO DE...

Años de experiencia en el Cultivo de Papa	<u>5963</u>
Personas que integran el núcleo familia	<u>5964</u>
Cabeza de familia	<u>6064</u>
Propiedad del terreno	<u>6165</u>
Nivel de Educación	<u>6165</u>
Lugar de venta de la cosecha	<u>6266</u>
Procedencia del recurso económico para la siembra	<u>6266</u>
Pertenencia a asociaciones	<u>6367</u>
Realiza riego de cultivo	<u>6467</u>
Lugar de toma de agua para riego	<u>6468</u>
Forma de realizar el riego	<u>6568</u>
Rotación de cultivos	<u>6569</u>
Agroquímicos empleados	<u>6669</u>
Suelo erosionado	<u>6770</u>
Cambio del clima en los últimos 30 años	<u>6770</u>
Cambio de las precipitaciones en los últimos 30 años	<u>6871</u>
Cambio en los últimos 30 años de la temperatura	<u>6971</u>
Cambio en el brillo solar en los últimos 30 años	<u>6972</u>
Los cambios de condiciones climáticas afectan los cultivos de papa	<u>7072</u>
Conocimiento del concepto cambio climático	<u>7173</u>

CAPACIDAD DE ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO DE...

Como conoció el término de cambio climático	<u>7173</u>
El cambio climático ha afectado al suelo cultivado	<u>7274</u>
Capacitaciones recibidas para disminución del impacto del cambio climático en el cultivo de papa	<u>7274</u>
Entidad que dio la capacitación en reducción de impactos de cambio climático en cultivo de papa	<u>7375</u>
Visitas a Sistemas Productivos	<u>¡Error! Marcador no definido.75</u>
Sistema tecnificado o de riego por goteo	<u>¡Error! Marcador no definido.75</u>
Sistema de Riego Tradicional o por Aspersión	<u>¡Error! Marcador no definido.77</u>
Caracterización factores agua y suelo	<u>7478</u>
Resultados Sistematización, Estandarización de Indicadores	<u>7680</u>
Indicadores del factor Clima	<u>7680</u>
Indicadores del Factor Agua	<u>8085</u>
Indicadores del Factor Suelo	<u>8489</u>
Indicadores del Factor Social	<u>8994</u>
Indicadores del Factor Productivo	<u>96102</u>
Determinación del Índice de Sustentabilidad Agroecológica (ISAE)	<u>102108</u>
Determinación del Análisis Climático	<u>104109</u>
Índice de Disponibilidad Hidro-Ambiental (IDHA) e Índice de Sequía Hidro-Ambiental (ISHA)	<u>113119</u>
Índice de Martonne	<u>124131</u>

CAPACIDAD DE ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO DE...

Índice Holístico de Riesgo e Índice de Adaptación al Cambio Climático	<u>127133</u>
Índice Holístico de Riesgo (IHR)	<u>127133</u>
Índice de adaptación del cultivo de papa al cambio climático (IACC)	<u>129134</u>
Modelo de aplicación con Model Builder	<u>130136</u>
Evaluación de la seguridad alimentaria y análisis de la incidencia del cambio climático en el cultivo de la papa	<u>135140</u>
Fragilidad Climática	<u>135140</u>
Fragilidad del Recurso Hídrico	<u>136141</u>
Fragilidad Socioproductiva	<u>136141</u>
Capacidad de Cambio e Innovación	<u>138143</u>
Conclusiones	<u>142145</u>
Recomendaciones	<u>147150</u>
Referencias	<u>148151</u>
Apéndices	161

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Atributos de los sistemas de gestión sostenibles	40
Figura 2 Indicadores para Establecer los Valores de “Amenaza”, “Vulnerabilidad” y “Capacidad de Respuesta”	56
Figura 3 Promedios de Producción de papa por Provincias del Departamento Boyacá	42
Figura 4 Localización área de estudio	59
Figura 5 Ubicación Estaciones Meteorológicas	110
Figura 6 Precipitación media multianual (periodo 1986-2002)	111
Figura 7 Precipitación media multianual (periodo 2003-2019)	112
Figura 8 Porcentaje de cambio de precipitación (1986 – 2019).	113
Figura 9 Temperatura media multianual (periodo 1986-2002).	115
Figura 10 Temperatura media multianual (periodo 2003-2019)	116
Figura 11 Cambio de Temperatura °C (1986-2019)	117
Figura 12 Modelo de Índice de Adaptación al Cambio Climático.	135
Figura 13 Capacidad de Adaptación al Cambio Climático de los Sistemas Productivos de Papa.	136
Figura 14 Capacidad de adaptación para Colombia a nivel municipal, SIAC.	137
Figura 15 Impacto potencial 2011-2040, SIAC.	137
Figura 16 Índice de Sensibilidad Ambiental según SIAC.	138

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Variables para la evaluación de la sostenibilidad agroecológica para los sistemas productivos de papa en Boyacá	36
Tabla 2 Intervalos de Valores para la Interpretación de Indicadores de Sustentabilidad Agroecológica MESMIS	52
Tabla 3 Propuesta de niveles de sustentabilidad para la evaluación de los sistemas agrícolas	53.
Tabla 4 Clasificación según Martonne.	55
Tabla 5 Relaciones entre Valores IHR, Nivel de Riesgo y Niveles de Resiliencia Socioecológica	57
Tabla 6 Valores de Referencia para el Cultivo de la Papa, de Acuerdo a la Variedad	57.
Tabla 7 Resultados trabajo de campo para muestra de agua superficial, Rio la Chorrera.	78
Tabla 8 Resultados laboratorio para muestra de agua superficial, Rio la Chorrera	78
Tabla 9 Selección y ponderación de indicadores para el Factor Clima (FC) del AE	81
Tabla 10 Selección y Ponderación de Indicadores para el Factor Agua (FA) del AE	85
Tabla 11 Selección y ponderación de indicadores para el Factor Suelo del AE	89
Tabla 12 Selección y Ponderación de Indicadores para el Factor Social.	96
Tabla 13 Selección y Ponderación de Indicadores para el Factor Productivo	102
Tabla 14 Calculo Índice de Sustentabilidad Agroecológica de los Sistemas Productivos de Papa	107
Tabla 15 Precipitación Media Mensual Multianual Para Cada Estación Ubicada en el Área Objeto de Estudio.	119
Tabla 16 Temperatura Media Mensual Multianual Para Cada Estación Ubicada en el Área Objeto de Estudio	121
Tabla 17 Índice de Martonne para los municipios del AE	130
Tabla 18 Vulnerabilidad para los Sistemas Productivos de Papa en el Área de Estudio.	132
Tabla 19 Índice Holístico de Riesgo (IHR) para los Municipios del Área de Estudio.	133
Tabla 20 Índice de Adaptación al Cambio Climático para los Municipios del Área de Estudio.	134
Tabla 21 Criterios Diagnóstico y Puntos Críticos ISAE.	138

LISTA DE GRÁFICAS

Gráfica 1 Participación en el Cultivo por Género.	61
Gráfica 2 Participación por Edad.	62
Gráfica 3 Número de Años Viviendo en la Zona.	62
Gráfica 4 Años de Experiencia en el Cultivo de la Papa.	63
Gráfica 5 Personas que Integran el Núcleo Familiar.	63
Gráfica 6 Condición de Cabeza de Familia.	64
Gráfica 7 Tenencia de los Predios donde se Cultiva.	64
Gráfica 8 Nivel de Educación.	65
Gráfica 9 Lugar de Comercialización de Cosechas.	65
Gráfica 10 Capacidad de Respaldo de Cultivo – Factor Económico.	66
Gráfica 11 Pertenecía a Asociaciones.	66
Gráfica 12 Riego de Cultivo	67
Gráfica 13 Fuentes de agua para riego de cultivos.	67
Gráfica 14 Modalidades de riego de cultivo	68.
Gráfica 15 Rotación de cultivos.	68
Gráfica 16 Uso de agroquímicos.	69
Gráfica 17 Erosión de suelos de cultivo.	69
Gráfica 18 Cambios en el Factor Clima.	70
Gráfica 19 Cambios en el Factor Clima – Precipitaciones.	70
Gráfica 20 Cambios en el Factor Clima – Temperatura.	71
Gráfica 21 Cambios en el Factor Clima – Brillo Solar.	71
Gráfica 22 Grado de Afectación Factor Clima en los Cultivos.	72
Gráfica 23 Conocimiento Concepto de Cambio Climático	72
Gráfica 24 Fuentes de Información sobre Cambio Climático.	73
Gráfica 25 Grado de Afectación del Cambio Climático en el Recurso Suelo.	73
Gráfica 26 Capacitaciones sobre Cambio Climático.	74
Gráfica 27 Entidades que Capacitan sobre Cambio Climático en el AE.	74

CAPACIDAD DE ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO DE...

Gráfica 28 Ponderación de Indicadores Factor Clima para el AE.	83
Gráfica 29 Ponderación de Indicadores para el Factor Agua del AE.	87
Gráfica 30 Ponderación de indicadores para el factor Suelo.	92
Gráfica 31 Ponderación de Indicadores para el Factor Social.	94
Gráfica 32 Ponderación de indicadores Factor Productivo.	105
Gráfica 33 ISAE por Municipio.	108
Gráfica 34 IDHA e ISHA, Municipio de Tunja.	122
Gráfica 35 IDHA e ISHA, Municipio de Ventaquemada.	123
Gráfica 36 IDHA e ISHA, Municipio de Toca	124
Gráfica 37 IDHA e ISHA, Municipio de Samacá	124
Gráfica 38 IDHA e ISHA, Municipio de Siachoque	125
Gráfica 39 IDHA e ISHA, Municipio de Saboyá	126
Gráfica 40 IDHA e ISHA, Municipio de Arcabuco	126
Gráfica 41 IDHA e ISHA, Municipio de Belén	127
Gráfica 42 IDHA e ISHA, Municipio de Tutazá	128
Gráfica 43 IDHA e ISHA, Municipio de Úmbita	129
Gráfica 44 Índice de Martonne.	131

Lista de Apéndices

Apéndice A. Tablas de Producción de papa	162
Apéndice B. Encuestas	168
Apéndice C. Información meteorológica	208
Apéndice D. Directorio Agricultores	258
Apéndice E. Visitas Sistemas Productivos	259

Resumen Ejecutivo

Esta investigación tuvo como finalidad determinar la capacidad de adaptación que tienen los sistemas productivos de papa al cambio climático en el departamento de Boyacá, partiendo de la premisa, de que los agricultores realizan prácticas agrícolas buscando la sostenibilidad y la sustentabilidad, y que es viable identificar vulnerabilidades y oportunidades de adaptación. Para lo cual fue necesario, definir la población de interés en función de la producción municipal histórica de papa (Apéndice A), seleccionando diez (10) municipios representativos de cinco (5) provincias del departamento, donde se cuenta con la mayor producción por hectárea, posteriormente se consiguió información referente a los factores clima, agua, suelo, social y productivo.

Debe aclararse, que la información climatológica se obtuvo, a partir de información histórica de estaciones meteorológicas del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), la del agua a partir de datos secundarios de los objetivos de calidad del agua fijados por las autoridades ambientales de Boyacá, y primarios, de un muestreo a un cuerpo de agua, la de suelo a partir de información del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) (2005), la información productiva y social, se recopiló por medio de una encuesta aplicada a los agricultores; además se realizaron visitas de campo a dos sistemas productivos en el municipio de Toca, con el fin de comparar el manejo de la tecnología de riego.

Lo anterior, con el fin de determinar y contrastar para cada uno de los municipios del estudio, entre otros índices los siguientes: el Índice de Sustentabilidad Agroecológica (ISAE), el Índice Holístico de Riesgo (IHR) y el Índice de Adaptación al Cambio Climático (ACC), para finalmente determinar vulnerabilidades, puntos críticos, y proponer oportunidades de adaptación al cambio climático para los sistemas productivos de la papa en Boyacá.

Adicionalmente, con la información de precipitación y temperatura media para treinta y cuatro años (1986 a 2019), se estableció el cambio de temperatura y el porcentaje de variación de

CAPACIDAD DE ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO DE...

precipitación, diferenciando entre dos series de diecisiete años, generando como productos mapas de isoyetas, de % de variación de precipitación, de isotermas y de cambio de temperatura.

Como conclusiones, se encontró que la mayoría de los municipios tienen entre baja y media capacidad de adaptación al cambio climático, y como oportunidades de adaptación al cambio climático se encontraron: implementar practicas agroecológicas, uso de buenas prácticas agrícolas, incluido el manejo integrado de plagas, uso de semillas genéticamente modificadas resistentes a condiciones de estrés, siembra de papas nativas, diversificación de cultivos, modificación de fechas de siembra y realizar una adecuada gestión del recurso hídrico (sistemas de riego tecnificados, implementar reservorios), buscando garantizar la seguridad alimentaria.

Respecto a los cambios de temperatura para el periodo de años comprendido entre 1986 y 2019 para los municipios bajo estudio, se encuentran entre -0.2 y 2 °C, y el porcentaje de cambio de precipitación, entre el -22% y el 29.1%.

Palabras Clave

Adaptación, Cambio Climático, Sistema Productivo, papa, Boyacá

Introducción

A nivel mundial, la adaptación al cambio climático es una necesidad latente, la cual debe ser adoptada por todos los sectores productivos, incluso en las actividades básicas del ser humano. La mayoría de las acciones generan afectaciones al ambiente, desde el punto de vista de producción, se debe propender por buscar alternativas que reduzcan los impactos ambientales.

En lo que se refiere al sector agrícola, los productores deben enfocarse en realizar sus procesos de una manera sostenible. Usando dinámicas productivas que sean armónicas con el entorno natural, así mismo que brinden a la familia seguridad económica y alimentaria.

Esta investigación se propuso, partiendo del supuesto de que el cambio climático está afectando las condiciones productivas agrícolas, y que, para el caso específico del departamento de Boyacá, segundo productor de papa en Colombia, es necesario estimar la capacidad de adaptación al cambio climático de los sistemas productivos de papa.

Para lo anterior se requirió desarrollar un diagnóstico de las condiciones de los sistemas productivos de papa en Boyacá, así como estimar su sostenibilidad ambiental y finalmente definir las vulnerabilidades y las oportunidades de adaptación al cambio climático.

En este documento se presentan los siguientes capítulos, el primero relacionado con el diseño teórico de la investigación, mostrando aspectos como las preguntas de investigación, la descripción del área problemática, los antecedentes investigativos, la justificación y objetivos; En el segundo capítulo se presenta la fundamentación teórica de la investigación; En el tercer capítulo se muestra el diseño metodológico empleado para el desarrollo de esta tesis de grado; En el cuarto capítulo se presenta el análisis de los resultados obtenidos en esta investigación, finalmente en la última sección se presentan las respectivas conclusiones y recomendaciones fruto de este proyecto.

Diseño Teórico

Este trabajo de investigación doctoral considero los siguientes elementos de construcción estructural, en su sustento teórico.

Título de la Investigación

Capacidad de adaptación al cambio climático de los sistemas productivos de papa en Boyacá

Preguntas de Investigación

La investigación busca responder a las siguientes preguntas:

¿Qué tan sostenibles, desde el aspecto agroecológico, son los sistemas productivos de papa en Boyacá?

¿Cuáles serán las vulnerabilidades y oportunidades de adaptación al cambio climático de los sistemas productivos de la papa en Boyacá?

Descripción del Área Problemática

En Colombia, “El cultivo de papa es la principal actividad agrícola de clima frío, dispersa en unos 250 municipios con predominio de agricultores minifundistas quienes, en general, tienen un limitado acceso a los factores de producción, servicios públicos, educación, salud, asistencia técnica agrícola, obras de infraestructura y recreación.” (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial; Fedepapa, 2004, p. 13).

De otro lado, Sarandón y Flores (2014) exponen que la producción verde agrícola presenta problemáticas como: el uso de agroquímicos, la contaminación por plaguicidas, la pérdida de capacidad productiva del suelo, el deterioro de cuerpos de agua, la pérdida de biodiversidad y el alto consumo de energía; estas se solventan con la implementación de prácticas de agroecología.

Corroborando lo anterior, Useche de Vega y Márquez-Girón (2015), establecieron que los agricultores de papa en el páramo de Rabanal, Boyacá, Colombia, utilizan agroquímicos y plaguicidas,

CAPACIDAD DE ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO DE...

que afectan el suelo y a los cuerpos de agua. Como forma de contrarrestar esta situación, las investigadoras proponen implementar prácticas agroecológicas.

En cuanto a las adaptaciones, respuestas a la exposición a riesgos ambientales asociados a la vulnerabilidad humana, Smit y Wandel (2006) revisan el concepto de adaptación de las comunidades al cambio climático, incluyendo lo relacionado con vulnerabilidad y riesgo; encontrando que su principal aplicación es la formulación de políticas de gestión del riesgo, ordenamiento del territorio, mejora de medios de subsistencia y gestión de los recursos naturales.

Con referencia al cambio climático, la UE (Union Europea) (2009), afirma que este afecta a todos los países, siendo los más vulnerables los menos desarrollados. En el futuro se espera escasez de alimentos y de agua, presencia de enfermedades y degradación ambiental, con su consecuente pérdida de biodiversidad y disminución del funcionamiento de los ecosistemas, aumento del nivel del mar, degradación del suelo, riesgos de inundaciones y sequías y la desertificación avanzada, lo que impactará a miles de millones de personas de los países en desarrollo.

En las regiones donde la escasez de agua ya es una preocupación se espera que, el cambio climático intensifique los riesgos existentes Iglesias y Garrote (2015), particularmente. Lo que impactará, a largo plazo, directamente a los cultivos, la ganadería y la pesca; muchos de estos impactos ya son medibles Campbell et al. (2016). Por otra parte, Los estudios de impacto climático están sujetos a los de rendimiento de los cultivos, de tal forma que se evidencian estos impactos a través del modelamiento climatológico de los cultivos; no obstante, debe considerarse el incluir los diferentes componentes de los sistemas productivos agrícolas, como las dimensiones de la seguridad alimentaria.

En este mismo sentido e incluyendo el aspecto del recurso hídrico, Ponce et al. (2017) afirman que “La agricultura es uno de los sectores económicos más vulnerables a los impactos del cambio climático, específicamente aquellos relacionados con los cambios esperados en la disponibilidad de agua” (p. 1811). Insumo indispensable en el efectivo ejercicio del sector productivo.

CAPACIDAD DE ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO DE...

Respecto a las estrategias para la adaptación al cambio climático en Colombia, Costa Posada (2007), recomienda realizar una reconversión hacia los sistemas agropecuarios, con uso eficiente del agua en regiones con poca oferta hídrica.

Finalmente, según predicciones del IDEAM et al. (2015), la temperatura para algunas regiones del Departamento de Boyacá, para el año 2100, podrá aumentar hasta en 2.4°C; respecto a la precipitación los cambios, en general, no serán significativos, inferiores al 3.19%. Siendo los sectores con posible afectación el agropecuario y el vial.

Antecedentes Investigativos

Son múltiples los estudios que se han adelantado entorno al cambio climático, adaptación al cambio climático, sostenibilidad agrícola, seguridad alimentaria, prácticas agrícolas y cultivo de papa, dentro de los cuales se destacan los siguientes aportes:

¿Cómo afecta el Cambio Climático a los cultivos?

Estudios a nivel global

En Nicaragua Morales-Casco y Zuñiga-González (2016), indagaron acerca de los principales impactos causados por el cambio climático en la agricultura y la seguridad alimentaria entre 2012 y 2015, para el corredor seco, concluyendo que estos han sido negativos en lo referente a la temperatura y a la precipitación, colocando en riesgo la disponibilidad de alimentos y el acceso al recurso hídrico.

En contraste, Rivera et al. (2016) en México utilizaron veintitrés (23) modelos para estimar el cambio climático a nivel regional y estatal en Tabasco, determinando que a nivel regional este es variable, de tal forma que en unas regiones es positivo y en otras negativo, finalmente para este Estado este fue de 0,5% para la precipitación y para la temperatura se encontró que los días son más calientes que las noches en 0.6 °C.

Estudios a nivel nacional

CAPACIDAD DE ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO DE...

García et al. (2012), en su investigación estimaron la vulnerabilidad del recurso hídrico respecto al cambio climático, centrandose en variabilidad climática.

Por otra parte, Córtes y Alarcón(2016) en su estudio de impactos del cambio climático en areas óptimas para nueve cultivos en el Departamento de Cundinamarca, aplicaron modelos basados en escenarios optimistas y pesimistas determinando que la arveja y la papa desaparecerian al requerir bajas temperaturas y baja precipitación, no encontrandose areas proyectadas para su cultivo.

Estudios a nivel local

Sierra Herrera (2019) determinó el impacto del cambio climático sobre el cultivo de papa en Boyacá, en el periodo comprendido entre los años 1986 a 2017, a partir de una selección de series, llenado de datos faltantes y estimación de medias de variables climáticas, análisis de producción y de rendimiento del cultivo, identificando cambios en la temperatura entre -1.2 y 1.6 °C, en la precipitación entre -40 y 60%, y en la producción entre -100 y 260%, no encontrando correlación entre las tres variables para el coeficiente de correlación lineal de Pearson.

¿Cómo es la Adaptación al Cambio Climático?

Estudios a nivel global

Ndambiri et al. (2014), realizaron una investigación con doscientos cuarenta y seis (246) agricultores del distrito de Kyuso, en Nairobi, Kenya, acerca de su percepción y adaptación al cambio climático, determinando que el 94% percibe que el clima está cambiando y el 85% de estos, se ha adaptado, de tal forma que los servicios, el acceso al crédito, los cambios en la temperatura y las precipitaciones tienen una influencia significativa en la probabilidad de su percepción y/o adaptación al cambio climático.

Por otra parte, Phillipo et al. (2015), en África Subsahariana contrastaron las estrategias de adaptación en zonas agroecológicas, determinando los factores relacionados con la adaptación a la variabilidad climática y al cambio climático, encontrando que, dentro de las prácticas de adaptación

CAPACIDAD DE ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO DE...

están: manejo de cultivos, manejo de ganado, diversificación de estrategias de medios de vida, manejo del uso del suelo, disponibilidad de los servicios de extensión, información sobre el cambio climático y la membresía en las redes sociales.

En contraste en Chile, Montalba et al. (2015), evaluaron variables relacionadas con niveles de ocurrencia y de intensidad de sequías (amenaza) y la vulnerabilidad de los sistemas campesinos para ciento setenta y siete (177) familias de la región de la Araucanía, de las etnias mapuches, chilenos y descendientes de colonos europeos, así como su capacidad de respuesta, determinándose un Índice de Riesgo Socio Ecológico (IRSE), entre 0 y 2, de tal forma que, un 48% de los predios presentó valores bajos (0-0.7), y los demás, niveles medios (0.7-1.3), lo cual puede ser vinculado a altos grados de resiliencia.

Así mismo, Iglesias y Garrote (2015), caracterizaron los principales riesgos climáticos para las regiones europeas y evaluaron las estrategias de adaptación al cambio climático; reconocieron el esfuerzo y el beneficio de una serie de medidas agronómicas y políticas, cuyo objetivo era desarrollar planes concretos de adaptación al cambio climático dando respuesta a retos regionales previamente definidos.

Adicionalmente, Mandryk et al. (2017), plantearon un modelo multiobjetivo para evaluar a nivel de predio las medidas de adaptación al cambio climático en función de los objetivos del agricultor, con el fin de generar planes agrícolas alternativos y evaluar los impactos de las medidas de adaptación, en términos de rendimiento agrícola, buscando maximizar el resultado económico (margen bruto) y la calidad del suelo (suelo orgánico).

Posteriormente, Mustafa et al. (2017), reconocieron empíricamente el proceso de adaptación al cambio climático y sus diferentes etapas, encontrando estrategias de adaptación a nivel de finca, identificándose tres etapas de adaptación: percepción, intención y adaptación, donde el 71.4% de los agricultores percibía el cambio climático, el 58.5% tenía la intención de adaptarse, mientras que el 40.2% realmente lo hizo.

CAPACIDAD DE ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO DE...

Finalmente, Diendere (2019), desarrolló una investigación referente a las percepciones y decisiones de adaptación al cambio climático de doscientos (200) agricultores de Bassila en el norte de Benin, Africa Sub Sahariana, utilizando un modelo de doble obstáculo, una regresión logística y una regresión binomial negativa, encontrándose que las vías más efectivas de incrementar la probabilidad de adaptación al cambio climático, son asegurar los derechos sobre la tierra, y apoyar la creación y el fortalecimiento de las organizaciones agrícolas locales.

Estudios a nivel nacional

En el departamento del Tolima, Andrade et al. (2013), formularon estrategias de adaptación al cambio climático en sistemas de producción agrícola y forestal para sistemas de producción de cultivos anuales, cultivos perennes, plantaciones forestales, incluidas las respectivas prácticas de manejo.

En contraste, en el departamento de Santander, López y Villamizar (2020) en su investigación determinaron estrategias de adaptación al cambio climático basadas en medios de vida para 29 fincas de agricultores de la microcuenca Susali, en el Cerrito-departamento de Santander, trabajando en grupos focales de 40 a 60 años y demás de 60 años, encontrando varias falencias que dificultan la adaptación.

Adicionalmente, en el municipio de Junin, departamento de Cundinamarca, Sierra Roncancio et al. (2015), trabajaron en dos localidades, donde se implementaron parcelas demostrativas empleando silvicultura y policultivos como estrategias de adaptación al cambio climático.

Finalmente, para la subcuenca del rio Terán en el municipio de Yacopi en el departamento de Cundinamarca, Escobar y Sánchez (2020), desarrollaron una propuesta de medidas de adaptación al cambio climático desde el territorio enfocada a la conservación y recuperación de bosques, conservación de nacimientos, manejo productivo, seguridad alimentaria, saneamiento básico y gestión del riesgo.

Estudios a nivel local

CAPACIDAD DE ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO DE...

Para Boyacá, Novoa (2020), determinó los principales impactos generados por el cambio climático en los cultivos de papa, centrandose en las causas y soluciones el periodo de estudio fue del año 1998 a 2018.

¿Cómo es la Sostenibilidad Agrícola?

Estudios a nivel global

En la provincia de Misiones, Argentina, Sarandón et al. (2006), desarrollaron y usaron indicadores para evaluar la sustentabilidad de agroecosistemas de pequeños productores de autoconsumo en cinco (5) fincas, considerando aspectos económicos, ecológicos y socioculturales; encontrándose claras tendencias en la sustentabilidad general, además, la producción para autoconsumo resultó ecológica, con baja utilización de insumos externos, compatible culturalmente con la conciencia de los productores y generar una dieta adecuada.

En contraste, en México Speelman et al. (2007), realizaron una evaluación de la sostenibilidad mediante el MESMIS (Marco de Indicadores de Evaluación de Sistemas de Gestión de Recursos Naturales), por sus siglas en inglés, a veintiocho (28) estudios de caso, encontrándose que es una metodología efectiva.

Por otro lado, en la región de Camargue al sur de Francia, Delmotte et al. (2017) aplicaron el enfoque participativo para evaluar el potencial de los nuevos sistemas agrícolas, con el fin de conciliar la sostenibilidad ambiental y la viabilidad económica, contribuyendo a la seguridad alimentaria local y global, específicamente para el cultivo de arroz, empleando escenarios narrativos, para finalmente evaluarlos de manera integral, con el uso de indicadores y de un modelo de bioeconomía.

Finalmente, en Ecuador, en los cantones de Cayambe y Pedro Moncayo, Chávez-Caiza y Burbano-Rodríguez (2021), analizaron el impacto del cambio climático en sistemas de producción agroecológica, orgánico y convencional, empleando el análisis multicriterio con el fin de definir la mejor alternativa de producción agrícola, mediante indicadores: económico, social, ambiental, institucional y

CAPACIDAD DE ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO DE...

productivo. Siendo el mejor sistema el agroecológico, seguido del orgánico y posteriormente el convencional.

Estudios a nivel nacional

En la microcuenca Centella del municipio de Dagua, departamento de Valle del Cauca, Loaiza et al. (2012), evaluaron la sostenibilidad de agroecosistemas y sus dimensiones económicas, ambientales y sociales, empleando la metodología MESMIS y el enfoque PER (Presión-Estado-Respuesta), proponiendo el modelo ISRHA (Índice de Sostenibilidad del Recurso Hídrico Agrícola) que evalúa la sostenibilidad del manejo del recurso hídrico en la agricultura.

De manera adicional, Córdoba-Vargas y León-Sicard (2013), estudiaron la resiliencia ecosistémica y cultural en seis fincas campesinas (tres ecológicas y tres convencionales) en Anolaima, Cundinamarca empleando la Estructura Agroecológica Principal (EAP) de las fincas, encontrándose que las fincas ecológicas presentan mejores condiciones de EAP que las convencionales, así como mayores puntuaciones de resiliencia.

Estudios a nivel local

Para la cuenca del río Cormechoque, en Boyacá, Fonseca-Carreño et al. (2015) analizaron y evaluaron las prácticas agrícolas campesinas y su efecto sobre el desempeño productivo, ambiental y financiero de los agroecosistemas familiares campesinos, con el fin de conocer su nivel de sustentabilidad mediante el MESMIS, encontrándose diferencias en la composición biológica, en los aspectos tecnológicos y socioeconómicos de los agroecosistemas, debido a las prácticas agrícolas y a la gestión de la oferta ambiental.

En contraste, para el páramo de Rabanal (Boyacá), Useche de Vega y Márquez-Girón (2015), caracterizaron a un grupo de pobladores campesinos utilizando el MESMIS en conjunto con la propuesta de estandarización y ponderación de indicadores de nivel de sustentabilidad de Sarandón.

¿Cómo se relaciona la seguridad alimentaria con el cambio climático?

Estudios a nivel global

En el Reino Unido, Ericksen (2008) reviso los estudios de sistemas alimentarios, seguridad alimentaria y el cambio ambiental global, con el fin de conocer los procesos clave y los determinantes de la seguridad alimentaria en un momento determinado, así como las variaciones de los impactos ambientales.

De otro lado en Dinamarca, Campbell et al. (2016) esbozan como estrategia para contrarrestar las amenazas a la seguridad alimentaria el desarrollo de un programa de investigación, que considere un cambio en la cultura investigativa, la creación de portafolios específicos, uso de medidas de adaptación pertinentes para los más vulnerables y armonizar la adaptación y la mitigación.

Continuando con los estudios del Reino Unido, McCleary y Moran (2019) plantearon como soporte al fortalecimiento de la seguridad alimentaria de las comunidades indígenas, la conservación de las tradiciones culturales en un contexto de rápida evolución.

Estudios a nivel regional

En el municipio de Alcalá, departamento de Valle del Cauca, Céspedes Restrepo et al. (2010) generaron un modelo de simulación mediante la metodología de dinamica de sistemas para la seguridad alimentaria, para lo que definieron tres fincas tipo, encontrando que la seguridad alimentaria depende de los ingresos del hogar, productos para el autoconsumo y gastos para el sostenimiento de la producción agropecuaria, entre otros; encontrándose que se tiene tendencia a la inseguridad alimentaria.

Estudios a nivel local

En los municipios de Tibasosa, Turmequé y Ventaquemada del departamento de Boyacá, Sánchez Gil (2018) realizo una investigación participativa con veinticinco (25) familias, estableciendo su

trayectoria productiva de tipo agricultura familiar campesina y su contribución a la soberanía y seguridad alimentaria en cincuenta (50) años.

Para la vereda Huerta Grande del Municipio de Boyacá del departamento de Boyacá, Cuellar Higuera y Avellaneda Torres (2020) consideraron la perspectiva ecosistémica y cultural para identificar las problemáticas de la sostenibilidad agropecuaria y la seguridad alimentaria; finalmente proponen alternativas de solución como: la implementación de abonos orgánicos, reducción del uso de fertilizantes, rotación de cultivos, la implementación de huertas caseras y de policultivo y la diversificación de los cultivos.

¿Cómo son las prácticas agrícolas y el cultivo de papa?

Estudios a nivel global

Singh (2016) en la India, revisó las aplicaciones de la teledetección y las técnicas de Sistemas de Información Geográfica (SIG) y su integración para el manejo de los problemas de recursos hídricos en la agricultura mediante estudios de caso.

En Chile, Ponce et al. (2017) emplearon modelos hidrológicos y de oferta agrícola, para establecer mediante simulación de la reducción de oferta hídrica, los impactos de un escenario de cambio climático regionalizado sobre los agricultores.

Sobre estudios en agroecología en los Estados Unidos, Nicholls y Altieri (2019) revisaron el uso de la agroecología y las medidas de adaptación a la vulnerabilidad climática y al cambio climático, encontrándose que, la agroecología permite generar sistemas agrícolas resilientes.

Por otro lado, en Japón, Handayani et al. (2019) analizaron la incidencia de los factores abióticos (sequía, calor y salinidad) en la producción de la papa, encontrando que se han desarrollado variedades modificadas genéticamente, el empleo de variedades silvestres y el uso de diferentes técnicas para generar cultivos resistentes a las condiciones climáticas extremas del cambio climático.

CAPACIDAD DE ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO DE...

En la India, Pradel et al. (2019) determinaron el nivel de adaptación al cambio climático en ochenta y un (81) variedades de papa, en seis (6) estados, proponiendo un Índice de nivel de resiliencia por variedad, con el fin de analizar las tasas de adopción de variedades mejoradas, según la tolerancia al: calor, sequía, madurez temprana y resistencia al tizón tardío.

Estudios a nivel regional

Sanabria Medina (2021) en el corregimiento La Granja, del municipio de Sucre, departamento de Santander, implemento un sistema productivo de papa como un modelo económico y de liderazgo social para la comunidad, donde se incluyeron otras actividades además del cultivo de papa, como una huerta casera; por otra parte se realizó énfasis a la comunidad de la importancia de las buenas prácticas agrícolas – BPA, sirviendo de modelo para las comunidades rurales.

Estudios a nivel local

Aguirre-Forero et al. (2012), en la provincia de Sugamuxi, departamento de Boyacá, caracterizó el sistema productivo de las variedades de papa *Oxalis tuberosa*, *Ullucus tuberosus* y *Tropaeolum tuberosum*, mediante muestreo aleatorio, encuestas, entrevistas y diagnóstico rural.

En este mismo territorio en el páramo de Rabanal (Boyacá), Useche de Vega y Márquez-Girón (2015), caracterizaron veintidós (22) propietarios de predios como base para la reconversión agroecológica, analizaron los agroecosistemas frente a calidad del suelo y salud del cultivo, y concluyeron que se estaba afectando el entorno natural.

Justificación de la Investigación

En el ABC de los compromisos de Colombia en la 21ª Conferencia de las Partes (COP)¹ - COP21, para hacer frente al cambio climático global, se establecieron, en el marco de las Contribuciones Nacionalmente Determinadas (INDC, por su sigla en inglés), siete líneas de acción: sinergias entre

¹ de la Convención Marco de Naciones Unidas sobre Cambio Climático (CMNUCC)

CAPACIDAD DE ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO DE...

adaptación y mitigación, adaptación basada en socio-ecosistemas, articulación de la adaptación al cambio climático y gestión de riesgos; adaptación de infraestructura básica y sectores de la economía, incorporación de consideraciones de adaptación y resiliencia en la planificación sectorial, territorial y del desarrollo, promoción de la educación en cambio climático para generación de cambios de comportamiento y consolidación de territorios de paz con consideraciones de cambio climático.

Las anteriores INDC están centradas en acciones como: mitigar, adaptar y generar medios de implementación, lo cual “es fundamental para que Colombia construya una economía baja en carbono y forme parte del esfuerzo global de ponerle freno al cambio climático.” (García Arbeláez et al., 2015, p. 32).

El presente estudio está enmarcado en la línea de acción de sinergias entre adaptación y mitigación, adaptación basada en socio-ecosistemas y en el medio de implementación de desarrollo de tecnología y creación de capacidades, en forma específica, en el ítem de consolidación de una estrategia de trabajo con universidades y grupos de investigación, que se traduzca en investigación, generación de conocimiento y desarrollo tecnológico frente al cambio climático.

De igual forma, este trabajo contribuye al cumplimiento de los objetivos de la Agenda 2030 de las Naciones Unidas (2018) para el Desarrollo Sostenible (ODS) en relación con hambre cero y seguridad alimentaria, y adoptar medidas urgentes para combatir el cambio climático y sus efectos, al aportar información sobre el nivel de adaptación de los agroecosistemas productivos de papa. Así mismo desde un análisis del contexto territorial se diagnostica el cumplimiento de estos lineamientos de los ODS para las comunidades rurales de Boyacá objeto de interés de la investigación, consideradas la despensa nacional que contribuyen a garantizar la seguridad alimentaria.

Existe una relación directa entre la seguridad alimentaria y la adaptación de los cultivos al cambio climático; de tal forma que, para Boyacá según el ensamble multi escenario, la temperatura podrá ascender en 2.4°C a fin de siglo, siendo las provincias más afectadas la de Occidente, el distrito

CAPACIDAD DE ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO DE...

Fronterizo, la zona de manejo Especial y Neira. Por lo anterior, esta investigación provee información frente al proceso de adaptación de los sistemas productivos al cambio climático, puesto que, la misma podrá servir de insumo a las diferentes propuestas o acciones de contingencia, que los entes gubernamentales generen en pro de mitigar los efectos que genera el cambio climático de la región.

De otro lado, este estudio innova en cuanto a que, los diferentes trabajos consultados están enfocados principalmente en los aspectos abióticos, y algunos en los aspectos sociales y económicos, como se evidencia en el estado del arte; en contraste, esta investigación hace una integración de las dos modalidades anteriores, de tal forma que permite obtener una visión global de la adaptación al cambio climático, por parte de los sistemas productivos de papa en los (10) diez municipios seleccionados.

En lo referente al aporte metodológico que se brinda a partir de este trabajo; en primer lugar, está basado en la correlación de datos históricos de variables climáticas (temperatura y precipitación), cumpliendo con el requerimiento mínimo temporal, tanto de expertos como de entidades especializadas, para la estimación de cambio climático y generación de los respectivos mapas, aplicando herramientas de SIG.

En segundo lugar, esta investigación articula el ejercicio de rastreo documental y el diseño y aplicación de herramientas, de recopilación de datos socioeconómicos y productivos, a la población muestra de los municipios en estudio, lo cual permite establecer los indicadores requeridos para determinar los factores social y productivo que aportan, parcialmente, al cálculo del índice de sustentabilidad agroecológica.

En cuanto a la seguridad alimentaria, esta es necesaria para garantizar la supervivencia del ser humano y teniendo en cuenta el cambio climático y las condiciones actuales de consumo, por parte de las comunidades, es importante realizar estudios que busquen conocer la capacidad de adaptación al cambio climático de los sistemas productivos agrícolas; así como, propender por proponer alternativas

CAPACIDAD DE ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO DE...

de gestión integral de los sistemas productivos y de los recursos naturales que permitan apoyar la sostenibilidad rural.

En consonancia con lo anterior, el desarrollo de este proyecto de investigación permite conocer la capacidad de adaptación al cambio climático de sistemas productivos agrícolas de papa, con el fin de apoyar a las comunidades en la sostenibilidad ambiental del territorio, considerando la disponibilidad de los diferentes recursos técnicos, naturales y socioeconómicos.

Como un último aspecto, este proyecto buscó brindar una contribución al desarrollo sostenible rural, al generar herramientas, para que las comunidades de los sistemas productivos agrícolas busquen su empoderamiento en la gestión sostenible del cultivo de papa, el cual es su sustento principal. Con el fin de minimizar los impactos ambientales negativos y potenciar los positivos, ante condiciones de cambio climático, preservando los recursos naturales, técnicos, económicos y sociales; buscando su uso de manera eficiente para garantizar la satisfacción en lo concerniente a la seguridad alimentaria.

Para finalizar, se realiza un aporte práctico social al conocimiento del grado de adaptación al cambio climático de los sistemas productivos de papa en la región de estudio, desde la determinación diferentes índices, incluidos, el de sustentabilidad agroecológica, el holístico de riesgo, el de adaptación al cambio climático, y los de disponibilidad y sequía hídricoambiental.

Objetivos

Objetivo General

Determinar la capacidad de adaptación al cambio climático de los sistemas productivos paperos en zonas rurales de Boyacá.

Objetivos Específicos

Realizar un diagnóstico de los sistemas productivos paperos en el departamento de Boyacá.

Evaluar la sostenibilidad ambiental de sistemas productivos de papa en zonas priorizadas de Boyacá.

CAPACIDAD DE ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO DE...

Identificar las vulnerabilidades y las oportunidades de adaptación al cambio climático de los sistemas productivos de papa en Boyacá.

Supuestos y Categorías de Análisis

Para el establecimiento y desarrollo de la investigación objeto de estudio se establecieron los siguientes supuestos.

Supuestos

Los agrosistemas productivos de papa en Boyacá pueden orientarse hacia modelos de sostenibilidad y sustentabilidad.

Los sistemas productivos paperos de Boyacá son susceptibles de adaptación al cambio climático.

Categorías de Análisis

Hipótesis. Empleando herramientas metodológicas, se evidenciará la adaptabilidad de los sistemas productivos paperos al cambio climático en Boyacá.

Variables. En la Tabla 1, se presentan las variables para la evaluación de la sostenibilidad ambiental para los sistemas productivos de papa en Boyacá.

Tabla 1

Variables para la Evaluación de la Sostenibilidad Agroecológica para los Sistemas Productivos de Papa en Boyacá

Factores	Indicador
Clima	<ol style="list-style-type: none"> 1. Temperatura media (T), °C 2. Precipitación anual (PP anual), mm de agua 3. Ocurrencia de sequías 4. Posibilidad de heladas 5. Riesgo de inundaciones durante el ciclo del cultivo
Agua	<ol style="list-style-type: none"> 1. Seguridad en la disponibilidad del agua, de la mayoría de usuarios 2. Potencial del ion hidronio (pH) del agua de riego, unidades 3. Conductividad Eléctrica (C.E.) del agua de riego, mmhos cm⁻¹ o ds m⁻¹ 4. Sólidos Disueltos Totales (SDT), mg L⁻¹ 5. Dureza, mg L⁻¹ 6. Presencia de aniones indicadores de salinidad Cl⁻¹ + SO₄⁻², mg L⁻¹ 7. Presencia de contaminantes peligrosos (Plaguicidas, metales pesados), mg L⁻¹
Suelo	<ol style="list-style-type: none"> 1. Estabilidad de la estructura 2. Capacidad de retención de humedad 3. Tipo de textura, velocidad de infiltración 4. Potencial del ion hidronio (pH) del extracto de saturación 5. Conductividad Eléctrica (C.E.) del extracto de saturación, mmhos cm⁻¹ o ds m⁻¹

Factores	Indicador
	6. Densidad Aparente (da), g mL ⁻¹ 7. Contenido de materia orgánica (MO), porcentaje (%) 8. Contenido de fósforo disponible, partes por millón (ppm) 9. Contenido de Nitrógeno como Nitratos (N-NO ₃), partes por millón (ppm) 10. Presencia de cationes relacionados a la Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC) (Na; Ca + Mg), mg kg ⁻¹ de suelo
Social	1. Integración de la familia al proceso productivo en el predio 2. Autosuficiencia Alimentaria 3. Dependencia de insumos externos para la productividad del predio 4. Acceso a créditos y apoyos gubernamentales 5. Nivel de conocimiento para enfrentar eventos de contingencia 6. Asesoría y Capacitación 7. Historial y experiencia en labores agrícolas 8. Generación de empleo. Necesidad de trabajo adicional
Productivo	1. Agrodiversidad 2. Percepción de la categoría de la finca 3. Sistemas de manejo agroproductivo 4. Competencia por malezas 5. Sistemas de riego para cultivos 6. Resistencia o tolerancia al estrés (sequías, heladas, etc.) 7. Resistencia a la incidencia de enfermedades o plagas 8. Rendimiento actual o potencial 9. Canales de comercialización

Nota: Adaptado de Álvarez Morales (2015).

Fundamentación Teórica

Cambio Climático y Adaptación

De acuerdo con el Panel Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático (IPCC) (1995), el Cambio Climático se define como: “El Cambio del clima atribuido directa o indirectamente a actividades humanas que alteran la composición de la atmósfera mundial, y que viene a añadirse a la variabilidad natural del clima observada durante periodos de tiempo comparables.”(p.4); también, estos mismo autores, lo exponen como: “El cambio del clima, tal como se entiende en relación con las observaciones efectuadas, se debe a cambios internos del sistema climático o de la interacción entre sus componentes, o a cambios del forzamiento externo debidos a causas naturales o a actividades humanas.” (p.5)

De otro lado, en lo que referente a políticas respecto al cambio climático, el (IPCC) (1995), las precisa como aquellos “Procedimientos desarrollados y aplicados por uno o varios gobiernos en relación con el objetivo de mitigar los efectos del cambio climático aplicando tecnologías y medidas.” (p. 28)

CAPACIDAD DE ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO DE...

Por otra parte, a nivel nacional, el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) (2021) establece que para realizar el monitoreo científico del clima terrestre se deben tomar series de datos, de al menos, 30 años para ir observando el efecto del cambio climático; de tal forma que para procesar información climatológica recopilada, es necesario dividirla en subseries para contrastar, finalmente, los valores medios de precipitación y temperatura, y de esta forma, concluir acerca de la existencia de cambio climático en una determinada región.

En lo que respecta a la adaptación al cambio climático, según el IDEAM et al. (2016), este hace referencia a las acciones que las personas y las sociedades deben realizar para acomodarse a las nuevas condiciones generadas por el cambio. De esta forma, las amenazas se tornan manejables, para que la vida de las personas, la producción y/o sus pertenencias no corran más riesgos.

Según Edenhofer et al. (2014), la adaptación puede contribuir al bienestar de las poblaciones, la seguridad de los activos y el mantenimiento de los bienes del ecosistema, funciones y servicios que ahora y en el futuro; son específicas al lugar y al contexto (alta confianza).

Por último, la integración de la adaptación en la planificación, incluido el diseño de políticas y la toma de decisiones, puede promover sinergias con el desarrollo y reducción del riesgo de desastres.

Marco de Indicadores de Evaluación de Sistemas de Gestión de Recursos Naturales (MESMIS)

Speelman et al. (2007), definen el Marco de Indicadores de Evaluación de Sistemas de Gestión de Recursos Naturales (MESMIS) como un sistema de atributos para evaluar la sostenibilidad de los Sistemas de Gestión de los Recursos Naturales Campesinos, a partir de siete atributos: Productividad, estabilidad, equidad, autosuficiencia, fiabilidad, resiliencia y adaptabilidad.

La productividad es el rendimiento en términos de servicios y bienes en un determinado momento; La estabilidad es la capacidad para mantener este rendimiento específico de bienes y servicios en un equilibrio dinámico estable; La equidad representa la capacidad para distribuir todos los costos y beneficios de manera justa entre sus partes interesadas; La autosuficiencia es la capacidad para

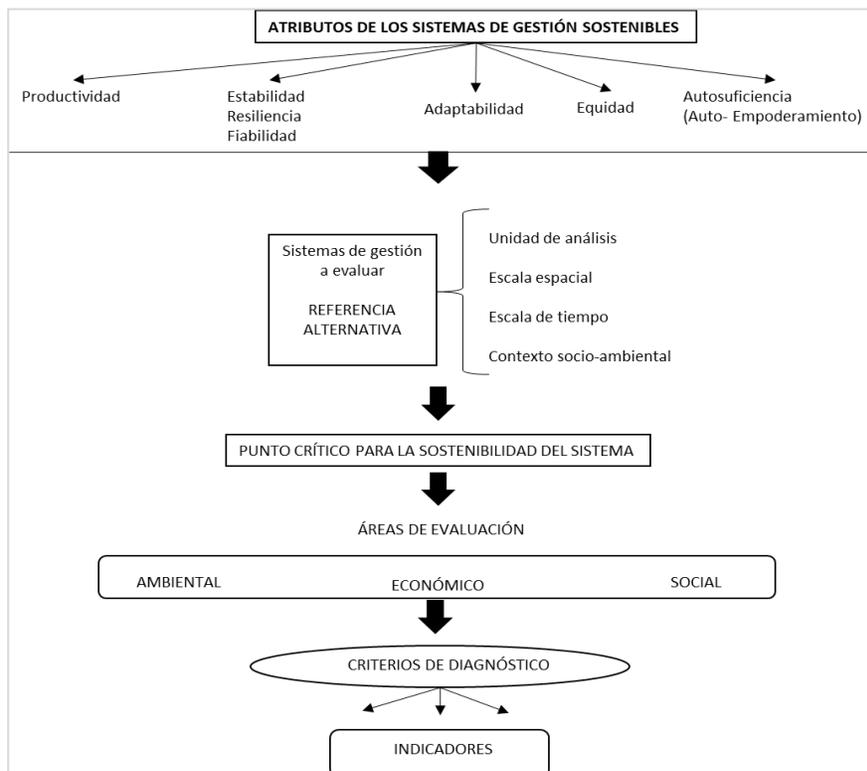
CAPACIDAD DE ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO DE...

regular y controlar las interacciones con los sistemas periféricos, manteniendo sus propios valores e identidad; La fiabilidad muestra la capacidad para mantener el nivel de salida deseado, cerca del equilibrio, cuando se enfrenta a perturbaciones normales en su entorno; La resiliencia muestra la competencia para retornar a un estado de equilibrio estable, después de una perturbación no estructural; La adaptabilidad es la aptitud para ajustarse y encontrar un nuevo estado de equilibrio a un cambio, a largo plazo, en su entorno.

Los vínculos entre los atributos, los criterios y los indicadores dentro del marco se muestran en la [Figura 1](#). Los criterios de diagnóstico se definen como normas sobre las que puede basarse un juicio o una decisión. Los indicadores se definen dentro del marco como medidas cuantitativas o cualitativas que reflejan criterios diagnósticos.

Figura 1.

Atributos de los sistemas de gestión sostenibles.



Nota: Tomado de Speelman (2007).

Seguridad Alimentaria

Según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) (2013) “Existe seguridad alimentaria cuando todas las personas tienen, en todo momento, acceso físico y económico a suficientes alimentos, inocuos y nutritivos para satisfacer sus necesidades alimenticias y sus preferencias en cuanto a los alimentos, a fin de llevar una vida activa y sana.” (p. iv). Como eje fundamental para que los estados prioricen la seguridad alimentaria y la erradicación de la pobreza, la FAO, reconoce la necesidad de “un entorno político, social y económico pacífico, estable y propicio.”²

Así mismo, Devaux et al. (2011), hacen referencia a los cuatro pilares de la seguridad alimentaria, aclarando que el concepto de seguridad alimentaria se puede dividir en cuatro dimensiones, siguiendo el concepto de la Organización de Agricultura y Alimentación (FAO): Disponibilidad de alimentos, calidad y valor nutricional de los alimentos, estabilidad en la oferta de alimentos y acceso a los alimentos. De otro lado, el autor presenta un enfoque hacia un modelo integrado para la seguridad alimentaria en los andes basado en sistemas de producción de papa y en la innovación, presentando los cuatro componentes de análisis, a saber:

- Orientación hacia los sistemas de producción y alimentarios basados en papa, y alimentos cuyos componentes incluyan otros productos agrícolas y ganaderos; además, es necesario tener en cuenta que alternativas tecnológicas se pueden implementar para mejorar la resiliencia de los sistemas de producción.
- Vinculación de la investigación científica y tecnológica al desarrollo y a las necesidades de los productores(as). Proceso que debe incluir la perspectiva de género y equidad, atendiendo

² Ibid

a las necesidades de los hogares, y fomentando el trabajo colectivo, para de esta forma aumentar el capital social y una mejor interacción entre los diferentes actores.

- Acciones de incidencia en políticas que articulen los efectos positivos de las innovaciones con las políticas de seguridad alimentaria en la región. Lo que implica la articulación entre actores, promotores de políticas e instituciones dentro de procesos innovadores tanto a nivel local, como nacional y regional andino.
- La papa puede ser una parte importante de la solución de la seguridad alimentaria a través del aumento de los ingresos mediante el acceso al mercado. El Centro Internacional de la Papa (CIP) ha promovido el acceso a agricultores de pequeña escala —particularmente con las papas nativas— a los mercados. De otro lado, se debe fortalecer la competitividad de los productores mediante la difusión de tecnologías de producción/procesamiento y creando vínculos entre las cadenas productivas y plataformas multiactores.

En contraste, para Bozón Martínez (2014), la estabilidad alimentaria está relacionada con la variación climática, la variabilidad de precios, la capacidad tecnológica, la disponibilidad de tierra cultivable, el nivel de ingresos y la situación social; además insta a las Instituciones Universitarias y a las Empresas y a los Centros de Decisiones Públicos y Privados, para que impulsen investigaciones que generen respuestas concretas y viables para abrir caminos hacia la real seguridad alimentaria y nutricional en el País.

Prácticas Agrícolas

De acuerdo con la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) (2016), la actividad agrícola está relacionada con tres factores, a saber: El origen genético de las especies, que determina la calidad y cantidad de producción, y su vulnerabilidad (o resiliencia) frente a factores externos; el manejo de los sistemas agroproductivos, tales como el riego, manejo de enfermedades y plagas, control de malezas, rotación de cultivos, nutrición de los suelos, etc.; y las

CAPACIDAD DE ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO DE...

condiciones climáticas, dentro de las que se encuentran, el nivel de precipitaciones, patrón de temperaturas e incidencia de eventos climáticos extremos.

En lo referente al manejo de los sistemas agroproductivos, pese a que se han desarrollado grandes avances tecnológicos, que han aportado soluciones a las diferentes problemáticas, como el control de las variables de temperatura y humedad (invernaderos y riego tecnificado), infortunadamente aún son limitados para la intervención absoluta de los impactos del cambio climático. Otro aspecto que desfavorece el manejo tecnológico de los sistemas agroproductivos es el referente a los altos costos, puesto que, este es asequible para los sistemas productivos de mediana y gran escala; mientras que, para los pequeños agricultores, las técnicas tradicionales son la opción más adecuada (rotación de cultivos, control biológico de enfermedades y plagas, manejo manual de malezas y la diversificación de especies cultivadas, entre otras).

Volviendo a los factores que influyen en la agricultura, se evidencia que están interrelacionados; así, se observa como la calidad genética de los cultivos de hoy está determinada bajo la tradición que hace de la selección de las mejores semillas, con el fin de conservar los mejores ejemplares de sus cultivos y garantizar las características deseadas para la siguiente siembra, la estrategia de mejoramiento del genotipo, conforme a las condiciones de manejo y climáticas dentro de las cuales se desenvuelve.

Para finalizar, atendiendo a lo que el Banco de la República; CAF - Banco de Desarrollo de América Latina (2016) exponen, se debe tener en cuenta que los avances tecnológicos, en la producción de cultivos, contribuyen con la seguridad alimentaria y ejercerán gran influencia en los procesos requeridos para lograr la meta del desarrollo sostenible en el tiempo. Continuando con lo anterior, se debe recordar que el progreso agrícola seguirá siendo esencial para el crecimiento económico, la generación de empleo, el desarrollo rural y, especialmente, para la mitigación de la pobreza. Así mismo, el bienestar de los campesinos depende principalmente de las mejoras en la productividad, lo que se

CAPACIDAD DE ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO DE...

encuentra relacionado con diversos factores como son: la infraestructura, el acceso a la tierra, el buen funcionamiento de los mercados, la calidad de las instituciones, el acceso apropiado a la tecnología y al crédito.

Otro factor importante, es el referente a la estabilidad de precios, ya que los mayores costos de transacción, dificultan el suministro adecuado de alimentos. Los bienes públicos, por su parte, ejercen influencia sobre los costos y son de diversa índole, están relacionados principalmente con la adecuación de tierras mediante sistemas de irrigación y drenaje, las vías y sistemas de transporte, los centros de acopio y comercialización, el suministro de energía y las telecomunicaciones.

Cultivo de Papa

Según, el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial; Fedepapa (2004); la papa es uno de los cuatro alimentos básicos de la humanidad y en Colombia no es la excepción; en la dieta de los colombianos, el consumo per cápita aparente anual de papa es de unos 60 kilos, lo cual ratifica la importancia del tubérculo en la canasta familiar de alimentos, especialmente de los habitantes de menores ingresos económicos. El cultivo de papa es la principal actividad agrícola de clima frío, dispersa en unos 250 municipios con predominio de agricultores minifundistas quienes, en general, tienen un limitado acceso a los factores de producción, servicios públicos, educación, salud, asistencia técnica agrícola, obras de infraestructura y recreación.

Adicionalmente, el cultivo de papa es una destacada fuente de empleo rural en las zonas de producción del tubérculo, ya que ocupa alrededor de 20 millones de jornales al año. A lo largo del país, al cultivo están vinculadas más de 110.000 familias en forma directa, al tiempo que hacen parte de la cadena muchos otros actores que participan en la red de producción y distribución de insumos, empaques, transporte terrestre, maquinaria, semillas, generación de valor agregado, procesamiento y comercialización. (p. 13)

CAPACIDAD DE ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO DE...

De acuerdo con la Sociedad de Agricultores de Colombia – SAC, 2009, la papa, *Solanum tuberosum*, es una planta perteneciente a la familia de las solanáceas, cuyo tubérculo es el cuarto alimento básico en el mundo después del trigo, el arroz y el maíz, puesto que es rico en vitamina C, potasio y magnesio. En nuestro país su consumo está muy difundido por tradición y por su versatilidad como acompañamiento: se consumen más de 2.300.000 toneladas al año y se generan cerca de 105.000 empleos que mantienen más de 90.000 familias.

Según la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) (2009), “La historia de la papa comienza hace unos 8.000 años, cerca del lago Titicaca, que está a 3.800 metros sobre el nivel del mar, en la cordillera de los Andes, América del Sur, en la frontera de Bolivia y Perú.” (p. 14). Su expansión a nivel global empezó por Europa, por la conquista española, en Hispanoamérica, pues los emisarios que llegaban ante los reyes y el Papa, traían el tubérculo como presente; además, los marineros solían utilizarla como alimento en las grandes travesías que emprendían en Asia, África o la misma América del Norte. Con el tiempo, a pesar del recelo inicial, la papa se convirtió en un alimento básico para la supervivencia en las épocas de hambruna. Pese a la vulnerabilidad que presentaban las pocas especies que arribaron a Europa en un principio, el cultivo logró establecerse en las regiones que cumplían con las condiciones climáticas y de suelo. Aunque fue necesario mejorar las especies.

De acuerdo con Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial; Fedepapa (2004), el Primer Censo Nacional de la papa, realizado por el Ministerio de Agricultura y el DANE, la papa se da en cotas altitudinales superiores a 3.000 m.s.n.m. Con una precipitación promedio anual entre 700 y 2.000 mm al año, con dos períodos típicos de lluvias durante los meses de febrero a mayo y de septiembre a noviembre, temperatura promedio anual entre 12 y 18 °C, humedad relativa entre 70 y 90%.

Diseño Metodológico

A continuación, se muestra la parametrización y el paso a paso realizado tanto en la preparación como en el trabajo de campo, sus componentes y su desarrollo.

Tipo de Investigación

Este estudio se realizó bajo la técnica de investigación cuantitativa, dado que según, Hernández et al. (2003) la investigación cuantitativa brinda la posibilidad de generalizar los resultados, permite el control sobre los fenómenos y el análisis de conteo y las magnitudes de éstos; y es precisamente, este ejercicio el que se realizó en el desarrollo de este trabajo investigativo, ya que, se acudió a los análisis de datos para llegar a las conclusiones.

De otro lado, Ramírez (2016) afirma, sobre la investigación cuantitativa, que esta hace uso de “técnicas estadísticas e instrumentos [...] para recolección de información y medición de variables.” (p. 42), como se expresó en el anterior aparte, este estudio tuvo en cuenta los resultados obtenidos a partir de la implementación de varios instrumentos, cuya información fue la base para que se llegara a las conclusiones que serán expuestas más adelante.

Tamaño de la Muestra (población y muestra)

Para la realización de este estudio, se trabajó con una muestra de tipo no probabilística, o muestras dirigidas que, según Hernández et al. (2003) “suponen un procedimiento de selección informal y un poco arbitrario.” (p. 278), para que exista más especificidad, en este trabajo se consideraron las áreas sembradas, las áreas cosechadas, la producción y el rendimiento de papa en diez municipios de Boyacá, entre los años 2004 y 2018, para los dos semestres de cada año (Apéndice A).

Esta selección se realizó a partir de la revisión de la producción histórica por provincia, considerando un aporte de mínimo el 5% del total de la producción departamental; las provincias escogidas fueron: Centro, Márquez, Occidente, Ricaurte y Tundama (Ver Figura 3). Se debe comentar que si bien las provincias de Sugamuxi y Tundama, contaban con producciones similares, se seleccionó Tundama debido a que las asociaciones de agricultores contaban con el interés de participar en la investigación, mientras que las de Sugamuxi, no. Posteriormente, se revisó la mayor producción por municipio para cada una de las provincias seleccionadas.

CAPACIDAD DE ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO DE...

Finalmente, se escogieron los diez municipios representativos de mayor producción, siendo estos para la provincia centro: Tunja, Ventaquemada, Toca, Samacá y Siachoque, para la provincia de Occidente: Saboya, para la provincia de Márquez: Úmbita, para la provincia de Ricaurte: Arcabuco, y para la provincia de Tundama: Belén y Tutazá.

Figura 23

Promedios de Producción de papa por Provincias del Departamento Boyacá.



Estrategias de Muestras

Dado que la investigación se realizó gradualmente, y con el acontecimiento de situaciones de orden mundial como el escenario de pandemia debida al COVID -19, se implementaron las siguientes estrategias para la preparación de instrumentos y recopilación de información primaria y secundaria.

Recolección de información. Para la recolección de información primaria se diseñó una encuesta (Apéndice B), cuyo objetivo fue establecer condiciones de adaptabilidad de los productores de papa, a partir de información relacionada con los procesos productivos, sistemas de manejo, producción agrícola, ingresos, gastos de producción, grado de integración de género en las labores, recursos económicos con los que cuentan para efectuar las actividades productivas, dependencia de insumos externos, cambio climático, entre otros.

Para los Municipios de Tunja y Tutazá se realizó una consulta directa, recopilando un total de treinta y dos (32) encuestas, dieciocho (18) para Tunja y catorce (14) para Tutazá. En consulta indirecta participaron ocho (8) representantes legales de las asociaciones constituidas en cada municipio. Se debe comentar que cada asociación contaba entre veinticinco (25) y treintaicinco (35) asociados, de tal forma que las respuestas dadas por cada representante legal reflejan la opinión de los miembros de cada asociación (Apéndice D), por lo que este ejercicio, representa, la opinión de un promedio de (300) trescientos agricultores de papa en el Departamento de Boyacá, pertenecientes a los diez (10) municipios de interés.

Se realizaron visitas de campo, a dos predios pertenecientes a mujeres cabeza de familia integrantes de la Asociación Agrícola de Toca ASOAGROTOCA, del municipio de Toca (Boyacá), donde se realiza riego de los cultivos de papa, tanto por sistema por aspersión o tradicional, y riego tecnificado o por goteo, por un proyecto de mujeres reconciliación y paz en asociación con PEPSICO. Se debe comentar que esta asociación fue seleccionada, debido a que tenía en uso los dos sistemas de riego y contó con la disponibilidad de participar en esta investigación. En el (Apéndice E), se presentan las observaciones realizadas en las visitas.

Por otra parte, se realizó el muestreo y caracterización del factor agua, según protocolo de Monitoreo del agua, IDEAM; INVEMAR (2017). Para el factor agua, las muestras fueron tomadas en el río La Chorrera en jurisdicción del municipio de Toca y analizadas en campo por miembros del grupo de

CAPACIDAD DE ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO DE...

investigación en Geomática y Ambiente (GIGA), y en el laboratorio de Ingeniería Ambiental de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia (UPTC), para parámetros in situ: pH, temperatura, Oxígeno disuelto, Conductividad eléctrica y básicos: Turbiedad y Cloruros, y para los de mayor especificidad: Compuestos organoclorados, metales pesados, compuestos de nitrógeno y de fósforo, en el laboratorio de Ingeniería Civil y Ambiental de la Universidad de los Andes.

Para los demás municipios se emplearon los valores propuestos en los objetivos de calidad de agua para las cuencas cercanas a los municipios de interés, expedidos por tres corporaciones autónomas regionales que tienen jurisdicción en Boyacá. Para los municipios de Siachoque, Arcabuco, Belén y Tutazá, se trabajó con los objetivos de calidad para la cuenca alta y media del río Chicamocha, en la jurisdicción de la Corporación Autónoma Regional de Boyacá (CORPOBOYACA).

Para el municipio de Saboya, se utilizaron los valores de los objetivos de calidad de la cuenca de los ríos Ubaté y Suárez, en la jurisdicción de la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR); Finalmente, para los municipios de Samacá, Úmbita, Ventaquemada y Tunja se trabajó con los objetivos de calidad del río Garagoa, en la jurisdicción de la Corporación Autónoma Regional de Chivor, CORPOCHIVOR, adicionalmente se tomaron como referencia para el agua de riego los valores definidos por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) (1994).

Respecto al factor suelo, se revisó información generada para Boyacá por la UPTC y el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) referente a la calidad de los suelos del departamento de Boyacá, Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) (2005). Así como valores típicos recomendados por la USDA, departamento de agricultura de los Estados Unidos. Los parámetros considerados fueron pH del extracto de saturación, conductividad eléctrica, densidad aparente, contenido de materia orgánica, contenido de fósforo disponible, contenido de nitrógeno y presencia de cationes.

CAPACIDAD DE ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO DE...

Respecto al factor clima se recopiló información histórica entre los años 1986 a 2019 de estaciones meteorológicas del IDEAM referente a temperatura media y precipitación, ubicadas en los diez municipios de interés para este estudio, Apéndice C.

Procesamiento de Información

Para la información climática se evidenció que hacía falta información de algunos años, para ciertas estaciones meteorológicas, por lo que se procedió a buscar información de temperatura y precipitación de estaciones cercanas con el fin de completar o llenar datos faltantes, estableciendo, la diferencia o delta correspondiente de la variable y el delta de la altitud de la ubicación de la estación; para luego, de un procedimiento matemático, obtener el dato faltante de la variable para la estación donde no existe.

El siguiente paso correspondió a realizar las visitas *in situ* a los sistemas productivos en el municipio de Toca, posteriormente, se procedió a diseñar y aplicar a los agricultores la encuesta denominada: Percepción de la Adaptación al Cambio Climático de los Agricultores del departamento de Boyacá, al inicio, se realizó de forma presencial; pero, debido a la emergencia sanitaria declarada por el gobierno nacional por el COVID-19, hubo necesidad de hacer implementación vía remota y telefónica, con los representantes legales de las asociaciones de agricultores participantes.

Paso seguido, se procesaron las encuestas aplicando la herramienta ArcGIS SURVEY 123 de Environmental Systems Research Institute (ESRI), donde se crean formularios digitales y se generan gráficas, posteriormente se realizó el análisis respectivo.

A continuación, se procede a revisar toda la información recopilada para determinar el Índice de Sustentabilidad Agroecológica (ISAE), aplicando la versión adaptada por Álvarez Morales (2015), del método MESMIS.

CAPACIDAD DE ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO DE...

Para lo cual se procedió a calcular los valores de sostenibilidad para los factores de clima, agua, suelo, social y productivo en función de los indicadores que los establecen, para determinar el ISAE y así definir el grado de sustentabilidad de los agroecosistemas de interés.

Para posteriormente estimar la adaptación al cambio climático, por parte de los agricultores de papa de Boyacá, se procedió a determinar entre otros índices los referentes a disponibilidad y escasez hídrica, índice holístico de riesgo, índice de adaptación al cambio climático; adicionalmente, de los puntos críticos determinados, se plantearon alternativas para la adaptación al cambio climático.

Finalmente, se estimó el % de cambio de precipitación y de cambio de temperatura para los (34) treinta y cuatro años bajo estudio y se generaron los mapas respectivos.

Técnicas e Instrumentos

Todo proceso de investigación requiere de la implementación de técnicas; las cuales, a su vez, requieren del manejo de los instrumentos propicios al método y al tipo de información que el investigador necesita obtener.

Técnicas de Investigación

La técnica descriptiva, la cual fue implementada en el proceso de investigación, explica el comportamiento de las variables climáticas en el contexto histórico, y permite identificar las condiciones de cambio climático en las zonas paperas del departamento de Boyacá.

Instrumentos

Los instrumentos implementados para recolectar la información, a partir de la técnica descriptiva, son: la encuesta aplicada a los agricultores, el empleo de ArcGIS Survey 123 de ESRI, para su aplicación remota y procesamiento, el empleo del software ArcGIS y las tablas dinámicas de Excel.

Índice de Sustentabilidad Agroecológica (ISAE)

A partir de los atributos seleccionados para cada uno de los factores analizados (clima, agua, suelo, social y productivo), se procedió a determinar los valores para los indicadores y factores, para

CAPACIDAD DE ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO DE...

proceder a determinar el ISAE, teniendo en cuenta la metodología MESMIS de Masera et al. (1999) se adoptaron los intervalos de valores para la interpretación de indicadores de sustentabilidad agroecología adaptada por Astier et al. (2008), y modificada por Álvarez Morales (2015).

Para la ponderación de cada criterio dentro del indicador se utilizó una escala de valoración de 1 a 10, donde 1 es el valor más desfavorable y 10 la condición óptima, para el proceso productivo del cultivo de la papa estandarizando las diferentes unidades de medida.

Para el Factor clima, los criterios fueron: temperatura media, precipitación anual, ocurrencia de sequías, posibilidad de heladas y riesgo de inundaciones durante el ciclo de cultivo.

Cada criterio categorizado y valorado según las características propias de la zona y la percepción de los productores de papa, información previamente recolectada por encuestas.

El Factor agua se construyó con los siguientes criterios: seguridad en la disponibilidad de agua de la mayoría de usuarios, pH del agua de riego, Conductividad eléctrica del agua de riego, cantidad de sólidos disueltos totales, dureza, presencia de aniones y presencia de contaminantes peligrosos.

Para el Factor del componente suelo, los criterios determinados fueron: estabilidad de la estructura del suelo, capacidad de retención de la humedad, tipo de textura y velocidad de infiltración, pH del extracto de saturación, conductividad eléctrica, densidad aparente, contenido de materia orgánica, contenido de fósforo disponible, contenido de nitrógeno y presencia de cationes.

El Factor del componente social, se construyó a partir de los criterios: integración de la familia al proceso productivo del predio, autosuficiencia alimentaria, dependencia de insumos externos para la productividad del predio, acceso a créditos y apoyos gubernamentales, nivel de conocimiento para enfrentar eventos de contingencia, asesoría y capacitación, historia y experiencia en labores agrícolas, generación de empleo y necesidad de trabajo adicional.

El Factor del componente productivo, abordó los siguientes criterios: agrobiodiversidad, percepción de la categoría de la finca, sistemas de manejo agroproductivo, competencia por malezas, sistemas de

CAPACIDAD DE ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO DE...

riego para cultivo, resistencia y/o tolerancia al estrés, resistencia a la incidencia de enfermedades o plagas, rendimiento actual o potencial y canales de comercialización.

Para determinar el ISAE, se usaron los intervalos de valores para la interpretación de indicadores de sustentabilidad agroecológica adaptada por Astier et al. (2008), que se muestran en la

Tabla 2

Tabla 2.

Tabla 2

Intervalos de Valores para la Interpretación de Indicadores de Sustentabilidad Agroecológica MESMIS.

Clasificación	Intervalo	Valoración (puntos)
Óptimo	0.81 a 1.0	8.0 a 10.0
Aceptable	0.66 a 0.80	6.0 a 8.0
Deficiente	0.41 a 0.65	4.0 a 6.0
Crítico	0.10 a 0.40	2.0 a 4.0
Falla (Pérdida total) ó inutilidad	0	0.0 a 2.0

Nota: Adaptado de Astier et al. (2008).

Luego de conocer los valores de cada indicador del Factor se procedió a realizar el cálculo del Índice de Sustentabilidad Agroecológica (ISAE), mediante la Ecuación 1.

Ecuación 1

$$ISAE = Kpc * FC + Kpa * FA + Kps * FS + Kpsc * FSc + Kpp * FP$$

Donde,

ISAE: Índice de sustentabilidad Agroecológica, Astier et al. (2008).

FC=∑(IC)/TP, Kpc es el coeficiente ponderador del factor clima

FA=∑(IA)/TP, Kpa es el coeficiente ponderador para el factor agua

FS=∑(IS)/TP, Kps es el coeficiente ponderador para el factor suelo.

FSc= ∑(Isc)/ TP, Kpsc es el coeficiente ponderador para el factor social

FPP=∑(IP)/TP, Kpp es el coeficiente ponderador para el factor productivo

Para propósitos de esta investigación se calculó el Kpi de acuerdo a la Ecuación 2.

Ecuación 2

$$Kpi = \frac{\text{número de indicadores del factor "i"}}{\text{Número total de Indicadores.}}$$

Una vez determinado el ISAE, se valoraron los niveles de sustentabilidad de acuerdo a la escala propuesta en la tabla 3, la cual reflejó el nivel de sustentabilidad de los municipios, basado en los sistemas productivos de la papa.

Tabla 3

Propuesta de niveles de sustentabilidad para la evaluación de los sistemas agrícolas.

NIVELES DE SUSTENTABILIDAD			
No sustentable	Poco Sustentable	Medianamente Sustentable	Sustentable
0 – 0.5	0.51 – 0.70	0.71 – 0.90	> 0.90
No hay beneficio	Poco beneficio	Beneficios perceptibles	Beneficios esperados

Nota: Modificado de Zinck et al. (2005); Gravina Hernández y Leyva Galán (2012).

Análisis climático en el área de estudio (% de cambio de precipitación y de cambio de temperatura)

El análisis climático fue desarrollado, a partir de los registros durante el periodo comprendido entre los años 1986 a 2019, de las variables temperatura media y precipitación media para cada una de las (27) veintisiete estaciones meteorológicas del IDEAM, distribuidas en el área de estudio. Lo anterior, dando cumplimiento al tiempo mínimo recomendado para análisis sobre cambio climático, del IDEAM (2021).

Teniendo en cuenta que estos datos den ser continuos, para las estaciones que no contaban con el parámetro de temperatura, para todos los años, este valor se completó empleando el método racional; el cual según, Toro et al. (2015), para completar los datos faltantes, se requiere contar con datos de otras estaciones relativamente cercanas del orden de (25) veinticinco km de distancia y por lo menos con datos históricos de mínimo (10) diez años, para estimar una correlación lineal y proceder a completar los datos.

CAPACIDAD DE ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO DE...

A partir de los parámetros de precipitación y temperatura, se construyeron los mapas, empleando el software ARGIS de ESRI (2021), de isoyetas e isotermas para los dos periodos de tiempo bajo estudio, cada uno de 17 años.

También se generaron los respectivos mapas para el cambio porcentual de la variación de precipitación y el cambio de temperatura.

En el Anexo 3, referente a información meteorológica se presenta la información relacionada con las (27) veintisiete estaciones meteorológicas seleccionadas para el análisis climático del área de estudio, se especifican aspectos como: Nombre de la estación, variables, altitud sobre el nivel del mar, coordenadas geográficas, entre otros.

Luego, mediante el software ArcGIS se realizó la interpolación utilizando el método de distancia inversa ponderada (IDW), el cual estima los valores de las celdas calculando promedios de los valores de los puntos de datos de muestra en la vecindad de cada celda de procesamiento (CITA).

Cuanto más cerca está un punto del centro de la celda que se está estimando, más influencia o peso tendrá en el proceso de cálculo del promedio, según Environmental Systems Research Institute (ESRI) (2021). De esta manera se obtuvieron los mapas de precipitación y temperatura medios multianuales para cada periodo de tiempo y se procedió a estimar los porcentajes de variación de precipitación y la variación en la temperatura en el área de estudio.

Índice de disponibilidad Hidro-Ambiental (IDHA), índice de sequía Hidro-ambiental (ISHA), índice holístico de Riesgo (IHR) e índice de adaptación al cambio climático (IACC)

Se procedió a obtener el promedio mensual para cada estación meteorológica durante los (12) doce meses del año para proceder al cálculo del IDHA e ISHA. Para la determinación del índice de disponibilidad hidro-ambiental y sequia hidro-ambiental, se sistematizó la información correspondiente a las precipitaciones y temperaturas medias mensuales durante el periodo multianual analizado (1986-2019).

CAPACIDAD DE ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO DE...

Para este caso, se tomó como referencia la estación central para cada municipio o en su defecto aquellas más cercanas, con el propósito de obtener una mayor aproximación en el cálculo de los índices.

Los índices se calcularon de acuerdo al método de Martonne, modificado por Troyo Dieguez et al. (2004), el cual utiliza la temperatura media mensual en °C y la precipitación mensual en mm de tal forma que $A_{mod} f(t, pp)$. Cuya escala para este caso se encuentra está limitada de 0 a 10 unidades, aplicable a condiciones de precipitación alrededor 100mm y 170mm en los meses más lluviosos. (Ver Ecuación 3.)

Ecuación 3

$$IDHA = Ke \frac{(12pp)}{t + 10}$$

Donde,

IDHA = índice de disponibilidad hidro-ambiental (Disponibilidad hídrica por precipitación es muy sensible en zonas áridas)

pp = Precipitación mensual en mm

t = Temperatura media mensual °C

Ke = es un coeficiente adimensional de ajuste de escala, con un valor de 0.9 - 0.13 de acuerdo a las máximas precipitaciones mensuales de los municipios objeto de estudio.

Donde,

Ecuación 4

$$Ke = Pi/PA. (Pi = precipitación mensual máxima, PA = precipitación mensual)$$

A partir del IDHA, se calculó el ISHA mediante la siguiente ecuación:

Ecuación 5

$$ISHA = 10 - IDHA$$

Para complementar el cálculo de los índices IDHA e ISHA, se procedió a determinar las condiciones bioclimáticas para el periodo mensual de cada uno de los municipios bajo estudio. Para

CAPACIDAD DE ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO DE...

aquellos municipios donde se toma como referencia más de una estación meteorológica se sacan promedios. El índice se calculó mediante la Ecuación 6,

Ecuación 6

$$I_m = \frac{(12pp)}{t + 10}$$

Donde,

I_m = Índice de Martonne

Pp= Precipitación media mensual

T= Temperatura media mensual

Según los valores obtenidos se clasifica cada mes como se muestra en la Tabla 4.

Tabla 4

Clasificación según Martonne

Valor de índice	Clasificación
0 – 5.0	Árido
5.1 -10	Semiárido
10.1 – 20	Subhúmedo
20.1 – 35	Húmedo
35.1 – 100	Húmedo Lluvioso
>100	Húmedo Lluvioso sin Diferencias Estacionales Todo el Año

Nota: Extraído de Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) (2021).

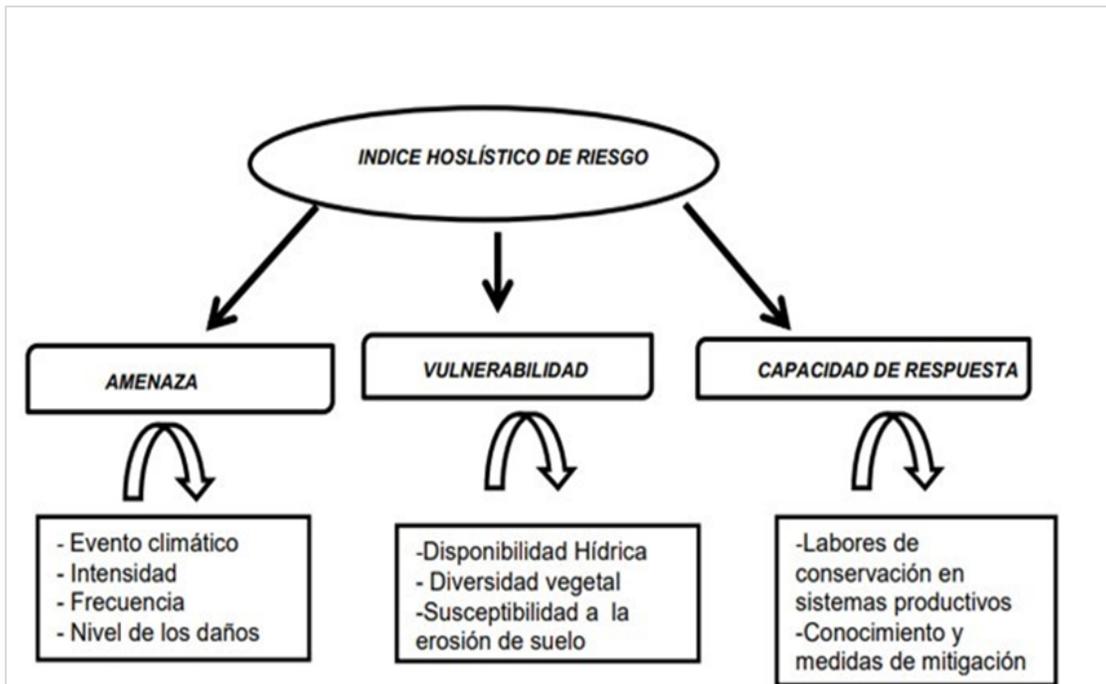
Para evaluar la resiliencia socio ecológica, se utilizó el “Índice Holístico de Riesgo” propuesto por Barrera et al. (2018), mediante el análisis de los indicadores de amenazas, vulnerabilidades y capacidad de respuesta encontrados en los sistemas productivos de la papa. Los criterios que se abordaron para cada indicador se resumen en la

[Figura 3](#)~~Figura 2.~~

Las amenazas, están en función de los eventos climáticos que más afectan el cultivo (inundaciones, heladas y sequias) y las cuales fueron señaladas en las entrevistas.

Figura 32

Indicadores para Establecer los Valores de “Amenaza”, “Vulnerabilidad” y “Capacidad de Respuesta”.



Nota: Tomado de Álvarez Morales (2015).

El índice Holístico de Riesgo fue calculado con la ecuación 7.

Ecuación 7

$$Riesgo = \frac{Amenaza + Vulnerabilidad}{Capacidad de respuesta}$$

El IHR se clasificó según las escalas presentadas en la Tabla 5.

Tabla 5

Relaciones entre Valores IHR, Nivel de Riesgo y Niveles de Resiliencia Socioecológica.

Valor IHR	Nivel Riesgo	Nivel Resiliencia Socioecológica
<0	Muy bajo	Muy alto
0 a 1	Bajo	Alto
1.1 a 1.9	Medio	Medio
2.0 a 2.9	Alto	Bajo
>3	Muy alto	Muy bajo

Nota: Modificado de Barrera et al. (2018).

Índice de adaptación del cultivo de papa al cambio climático (IACC)

El índice se construyó a partir de los valores de referencia para los parámetros: ciclo de vida del cultivo (Cc), necesidades de riego (Nr) y tolerancia a las altas y bajas temperaturas (Tmax) y (Tmin) respectivamente, toda vez que dichos parámetros condicionan la adaptación y productividad del cultivo de la papa, Yadav et al. (2011).

En la Tabla 6 se presentan los valores de referencia para las variedades representativas de papa, algunas cuentan con modificación genética para mayor resistencia a plagas y a condiciones climáticas.

Tabla 6

Valores de Referencia para el Cultivo de la Papa, de Acuerdo a la Variedad.

Variedades de papa	Ciclo de vida (días)	Agua necesaria por ciclo de producción	Temperatura
Pastusa, Tocarreña, Superior, Única, Rubí, Capiro, Betina.	170		
Betina, R12	120		
Diacol Capiro	120		
Betina, R12	120		
Pastusa, Superior y Rubí	130	400 -1000 mm	13 - 18 °C
Pastusa, R12	150		
Pastusa, Superior, Perla negra, Única mejorada genéticamente	130		
Superior, Rubí, Betina, Ica Única	165		
Superior, Rubí	180		
Superior, Única, R12.	180		

Nota: Variedad en papa se refiere a una subdivisión dentro de la especie vegetal que incluye un grupo de individuos con características similares que se consideran estables y homogéneas.

Adaptado de Zuñiga Chila et al. (2017), Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial; Fedepapa (2004) y Anzoátegui (2012).

Incidencia del Cambio Climático e Identificación de Oportunidades de Adaptación al Cambio Climático para el Cultivo de la Papa en el Departamento de Boyacá

Para esta última determinación, se planteó una tabla con la información generada de los puntos críticos de acuerdo con el análisis de los cinco factores (clima, agua, suelo, social y productivo) que influyen en el ISAE, de la información recolectada en la encuesta y de la revisión de literatura; para posteriormente, proceder a plantear las oportunidades de adaptación al cambio climático para los sistemas productivos de papa en el departamento de Boyacá, de acuerdo con las necesidades identificadas y en concordancia con la revisión de literatura.

Resultados

A continuación, se presentan los resultados obtenidos en esta investigación, los cuales dan cumplimiento a los dos supuestos formulados, donde el supuesto uno se refería a que los agrosistemas productivos de papa en el departamento de Boyacá pueden orientarse hacia modelos de sostenibilidad y sustentabilidad, y el supuesto dos expresaba, como los sistemas productivos paperos de Boyacá son susceptibles de adaptación al cambio climático.

Adicionalmente se evidencia claramente la aceptación de la hipótesis la cual se enuncio como: Empleando herramientas metodológicas se evidenciará la adaptabilidad de los sistemas productivos paperos al cambio climático en Boyacá.

Por último, con los resultados obtenidos se puede mostrar claramente el cumplimiento de cada uno de los objetivos propuestos para esta investigación.

Localización de los Municipios Bajo Estudio

En la

Con form

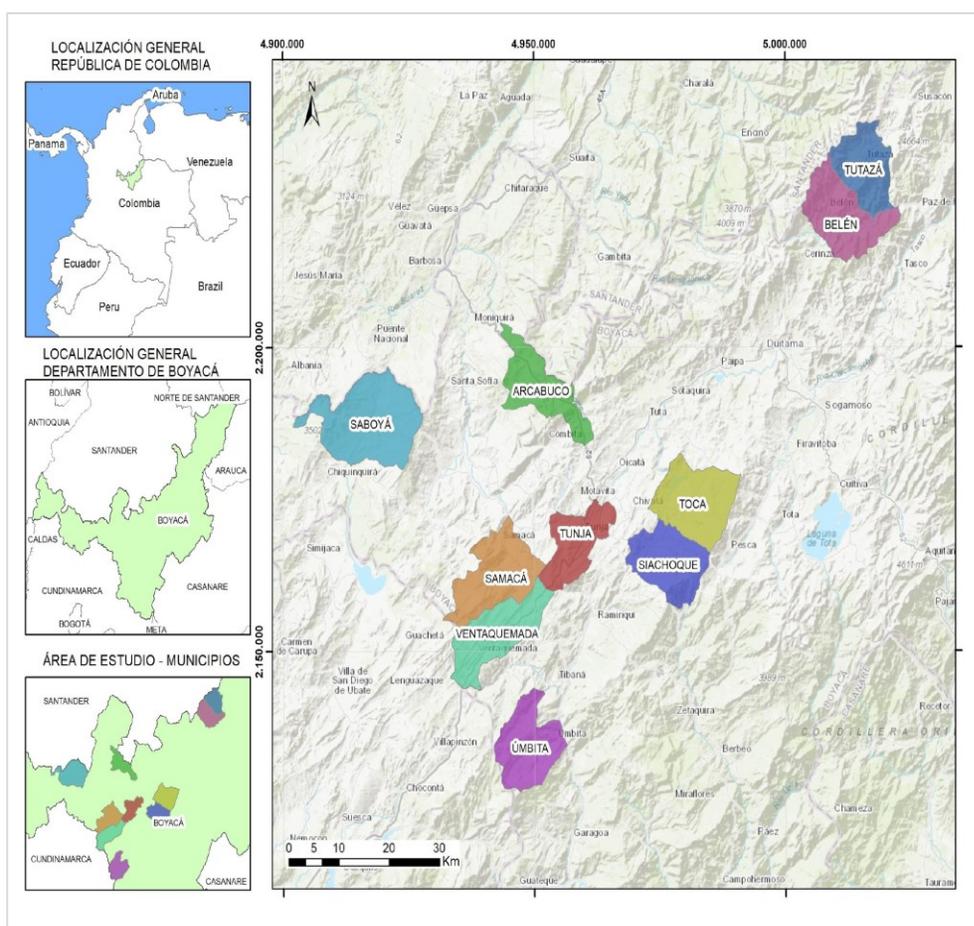
Con form

CAPACIDAD DE ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO DE...

Figura 4 **Figura 4**, se puede observar el área donde se desarrolló la presente investigación, y la localización de cada uno de los municipios objeto de estudio (Tunja, Ventaquemada, Toca, Samacá, Saboya, Siachoque, Arcabuco, Belén, Tutazá y Úmbita).

Figura 4

Localización área de estudio.



Recopilación de información socio productiva de los sistemas de papa

En esta sección se presentan los resultados de la encuesta aplicada a los agricultores de papa en los (10) diez municipios bajo estudio.

Género

Según la encuesta aplicada, la participación de mujeres en el cultivo de papa es de 20%, en contraste con un 80% de hombres, como se observa en la Gráfica 1. Se considera que la participación para el género femenino es baja, posiblemente porque se requiere mayor trabajo físico, algunas desarrollan actividades diferentes a las labores agrícolas, y además están dedicadas al cuidado de los hijos y del hogar.

Gráfica 1

Participación en el Cultivo por Género.



Nota: Adaptado, Survey 123

Edad

De la encuesta, se determinó que el 50% de los entrevistados, tienen entre 46 y 60 años de edad, un 10% más de 60 años, un 20% entre 36 y 45 años, y solo un 20% está entre los 26 y 35 años, como se muestra en la Gráfica 2.

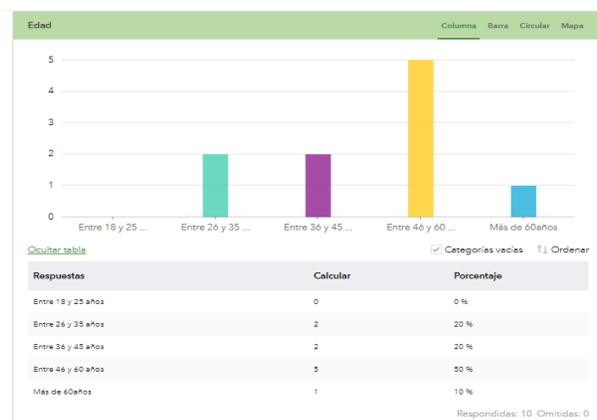
Se puede observar que no se cuenta con personas menores a 25 años, la razón de lo anterior se puede deber a que actualmente, están estudiando o trabajando en la ciudad, finalmente se puede

CAPACIDAD DE ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO DE...

ultimar que un 60% de la población tiene más de 46 años, donde se encuentra la población mayoritaria, la cual se dedica a labores agrícolas.

Gráfica 2

Participación por Edad.



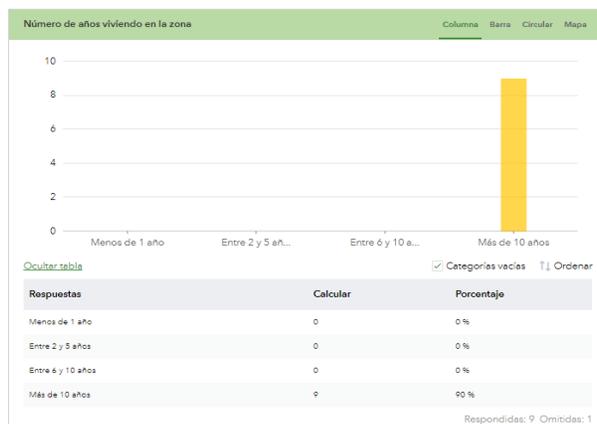
Nota: Adaptado, Survey 123

Años viviendo en la zona

Al preguntar a los encuestados, lo referente a cuantos años llevan viviendo en la zona, se determinó que el 90% de los entrevistados lleva más de diez años viviendo en su municipio (ver Gráfica 3).

Gráfica 3

Número de Años Viviendo en la Zona.



CAPACIDAD DE ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO DE...

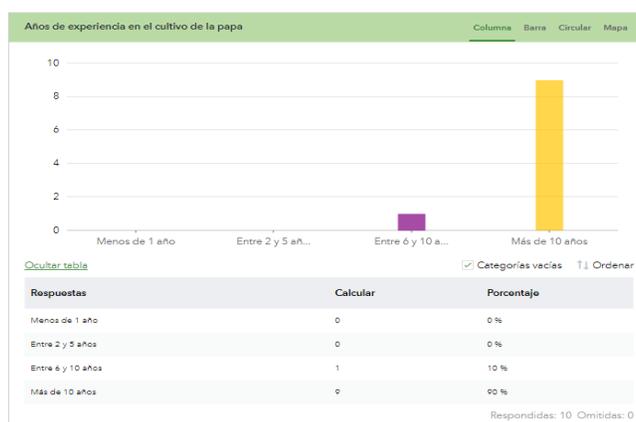
Nota: Adaptado, Survey 123.

Años de experiencia en el Cultivo de Papa

Al indagar en la encuesta respecto a años de experiencia cultivando papa, de acuerdo con la Gráfica 4, el 90% tiene más de 10 años de práctica, lo cual es consistente con el tiempo mínimo que llevan viviendo en la localidad, y un 10% de los encuestados llevan un tiempo entre 6 y 10 años.

Gráfica 4

Años de Experiencia en el Cultivo de la Papa.



Nota: Adaptado, Survey 123

Personas que integran el núcleo familia

Respecto a la pregunta acerca de cuantas personas integran la familia, como se evidencia en la Gráfica 5, el 60% de los entrevistados comenta que cuenta con un grupo familiar entre 5 y 10 personas, y el 40% restante, con un grupo de menos de 5 personas. Lo anterior es consistente con las edades de los agricultores, considerando que el 60%, tiene más de 46 años y que incluso pueden contar con nietos en el núcleo familiar.

Gráfica 5

Personas que Integran el Núcleo Familiar.

CAPACIDAD DE ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO DE...



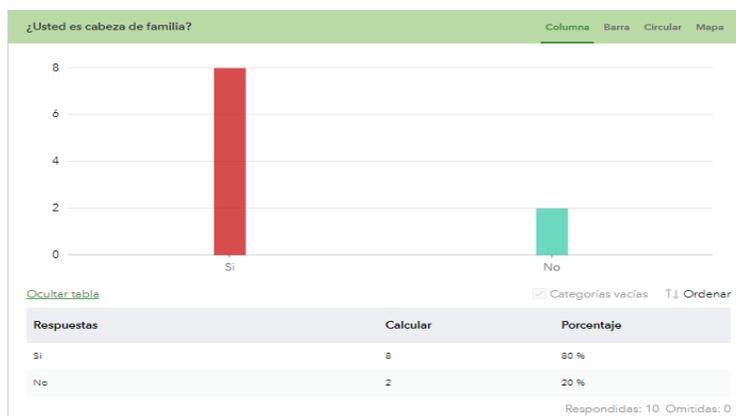
Nota: Adaptado, Survey 123

Cabeza de familia

Cuando se indaga en la encuesta, si su rol familiar es ser cabeza de familia, el 80% de los entrevistados manifestó que, si lo es, mientras que el 20% restante contestó que no; lo cual se observa en la Gráfica 6.

Gráfica 6

Condición de Cabeza de Familia.



Nota: Adaptado, Survey 123

Propiedad del terreno

Al preguntar en la encuesta, si el agricultor es propietario del terreno empleado para la siembra de papa, de acuerdo con la Gráfica 7, el 50% de los encuestados manifestó que el terreno es propio, y el otro 50%, comento que es arrendado.

Gráfica 7

Tenencia de los Predios donde se Cultiva.



Nota: Adaptado, Survey 123

Nivel de Educación

Para la pregunta referente al nivel de educación alcanzado por los participantes, las respuestas fueron: 50% aprobaron hasta básica primaria, 10% aprobaron hasta secundaria, un 20% alcanzo hasta nivel técnico y finalmente un 20% hasta graduarse como profesional. En la Gráfica 8, se muestra esta información.

Gráfica 8

Nivel de Educación.

CAPACIDAD DE ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO DE...



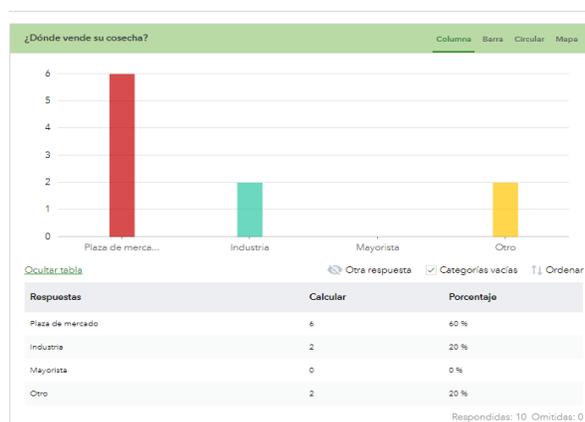
Nota: Adaptado, Survey 123

Lugar de venta de la cosecha

Cuando se averiguo con los agricultores por el lugar de venta de la cosecha, se determinó según la Gráfica 9, que el 60% la vende en una plaza de mercado, el 20% a una industria, y el 20% restante la comercializa como otra alternativa.

Gráfica 9

Lugar de Comercialización de Cosechas.



Nota: Adaptado, Survey 123

Procedencia del recurso económico para la siembra

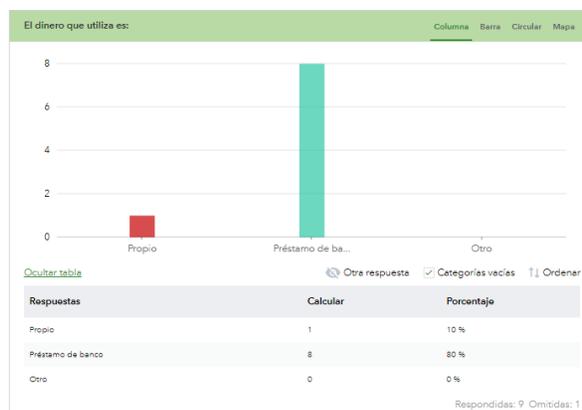
Las respuestas dadas por los participantes respecto a la pregunta de la procedencia del recurso económico para realizar la actividad de siembra de papa, fueron: El 80% manifestó que proviene de un

CAPACIDAD DE ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO DE...

préstamo bancario, el 10% contestó que cuenta con recursos propios, el otro 10% no respondió a la pregunta; Lo anterior se observa en la Gráfica 10.

Gráfica 10

Capacidad de Respaldo de Cultivo – Factor Económico.



Nota: Adaptado, Survey 123

Pertenencia a asociaciones

En lo que se refiere a la pregunta relacionada con pertenencia o participación en asociaciones, el 90% de los encuestados, manifestó que es asociado y el 10 % restante comentó que no pertenece a ninguna asociación (Ver Gráfica 11).

Gráfica 11

Pertenencia a Asociaciones.



CAPACIDAD DE ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO DE...

Nota: Adaptado, Survey 123

Realiza riego de cultivo

Respecto a la pregunta de si realiza el riego del cultivo, el 60% de los encuestados indica que sí lo hace y el 40% restante dice que no; como se puede observar en la Gráfica 12.

Gráfica 12

Riego de Cultivo.



Nota: Adaptado, Survey 123

Lugar de toma de agua para riego

Cuando se cuestionó a los agricultores por el sitio de donde capta el agua para riego del cultivo de papa, de acuerdo con la Gráfica 13, se pudo establecer que el 40% la toma de un reservorio, un 10% de otra manera y el 50% restante no especificó.

Gráfica 13

Fuentes de agua para riego de cultivos.

CAPACIDAD DE ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO DE...



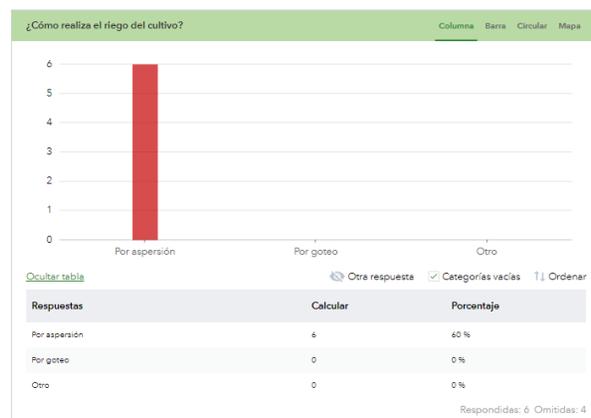
Nota: Adaptado, Survey 123

Forma de realizar el riego

Al inquirir por la manera como se realiza el riego del cultivo, considerando la Gráfica 14, el 60% de los encuestados, manifestó que el riego lo hace por aspersión, el otro 40% no lo especificó.

Gráfica 14

Modalidades de riego de cultivo.



Nota: Adaptado, Survey 123

Rotación de cultivos

Al realizar la pregunta respecto a si realiza rotación de cultivos, el 90% de los agricultores informó que realiza rotación de cultivos, en contraste el 10% restante, no lo hace, lo que se puede observar en la Gráfica 15.

CAPACIDAD DE ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO DE...

Gráfica 15*Rotación de cultivos.*

Nota: Adaptado, Survey 123

Agroquímicos empleados

Cuando se averiguo por el uso de agroquímicos, los agricultores comentaron que el 90% usa abonos, plaguicidas y otros productos complementarios, finalmente, el 10% restante no especificó que emplea, en la Gráfica 16 se puede observar esta información.

Gráfica 16*Uso de agroquímicos.*

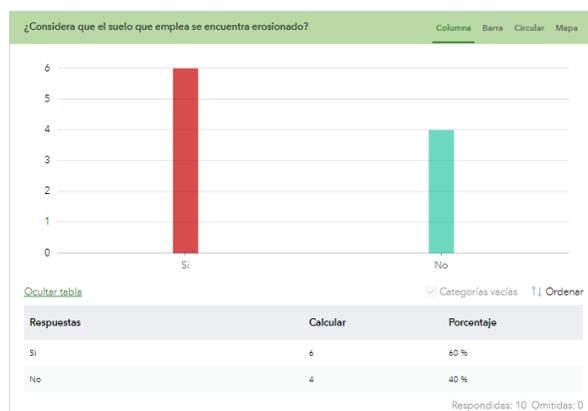
Nota: Adaptado, Survey 123

Suelo erosionado

Según la Gráfica 17, en lo referente a la cuestión de si el suelo que usa para la siembra del cultivo de papa esta erosionado, el 60% de los agricultores considera que el suelo está erosionado, el 40% restante, considera que no.

Gráfica 17

Erosión de suelos de cultivo.



Nota: Adaptado, Survey 123

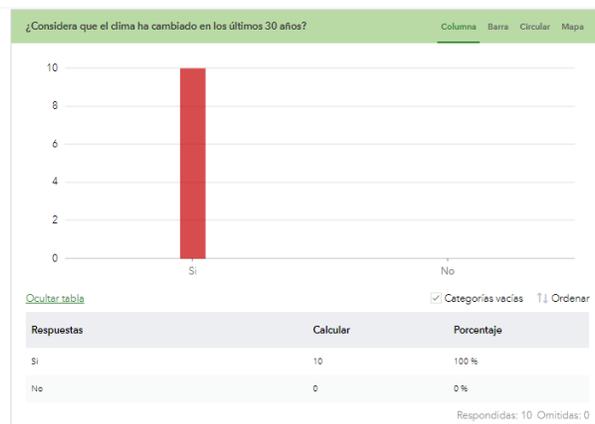
Cambio del clima en los últimos 30 años

Al preguntar a los agricultores por el cambio del clima en los últimos 30 años, según la Gráfica 18, se pudo establecer que el 100% de los productores de papa considera que el clima ha cambiado en los últimos 30 años.

Gráfica 18

Cambios en el Factor Clima.

CAPACIDAD DE ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO DE...



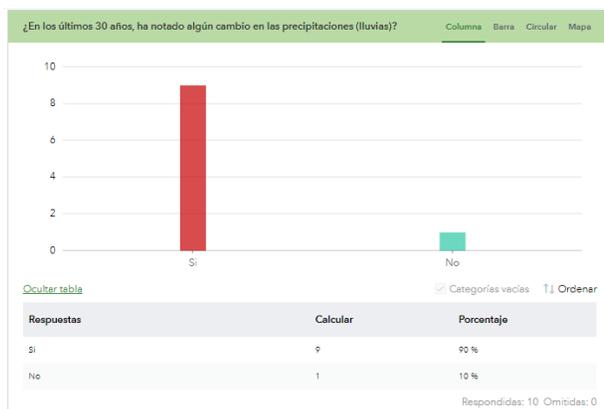
Nota: Adaptado, Survey 123

Cambio de las precipitaciones en los últimos 30 años

Ante la pregunta si considera que las precipitaciones han cambiado en los últimos 30 años, como se muestra en la Gráfica 19, el 90% de los agricultores contestó que las precipitaciones cambiaron en los últimos 30 años y el 10% restante, no.

Gráfica 19

Cambios en el Factor Clima – Precipitaciones.



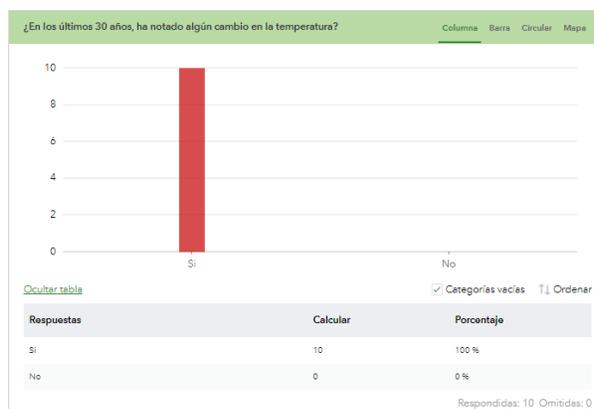
Nota: Adaptado, Survey 123

Cambio en los últimos 30 años de la temperatura

Cuando se hizo la pregunta de si la temperatura ha cambiado en los últimos 30 años, de acuerdo con la Gráfica 20, el 100% de los productores de papa considera que la temperatura ha cambiado en los últimos 30 años.

Gráfica 20

Cambios en el Factor Clima – Temperatura.



Nota: Adaptado, Survey 123

Cambio en el brillo solar en los últimos 30 años

Al consultar que, si se considera que el brillo solar ha cambiado en los últimos 30 años, el 90% de los agricultores piensa que el brillo solar ha cambiado en los últimos 30 años y el 10% restante, considera que no (Ver Gráfica 21).

Gráfica 21

Cambios en el Factor Clima – Brillo Solar.

CAPACIDAD DE ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO DE...



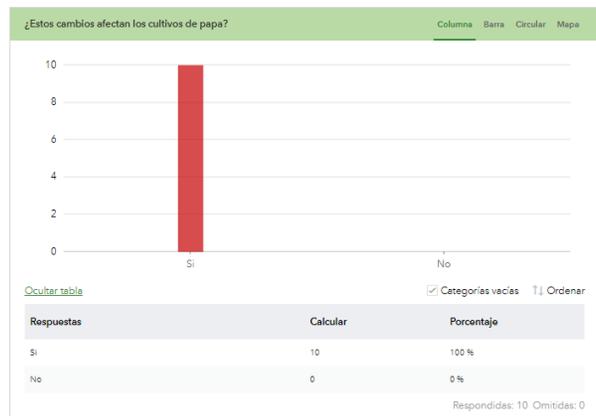
Nota: Adaptado, Survey 123

Los cambios de condiciones climáticas afectan los cultivos de papa

Como se muestra en la Gráfica 22, de acuerdo con la pregunta de si los cambios de las condiciones climáticas afectan los cultivos de papa, el 100% de los agricultores considera que los cambios de condiciones climáticas afectan los cultivos de papa.

Gráfica 22

Grado de Afectación Factor Clima en los Cultivos.



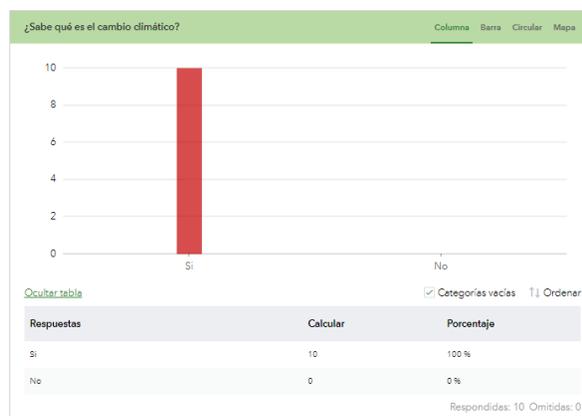
Nota: Adaptado, Survey 123

Conocimiento del concepto cambio climático

Para la pregunta referente al conocimiento del concepto de cambio climático, el 100% de los productores de papa manifiesta conocer el concepto de cambio climático, como se evidencia en la Gráfica 23.

Gráfica 23

Conocimiento Concepto de Cambio Climático.



Nota: Adaptado, Survey 123

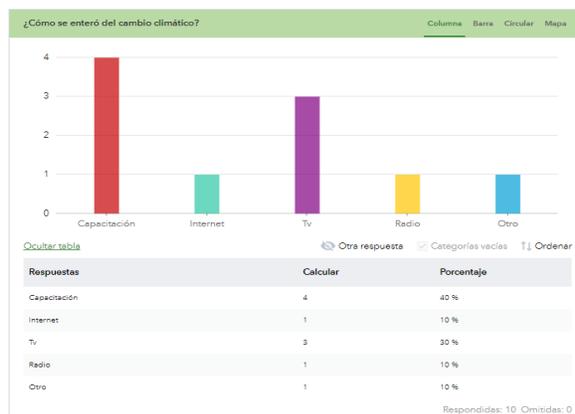
Como conoció el término de cambio climático

Según la Gráfica 24, al realizar la pregunta de cómo conoció el término de cambio climático, el 40% de los entrevistados se enteró del término de cambio climático por capacitaciones, el 30% por televisión, el 10% por internet, y el 10% otro medio.

Gráfica 24

Fuentes de Información sobre Cambio Climático.

CAPACIDAD DE ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO DE...



Nota: Adaptado, Survey 123

El cambio climático ha afectado al suelo cultivado

Cuando se realizó la indagación correspondiente a si el cambio climático ha afectado al suelo, el 70% de los entrevistados consideró que el cambio climático sí ha afectado al suelo, el 20% piensa que no y el 10% restante no respondió (Ver Gráfica 25).

Gráfica 25

Grado de Afectación del Cambio Climático en el Recurso Suelo.



Nota: Adaptado, Survey 123

Capacitaciones recibidas para disminución del impacto del cambio climático en el cultivo de papa

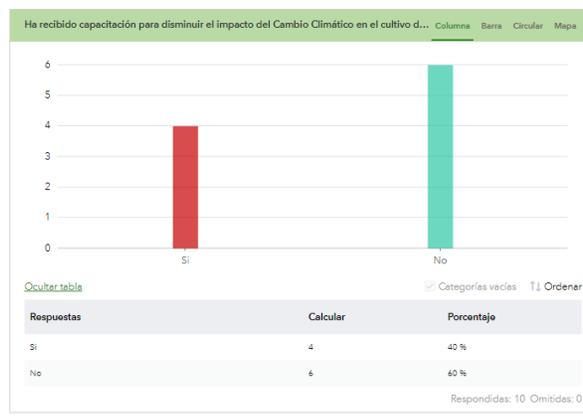
Al cuestionar a los agricultores respecto a las capacitaciones recibidas para la disminución del impacto del cambio climático en el cultivo de papa, el 40% de los encuestados manifestó que ha sido

CAPACIDAD DE ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO DE...

capacitado en disminución de impactos por cambio climático, y el 60%, no, tal como se observa en la Gráfica 26.

Gráfica 26

Capacitaciones sobre Cambio Climático.



Nota: Adaptado, Survey 123.

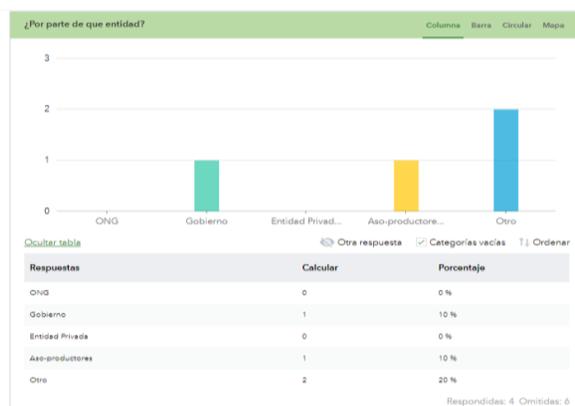
Entidad que dio la capacitación en reducción de impactos de cambio climático en cultivo de papa

Para los agricultores que habían recibido alguna capacitación para reducir los impactos del cambio climático en el cultivo de papa, se les pregunto acerca del tipo de entidad capacitadora, de tal forma que del 40% de los entrevistados capacitados, el 10% fue capacitado por una entidad gubernamental, otro 10% por la asociación de productores, y el 20% restante, por otro tipo de entidad (Ver Gráfica 27).

Gráfica 27

Entidades que Capacitan sobre Cambio Climático en el AE.

CAPACIDAD DE ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO DE...



Nota: Adaptado, Survey 123

Caracterización de los factores agua y suelo

Respecto a la caracterización del factor agua, en la Tabla 7 y Tabla 8, se presentan los resultados obtenidos para una muestra de agua proveniente de la quebrada la chorera, ubicada en el municipio de Toca, cerca de los cultivos de papa, municipio, al que se le realizó la visita de campo a los sistemas productivos, en el Apéndice E se encuentra lo observado en la visita.

Al contrastar los resultados obtenidos con la normatividad, se encuentra que esta muestra presenta valores típicos para agua fuente, de acuerdo con el Título C, Colombia - Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio - MINVIENDA (2010) y no se encuentra afectada por contaminación por plaguicidas organoclorados.

Tabla 7

Resultados trabajo de campo para muestra de agua superficial, Rio la Chorrera.

Parámetro	Resultado	Unidades
pH	6.62	unidades
Oxígeno Disuelto	7.46	mg/L
Conductividad Eléctrica	16	µs/cm
Cloruros	1.67	mg/L
Temperatura	13.12	°C
Turbiedad	3	NTU

Nota: Trabajo de Campo grupo GIGA y Laboratorio Ingeniería Ambiental UPTC

Tabla 8*Resultados laboratorio para muestra de agua superficial, Rio la Chorrera*

Parámetro	Resultado	Unidades
Cloruros	1.7	mg/L
Color real	28.5	U Pt/Co
Fenoles	<0.002	mg/L
Fosfatos	0.13	mg/L
Fósforo Total	0.18	mg/L
Grasas y Aceites	<3.6	mg/L
Nitratos	<0.8	mg/L
Nitrógeno Amoniacal	<0.3	mg/
Sulfatos	2.42	mg/L
Surfactantes Aniónicos como SAAM	<0.02	mg/L
Arsénico	<0.021	mg/L
Cadmio	<0.006	mg/L
Cinc	0.013	mg/L
Cobre	0.026	mg/L
Níquel	<0.006	mg/L
Plomo	<0.005	mg/L
Bario	0.057	mg/L
Boro	<0.009	mg/L
Hierro	1.27	mg/L
Mercurio	<0.003	mg/L
Presencia de Compuestos Orgánicos Volátiles	--	mg/L
Plaguicidas Organoclorados – POC		
a-BHC	<0.003	µg/L
b-BHC	<0.005	µg/L
Lindano g – BHC	<0.003	µg/L
d-BHC	<0.005	µg/L
Heptacor	<0.003	µg/L
Aldarin	<0.003	µg/L
Heptaclor epóxido	<0.003	µg/L
Endosulfan I	<0.003	µg/L
Dieldrin	<0.003	µg/L
4,4 – DDE	<0.003	µg/L
Endrin	<0.005	µg/L
Endosulfan II	<0.003	µg/L
4,4 – DDT	<0.003	µg/L
Endrid aldehído	<0.004	µg/L
Endosulfan sulfato	<0.004	µg/L
4,4 – DDT	<0.005	µg/L
Metoxicolor	<0.007	µg/L

Nota: Informe de resultados Laboratorio de Ingeniería Civil y Ambiental Universidad de Los Andes.

Resultados Sistematización, Estandarización de Indicadores***Indicadores del factor Clima***

En la Tabla 9 y en la Gráfica 28, se presentan los indicadores para determinar el factor clima, para cada uno de los diez municipios de esta investigación, se debe comentar que se propusieron valores de temperatura y precipitación óptimos para el cultivo de papa, y para los demás parámetros condiciones que minimicen los riesgos climáticos.

Entre otros parámetros a considerar, se incluyen la temperatura media, la precipitación anual, la ocurrencia de sequías, la posibilidad de heladas, el riesgo de inundaciones durante el ciclo del cultivo de papa, se debe comentar que la Tabla 9, se adaptó para este estudio, de Álvarez Morales (2015).

CAPACIDAD DE ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO DE...

c) Alta probabilidad	1										
5. RIESGO DE INUNDACIONES DURANTE EL CICLO DEL CULTIVO											
a) Muy baja o nulo	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
b) Baja, solo 1 anual	7										
c) Posibilidad alta o muy alta	4										
Total, Favorable (Máximo Posible) (Suma Superior)	50	35	35	35	35	35	35	38	38	35	35
Total, No Favorable (Mínimo Posible) (Suma Inferior)	15										
Ponderado	1	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.76	0.76	0.70	0.70

Nota VR, está relacionado con el máximo puntaje para la mejor condición y el mínimo para la peor condición, para cada parámetro y en cada localidad. Adaptado de Álvarez Morales (2015).

Gráfica 28

Ponderación de Indicadores Factor Clima para el AE.



Analizando los cinco parámetros de interés para el factor clima se encuentra lo siguiente: Para la temperatura media, todos los municipios de este estudio presentan temperaturas óptimas para el cultivo de papa entre 13 y 18 °C; Se debe comentar que estos valores son adecuados para el cultivo de papade acuerdo con (Álvarez Morales, 2015; Zuñiga Chila et al., 2017; Anzoategui, 2012). En lo que respecta a precipitación anual, se encuentra que todos los municipios tienen valores mayores a los 2000 mm, lo cual es adecuado para el desarrollo del cultivo de papa en Boyacá, según (Anzoátegui, 2012).

En lo que se refiere a la ocurrencia de sequías, los municipios de Arcabuco y Úmbita, presentan dos a cuatro meses con lluvia cero, los demás municipios bajo estudio presentan cinco o más meses al año con lluvia cero o no efectiva; En lo concerniente a la posibilidad de heladas se encontró que todos los municipios de interés presentan una alta probabilidad de heladas; Finalmente, en lo que respecta al riesgo de inundaciones durante el ciclo del cultivo de papa, se encontró que todos los municipios presentan un riesgo muy bajo o nulo.

De acuerdo con lo anterior se realizó el respectivo cálculo del índice para factor clima FC, encontrándose valores de 0.76 para los municipios de Arcabuco y Úmbita y para los demás municipios

CAPACIDAD DE ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO DE...

bajo estudio de 0.70, lo que significa que el indicador de sustentabilidad para el factor clima está dentro del rango aceptable, es decir entre (0.66 a 0.80), al contrastar con los valores de FC, encontrados en el estudio de (Álvarez Morales, 2015), donde para tres regiones de interés debido a elevados riesgos de huracanes y vientos, así como posibilidad de heladas, estos valores oscilaban entre 0.54 y 0.62, equivalente a una condición deficiente.

Indicadores del Factor Agua

En lo que respecta, a los indicadores del factor agua, se tienen en cuenta parámetros relacionados con los requerimientos de calidad y disponibilidad del agua para riego agrícola; los indicadores utilizados fueron los siguientes: Seguridad en la disponibilidad de agua para la mayoría de los usuarios, potencial del ion hidronio (pH), Conductividad eléctrica (C.E.), Sólidos Disueltos Totales (SDT), Dureza, presencia de aniones indicadores de salinidad y presencia de contaminantes peligrosos.

Todos los parámetros se adaptaron al cultivo de papa de acuerdo con Álvarez Morales (2015), con los objetivos de calidad del agua para cada una de las cuencas hídricas donde están ubicados los municipios bajo estudio, Corporación Autónoma Regional de Boyacá (Corpoboyaca) (2015), Corporación Autónoma Regional de Chivor (Corpochivor) (2020) y Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR) (2009), y con recomendaciones de la USDA.

La información previamente comentada se encuentra en la [Tabla 10](#) y en la [Gráfica 29](#).

Con form

Con form

CAPACIDAD DE ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO DE...

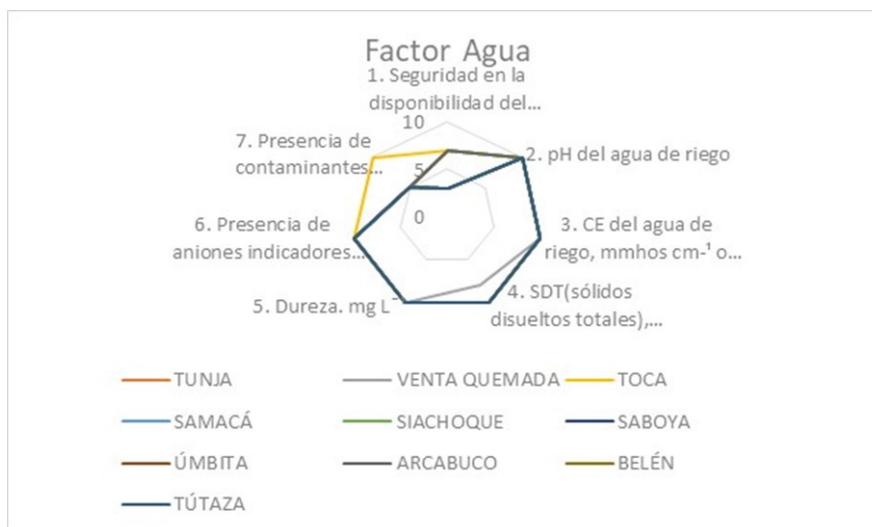
IA: Indicadores Factor Agua (FA)	V.R.	Tunja	Ventaquemada	Toca	Samacá	Siachoque	Saboya	Úmbita	Arcabuco	Belén	Tutazá
d) Mayor de 3000	4										
5. DUREZA mgL ⁻¹											
a) De 0 a 250	10										
b) Entre 250 y 500	8	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
c) Entre 500 y 750	6										
d) Mayor de 750	4										
6. PRESENCIA DE ANIONES INDICADORES DE SALINIDAD, Cl ⁻¹ + SO ₄ ⁻² , mgL ⁻¹											
a) De 0 a 250	10										
b) Entre 250 y 500	8	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
c) Entre 500 y 750	6										
d) Mayor de 750	4										
7. PRESENCIA DE CONTAMINANTES PELIGROSOS (PLAGUICIDAS, METALES PESADOS)											
a) Concentración menor a la norma	10										
b) Desconocida o no disponible	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
c) Concentración mayor norma	0										
Total, Favorable (Máximo Posible) (Suma Superior)	70	55	53	55	55	55	55	55	55	55	55
Total, No Favorable (Mínimo Posible) (Suma Inferior)	20										
Ponderado		0,79	0,76	0,86	0,64	0,79	0,64	0,64	0,79	0,79	0,79

Nota VR, está relacionado con el máximo puntaje para la mejor condición y el mínimo para la peor condición, para cada parámetro y

en cada localidad. Adaptado de Álvarez Morales (2015).

Gráfica 29

Ponderación de Indicadores para el Factor Agua del AE.



Analizando los valores obtenidos para los siete parámetros de interés para el cálculo del factor agua, se observó lo siguiente: Para la seguridad en la disponibilidad de agua, ninguno de los agricultores de los municipios bajo estudio, cuenta con concesión de aguas, solo el municipio de Toca cuenta con reservorios; respecto al pH del agua para riego, se encontró, en todos los casos, que el agua presenta un pH entre 6 y 8 unidades, se debe comentar que este valor se considera levemente ácido, según las recomendaciones del pH para el agua para riego, el cual debe estar entre 6.5 y 8.4 (Organización de la Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura (FAO), 1994); en lo que respecta a la conductividad eléctrica del agua de riego, todos los municipios tienen un valor inferior a $1 ds \cdot m^{-1}$, lo anterior cumple con las recomendaciones de la (FAO, 1994), donde esta debe ser inferior a $3 ds \cdot m^{-1}$; para lo referente al contenido de Sólidos Disueltos Totales (SDT), el agua de riego para el municipio de Ventaquemada está en un rango entre 1000 y 2000 $mg \cdot L^{-1}$, los demás municipios bajo estudio presentan valores en el rango entre 0 y 1000 $mg \cdot L^{-1}$; lo cual es adecuado de acuerdo con la (FAO, 1994), donde deben ser inferiores a 2000 $mg \cdot L^{-1}$; para el indicador de la Dureza del agua de riego, todos los municipios se encuentran en el rango entre 0 y 250 $mg \cdot L^{-1}$ de $CaCO_3$, se debe comentar que las aguas blandas tienen durezas entre 0 y

CAPACIDAD DE ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO DE...

75 mg*L⁻¹, moderadamente duras entre 75 y 150 mg*L⁻¹, y duras entre 150 y 300 mg*L⁻¹, por lo que se clasifican entre blandas y duras; en lo que se refiere a la presencia de aniones indicadores de salinidad (Cl⁻+SO₄⁻²), el agua de todos los municipios cuenta con valores en el rango entre 0 y 250 mg*L⁻¹; finalmente, en lo concerniente a la presencia de contaminantes peligrosos, se tomó como información desconocida o que no está disponible.

De acuerdo con los resultados anteriores, se determinó el índice para el factor agua FA, encontrándose para el municipio de Toca de 0.86, clasificándose dentro del rango óptimo de (0.81 a 1.00); para el municipio de Ventaquemada fue de 0.76 y para los demás municipios bajo estudio, fue de 0.79 lo que significa que el indicador de sustentabilidad para este factor para nueve municipios, se encuentra en el rango aceptable (0.66 a 0.80). Al comparar con los resultados obtenidos por (Álvarez Morales, 2015), se encuentra que para las tres localidades bajo estudio estos valores fueron de 0.66, 0.75 y 0.81 respectivamente, lo que clasifica a las dos primeras localidades como aceptables y a la última localidad como óptima de (0.81 a 1.0), lo anterior está relacionado con adecuados valores de disponibilidad del agua, pH de riego, conductividad eléctrica, entre otros.

Indicadores del Factor Suelo

En la correspondiente Gráfica 30 y en la Tabla 11, se muestran los indicadores propuestos para determinar el factor suelo, para los diez municipios de interés. Se plantearon condiciones óptimas para el suelo para siembra del cultivo de papa, de acuerdo con criterios adaptados por Álvarez Morales (2015), los indicadores utilizados fueron los siguientes: Estabilidad de la estructura, capacidad de retención de humedad, tipo de estructura y velocidad de infiltración, pH del extracto de saturación, C.E. del extracto de saturación, densidad aparente, contenido de materia orgánica, contenido de fósforo disponible, contenido de Nitrógeno, presencia de cationes relacionados con la capacidad de intercambio catiónico (CIC). La Tabla 11 se adaptó para este estudio de Álvarez Morales (2015).

CAPACIDAD DE ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO DE...

IS: Indicadores Factor Suelo (FS)	V.R.	Tunja	Ventaquemada	Toca	Samacá	Siachoque	Saboya	Úmbita	Arcabuco	Belén	Tutazá
d) Mayor de 3	4										
6. DENSIDAD APARENTE, g mL ⁻¹											
a) Baja a muy baja, < 1.5	10										
b) Media, 1.5 a 2.0	8	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
c) Alta a muy alta, > 2.0	6										
7. CONTENIDO DE M.O. (MATERIA ORGÁNICA), %											
a) Más de 1.75	10										
b) De 0.75 a 1.75	7	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
c) Menos de 0,75	5										
8. CONTENIDO DE FÓSFORO DISPONBLE, rango según USDA											
a) Medio a alto	10										
b) Bajo o nulo	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
9. CONTENIDO DE N-NO ₃ , rango según USDA											
a) Medio a alto	10										
b) Bajo o nulo	5	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10

Nota VR, está relacionado con el máximo puntaje para la mejor condición y el mínimo para la peor condición, para cada parámetro y

en cada localidad, esta tabla fue adaptado de Álvarez Morales (2015).

Tabla 11

Selección y ponderación de indicadores para el Factor Suelo del AE

IS: Indicadores Factor Suelo (FS)	V.R.	Tunja	Ventaquemada	Toca	Samacá	Siachoque	Saboya	Úmbita	Arcabuco	Belén	Tutazá
10. PRESENCIA DE CATIONES RELACIONADOS A CIC (Na. Ca + Mg), mg kg ⁻¹ suelo											
a) Media, entre 100 y 1500	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
b) Alta entre 1500 y 3500	7										
c) Muy baja o nula, < 100	4										
d) Muy alta, > 3500	1										
Total, Favorable (Máximo Posible) (Suma Superior)	100	73	73	76	76	76	76	73	73	76	76
Total, No Favorable (Mínimo Posible) (Suma Inferior)	40										
Ponderado		0.73	0.73	0.76	0.76	0.76	0.76	0.73	0.73	0.76	0.76

Nota VR, está relacionado con el máximo puntaje para la mejor condición y el mínimo para la peor condición, para cada parámetro y en cada

localidad, esta tabla fue adaptada de Álvarez Morales (2015).

Gráfica 30

Ponderación de indicadores para el factor Suelo.



Analizando los valores obtenidos para los diez indicadores de interés para el cálculo del factor suelo se encuentra lo siguiente: para la estabilidad de la estructura, todos los suelos de los municipios bajo estudio son estables; en lo referente a la capacidad de retención de la humedad los suelos de los municipios de Toca, Samacá, Siachoque, Saboya, Belén y Tutazá, cuentan con una capacidad media de retención de humedad, en contraste con los suelos para los municipios de Tunja, Ventaquemada, Úmbita y Arcabuco, que tienen una capacidad de retención de humedad muy baja o casi nula. Lo anterior, se obtuvo a partir de los resultados de las encuestas y de las características de la estructura del suelo.

En lo que respecta al tipo de textura del suelo y la velocidad de infiltración, todos los suelos de los municipios bajo estudio, presentan una condición arcillosa o limo arcillosa, con infiltración baja o escasa; de acuerdo con el pH del extracto de saturación, todos los suelos, de los municipios bajo estudio, presentan un pH inferior a 5.5 unidades, siendo clasificados como suelos ácidos; según, los valores de la conductividad eléctrica del extracto de saturación para los suelos bajo estudio, estos se clasifican como salinos según la USDA, en un rango entre 2 y 3 $ds*m^{-1}$.

CAPACIDAD DE ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO DE...

En lo que respecta a la densidad aparente, para los suelos de todos los municipios bajo estudio, esta se considera entre baja y muy baja, ya que es inferior a $1.5\text{g}\cdot\text{ml}^{-1}$; en lo referente al contenido de materia orgánica para todos los suelos de los municipios bajo estudio, este es superior a 1.75%, lo cual es muy conveniente para los cultivos; de acuerdo con el contenido de Fósforo disponible, para los suelos de los municipios bajo estudio, se determinó que este, se encontraba entre bajo y nulo; Por otra parte, el contenido de N-NO_3 , de los suelos de los municipios objeto de estudio se considera entre medio y alto;

De otra parte, en lo que concierne a la presencia de cationes relacionados con la capacidad de intercambio catiónico CIC (Na^+ , $\text{Ca}^{+2}+\text{Mg}^{+2}$) $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, para todos los suelos de los municipios de interés esta se considera media, con valores entre 100 y $1500\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$.

Por último, con los resultados anteriores, se determinó el índice para el factor suelo (FS), encontrándose que, para los municipios de Tunja, Ventaquemada, Arcabuco y Úmbita es de 0.73 y para los demás municipios bajo estudio, de 0.76. De tal forma, que el indicador de sustentabilidad para el factor suelo para todos los municipios de este estudio, se encuentra en el rango de aceptable entre (0.66 a 0.80). Al comparar este resultado con el estudio de Álvarez Morales (2015), se encuentra que para las tres localidades bajo estudio en México el FS fue de 0.57 para dos de esta y de 0.65 para la tercera, lo que clasifica el indicador de sustentabilidad para el suelo como deficiente (0.41 -0.65), esto se debe a deficiencias en textura, en velocidad de infiltración, en escasez de materia orgánica, principalmente.

Indicadores del Factor Social

En lo que atañe, a los indicadores para determinar el Factor Social, se tuvieron en cuenta parámetros relacionados con condiciones sociales de los agricultores, los cuales se identificaron mediante la aplicación de la encuesta; los indicadores utilizados fueron los siguientes: Integración de la familia al proceso productivo del predio, autosuficiencia alimentaria, dependencia de insumos externos para la productividad del predio, acceso a créditos y pagos gubernamentales, nivel de conocimiento

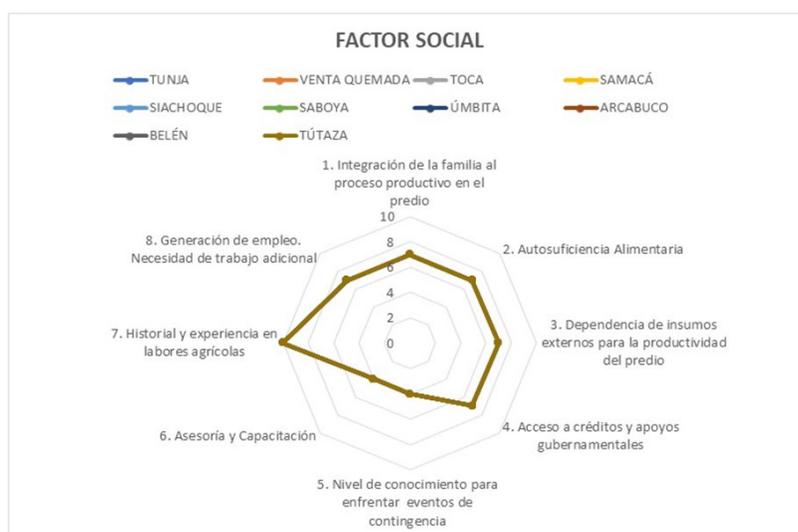
CAPACIDAD DE ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO DE...

para enfrentar eventos de contingencia, asesoría y capacitación, historial y experiencia en labores agrícolas, generación de empleo y necesidad de trabajo adicional.

Los valores determinados para cada indicador del Factor Social para los 10 municipios bajo estudio, así como los criterios de asignación se presentan en la Tabla 12., y su representación en la Gráfica 31.

Gráfica 31

Ponderación de Indicadores para el Factor Social.



Toda la información para este análisis proviene de los resultados de la encuesta aplicada a los agricultores de los diez municipios de este estudio., analizando los valores obtenidos para los ocho parámetros de interés para el cálculo del factor social se determinó lo siguiente: En lo que respecta a la integración de la familia al proceso productivo en el predio, para todos los agricultores de la muestra bajo estudio se encontró, que esta es media, es decir al menos el 50% de la familia participa en las tareas agrícolas; en lo referente a la autosuficiencia alimentaria, para todos los agricultores de la muestra bajo estudio se encontró que estos producen alimentos, pero no son suficientes para satisfacer sus necesidades alimenticias.

Tabla 12

Selección y Ponderación de Indicadores para el Factor Social.

Isc: Indicadores Factor Social (FSc)	V.R.	Tunja	Ventaquemada	Toca	Samacá	Siachoque	Saboya	Úmbita	Arcabuco	Belén	Tutazá
1. INTEGRACIÓN DE LA FAMILIA AL PROCESO PRODUCTIVO EN EL PREDIO											
a) Buena, 100% miembros familia integrados a labores productivas	10	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
b) Media, al menos 50% de la familia participa tareas agrícolas	7										
c) Deficiente, solo 1 miembro de familia se ocupa labores del predio	4										
2. AUTOSUFICIENCIA ALIMENTARIA											
a) Producción suficiente alimentos (calidad y cantidad)	10	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
b) Produce alimentos, más no satisface la necesidad	7										
c) No existe producción de alimentos para autoabastecerse	4										
3. DEPENDENCIA DE INSUMOS EXTERNOS PARA LA PRODUCTIVIDAD DEL PREDIO											
a) El 100% de la producción agrícola se realiza con medios propios	10	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
b) Se necesita al menos 40% de insumos externos para producción	7										
c) Depende totalmente de insumos externos para producir	4										
4. ACCESO A CRÉDITOS Y APOYOS GUBERNAMENTALES											
a) Reciben créditos y apoyo oportuno para la producción agrícola	10	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
b) Reciben créditos, aunque a destiempo para la utilización en las labores	7										
c) No reciben apoyos, ni créditos de organismos o instituciones	4										

Nota VR, está relacionado con el máximo puntaje para la mejor condición y el mínimo para la peor condición, para cada parámetro y en cada

localidad. Adaptado de Álvarez Morales (2015).

CAPACIDAD DE ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO DE...

Tabla 12*Selección y Ponderación de Indicadores para el Factor Social.*

ISc: Indicadores Factor Social (FSc)	V.R	Tunja	Ventaquemada	Toca	Samacá	Siachoque	Saboya	Úmbita	Arcabuco	Belén	Tutazá
5. NIVEL DE CONOCIMIENTOS PARA ENFRENTAR EVENTOS DE CONTINGENCIA											
a) Bueno, poseen nivel óptimo de conocimientos e instrumentos sociales	10										
b) Medio, poseen niveles aceptables de conocimientos e instrumentos sociales	7	4	4	10	4	4	10	10	10	4	4
c) Deficiente, no poseen conocimientos, ni cuentan con instrumentos sociales	4										
6. ASESORIA Y CAPACITACIÓN											
a) Buena, reciben constantemente capacitación y asesoramiento	10	4	4	10	4	4	10	10	10	4	4

CAPACIDAD DE ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO DE...

ISc: Indicadores Factor Social (FSc)	V.R	Tunja	Ventaquemada	Toca	Samacá	Siachoque	Saboya	Úmbita	Arcabuco	Belén	Tutazá
b) Media, han recibido asesoría, o capacitación al menos una vez en promedio anual	7										
c) Deficiente, no reciben capacitación, ni asesoramiento para el manejo	4										
7. HISTORIAL Y EXPERIENCIA EN LABORES AGRÍCOLAS											
a) Buena, más de 10 años dedicados a labores productivas	10										
b) Media, de 5 a 10 años dedicados a labores productivas	7	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
c) Deficiente, menos de 5 años dedicados a labores productivas	4										

Nota VR, está relacionado con el máximo puntaje para la mejor condición y el mínimo para la peor condición, para cada parámetro y en cada

localidad. Adaptado de Álvarez Morales (2015).

CAPACIDAD DE ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO DE...

Tabla 12*Selección y Ponderación de Indicadores para el Factor Social.*

ISc: Indicadores Factor Social (FSc)	V.R	Tunja	Ventaquemada	Toca	Samacá	Siachoque	Saboya	Úmbita	Arcabuco	Belén	Tutazá
8. GENERACIÓN DE EMPLEO. NECESIDAD DE TRABAJO ADICIONAL											
a) La totalidad de ingresos del hogar provienen de la actividad del predio	10										
b) Al menos el 50% de los ingresos provienen de la actividad del predio	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
c) Ingresos en la finca representan solo 20%, (dependen de trabajo externo)	4										
Total, Favorable (Máximo Posible) (Suma Superior)	80										
		53	53	65	53	53	65	73	73	53	53
Total, No Favorable (Mínimo Posible) (Suma Inferior)	32										
Ponderado		0.66	0.66	0.81	0.66	0.66	0.81	0.81	0.81	0.66	0.66

Nota VR, está relacionado con el máximo puntaje para la mejor condición y el mínimo para la peor condición, para cada parámetro y en cada

localidad. Adaptado de Álvarez Morales (2015).

En lo concerniente a la dependencia de insumos externos para la productividad del predio, todos los agricultores bajo estudio, necesitan al menos de un 40% de insumos externos para el sistema productivo; de acuerdo con el acceso a créditos y apoyos gubernamentales, todos los agricultores de este estudio reciben créditos, aunque a destiempo para su utilización en las labores agrícolas; en concordancia con el nivel de conocimiento para enfrentar eventos de contingencia, los agricultores participantes de los municipios de Toca, Arcabuco, Saboya y Úmbita, han recibido capacitación y poseen un nivel óptimo de conocimientos e instrumentos sociales respecto al manejo de impactos de cambio climático, como un evento de contingencia, en contraste los agricultores de los demás municipios bajo estudio no cuentan con esta capacitación.

En lo relativo a asesoría y capacitación, los agricultores de los municipios de Toca, Arcabuco, Saboya y Úmbita consideran que han recibido una buena capacitación y esta es de manera constante, los agricultores de los demás municipios de este estudio, no cuentan con este acompañamiento para el manejo del sistema productivo; en lo que se reseña a historial y experiencia en labores agrícolas, todos los productores de este estudio, cuentan con más de diez años de experiencia en labores productivas de cultivo de papa; finalmente, en lo pertinente a la generación de empleo y necesidades de trabajo adicional, al menos el 50% de los ingresos se generan del trabajo del predio.

De acuerdo con los resultados anteriores, se determinó el índice para el factor social FSc, encontrándose que, para los municipios de Toca, Saboya, Arcabuco y Úmbita, tiene un valor de 0.81, lo que significa que el indicador de sustentabilidad del factor es óptimo, en el rango entre (0.81 - 1.0) y para los demás municipios bajo estudio el indicador de sustentabilidad del factor social fue de 0.66, ubicándose en el rango de aceptable entre (0.66 a 0.80). Al realizar el contraste con el trabajo investigativo de Álvarez Morales (2015), se evidencia que los valores obtenidos de FSc para las tres localidades bajo estudio fueron 0.63, 0.70 y 0.85, de tal forma que la primera localidad se considera con un indicador deficiente, la segunda aceptable y la tercera óptima, teniendo como debilidades la

CAPACIDAD DE ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO DE...

integración de la familia, la autosuficiencia alimentaria y la dependencia de insumos externos y escasa generación de empleo, para la localidad de condiciones óptimas, prima la facilidad de acceso a créditos por parte del gobierno Mexicano, así como la constante asesoría y capacitación.

Indicadores del Factor Productivo

En la Tabla 13, adaptada para este estudio de Álvarez Morales (2015) y en la Gráfica 32, se muestran los indicadores requeridos para establecer el factor productivo, para los diez municipios de interés. Para lo cual, se plantearon condiciones esenciales para que el proceso del cultivo de papa sea sostenible, de acuerdo con nueve indicadores propuestos, siendo estos: agrobiodiversidad, percepción de la categoría de la finca, sistemas de manejo agroproductivo, competencia por malezas, sistemas de riego para cultivos, resistencia y /o tolerancia al estrés, resistencia a la incidencia de enfermedades o plagas, rendimiento actual o potencial, canales de comercialización.

Tabla 13*Selección y Ponderación de Indicadores para el Factor Productivo*

IP: Indicadores Factor Productivo (FP)	V.R.	Tunja	Ventaquemada	Toca	Samacá	Siachoque	Saboya	Úmbita	Arcabuco	Belén	Tutazá
1. AGRODIVERSIDAD											
a) Alta, más de 4 especies establecidas	10	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
b) Media, de 2 a 3 especies establecidas	7										
c) Pobre, domina el monocultivo	4										
2. PERCEPCIÓN DE LA CATEGORÍA DE LA FINCA											
a) Fincas tecnificadas	10	7	7	10	7	7	7	7	7	7	7
b) Fincas convencionales en aparente estabilidad	7										
c) Fincas deterioradas o improductivas con vegetación silvestre	4										
3. SISTEMAS DE MANEJO AGROPRODUCTIVO											
a) Orgánico diversificado, con poco uso de insumos	10	4	4	7	4	4	4	4	4	4	4
b) En transición a orgánico, con sustitución de insumos	7										
c) Diversificado convencional, manejado con agroquímicos	4										
4. COMPETENCIA POR MALEZAS											
a) Cultivo vigoroso, se sobrepone a malezas o malezas controladas	10	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
b) Presencia media de malezas, cultivos con algún nivel de competencias	7										
c) Cultivos estresados, dominados por malezas	4										

Nota VR, está relacionado con el máximo puntaje para la mejor condición y el mínimo para la peor condición, para cada parámetro y en cada

localidad. Adaptado de Álvarez Morales (2015).

CAPACIDAD DE ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO DE...

IP: Indicadores Factor Productivo (FP)	VR	Tunja	Ventaquemada	Toca	Samacá	Siachoque	Saboya	Úmbita	Arcabuco	Belén	Tutazá
c) Susceptible a enfermedades o plagas (50% de cultivos enfermos)	4										
8. RENDIMIENTO ACTUAL O POTENCIAL											
a) Bueno, 75% de rendimiento, con relación al promedio de la zona	10										
b) Medio, 50 al 75% de rendimiento, con relación al promedio de la zona	7	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
c) Bajo, menos del 50% con relación al promedio de la zona	4										
9. CANALES DE COMERCIALIZACIÓN											
a) Realiza comercialización de productos a nivel nacional e internacional	10										
b) comercializa los productos a nivel estatal o regional (departamentos vecinos)	7	4	7	7	7	4	4	4	7	4	4
c) La comercialización agrícola es solo a escala local	4										
Total, Favorable (Máximo Posible) (Suma Superior)	90	57	60	69	60	57	54	54	60	54	54
Total, No Favorable (Mínimo Posible) (Suma Inferior)	36										
Ponderado		0.63	0.67	0.77	0.67	0.63	0.60	0.60	0.67	0.60	0.60

Nota VR, está relacionado con el máximo puntaje para la mejor condición y el mínimo para la peor condición, para cada parámetro y en cada

localidad. Adaptado de Álvarez Morales (2015)

Gráfica 32

Ponderación de indicadores Factor Productivo.



El insumo de información para este análisis proviene de los resultados de la encuesta aplicada, analizando los valores obtenidos para los nueve indicadores de interés para el cálculo del factor productivo se encontró lo siguiente: En lo que respecta a la agrodiversidad, para todos los municipios de este estudio se considera media, es decir que los predios de los agricultores cuentan con dos a tres especies o variedades vegetales sembradas, por ejemplo, papa Rubí, Única y Diacol Capiro; en lo referente a la percepción de la categoría de la finca o del sistema productivo, se encontró que, para el municipio de Toca, los agricultores miembros de la asociación ASOAGROTOCA cuentan con fincas o predios con sistemas tecnificados, empleando riego por goteo, y también con riego tradicional o por aspersión, en contraste, para los demás municipios, las asociaciones productivas cuentan con sistemas productivos convencionales (riego por aspersión o tradicional) en aparente estabilidad.

En lo que se refiere a sistemas de manejo agroproductivo, la asociación ASOAGROTOCA del municipio de Toca se encuentra en transición a lo orgánico, con sustitución de insumos, esto se evidencia en las capacitaciones recibidas por los agricultores donde se incluye la elaboración de abonos orgánicos, en cambio, para las demás asociaciones de los municipios de interés, estos se pueden

CAPACIDAD DE ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO DE...

considerar diversificados convencionales manejados con agroquímicos; en lo referente a la competencia por malezas, para todas las asociaciones de agricultores de los municipios del estudio, se determinó que los cultivos se encuentran estresados por malezas, razón por la que utilizan agroquímicos específicos para su control; de acuerdo con los sistemas de riego para cultivos, la asociación ASOAGROTOCA del municipio de Toca, cuenta con más del 70% de riego presurizado, por otra parte, los municipios de Úmbita, Saboya, Belén y Tutazá realizan el riego por gravedad, por último, las asociaciones de los municipios de Tunja, Ventaquemada, Siachoque, Arcabuco y Samacá, se encuentran en transición del orden del 50% a riego presurizado.

En lo que tiene que ver con la resistencia y/o tolerancia al estrés (sequías y heladas), se encontró que todas las asociaciones de los municipios bajo estudio, consideran este aspecto como susceptible, no se recupera más del 25% de la siembra después de la condición de estrés; en lo que se describe a resistencia a la incidencia de enfermedades y plagas, todos los agricultores de este estudio, consideran que la papa es susceptible a enfermedades y plagas, un 50% del cultivo puede estar enfermo, razón por la que se requiere un gran uso de insumos químicos como plaguicidas, fungicidas y otros.

En lo que se refiere al rendimiento actual o predial, todos los productores de los municipios bajo estudio, consideran que, obtienen rendimientos buenos, es decir mayores al 75% respecto al promedio de la zona; en lo que atañe a los canales de comercialización, los productores de las asociaciones de los municipios de Arcabuco, Toca, Ventaquemada y Samacá, comercializan sus productos a nivel estatal o regional, por otra parte, los productores de los municipios de Tunja, Siachoque, Saboya, Belén, Tutazá, Úmbita, comercializan su producto a nivel local, en plaza de mercado.

De acuerdo con los resultados anteriores, se determinó el índice para el factor productivo FP, encontrándose para el municipio de Toca de 0.77, para los municipios de Ventaquemada, Samacá y Arcabuco, de 0.67, clasificándose en el rango aceptable (0.66 a 0.80), en contraste, para los demás municipios del estudio el FP se encontró en un rango deficiente (0.41 a 0.65). Comparando con los

CAPACIDAD DE ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO DE...

resultados obtenidos por Álvarez Morales (2015), para las tres localidades estudiadas, se encuentra que FP fue de 0.60, 0.70 y 0.83, siendo deficiente para la primera localidad, para la segunda aceptable y para la tercera óptimo, lo anterior se debe principalmente a canales de comercialización, resistencia a plagas, sistema de riego, entre otras.

Determinación del Índice de Sustentabilidad Agroecológica (ISAE)

A partir de los índices de los factores clima, agua, suelo, social y productivo, se determinó el Índice de Sustentabilidad Agroecológica (ISAE) para cada municipio bajo estudio. En la tabla 14 se presenta esta información.

Tabla 14

Calculo Índice de Sustentabilidad Agroecológica de los Sistemas Productivos de Papa.

Coeficientes de los factores	Municipios									
	Tunja	Ventaquemada	Toca	Samacá	Siachoque	Saboya	Úmbita	Arcabuco	Belén	Tutazá
Kpc (Clima)	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.76	0.76	0.70	0.70
Kpa (Agua)	0.79	0.76	0.86	0.79	0.79	0.79	0.79	0.79	0.79	0.79
Kps (Suelo)	0.73	0.73	0.76	0.76	0.76	0.76	0.73	0.73	0.76	0.76
Kpsc (Social)	0.66	0.66	0.81	0.66	0.66	0.81	0.81	0.81	0.66	0.66
Kpp (Productivo)	0.63	0.67	0.77	0.67	0.63	0.60	0.60	0.67	0.60	0.60
ISAE	0.70	0.70	0.78	0.72	0.71	0.73	0.73	0.75	0.70	0.70

En lo referente, al nivel de sustentabilidad de los sistemas productivos de papa, de acuerdo con el ISAE, se estableció que, para los municipios de Tunja, Belén, Tutazá y Ventaquemada, se obtuvo un valor de 0.70, si bien es el valor mayor del rango, se clasifican en el nivel poco sustentable entre (0.51 – 0.70); por lo anterior debe considerarse que los beneficios son muy pocos, y que, si no se toman acciones, es posible pasar al nivel no sustentable. Gravina Hernández & Leyva Galán (2012) y Álvarez Morales (2015). Al realizar la comparación con los resultados obtenidos por Álvarez Morales (2015) se

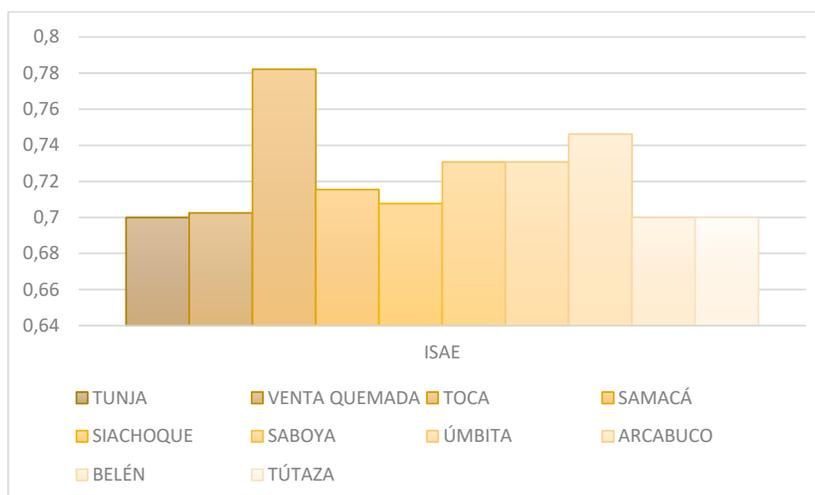
CAPACIDAD DE ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO DE...

evidencia que el ISAE obtenido para dos de las localidades CALAP y VGN, son también del nivel poco sustentable.

En contraste, el ISAE para los otros municipios (Toca, Siachoque, Arcabuco, Saboya, Úmbita) obtuvo valores entre (0.71 – 0.90), de tal forma que el municipio de Toca cuenta con el mayor valor del ISAE, siendo este de 0.78, lo que los clasifica como sistemas medianamente sustentables, en los que se cuenta con beneficios perceptibles, y se debe continuar trabajando en mejora de la susceptibilidad, Álvarez Morales (2015). Al realizar el contraste con los resultados de Álvarez Morales (2015), se encuentra que la localidad denominada VSD obtuvo un valor para el ISAE DE 0.73, lo que lo califica como medianamente sustentable. En la Gráfica 33, se observa el valor del ISAE obtenido en esta investigación por municipio.

Gráfica 33

ISAE por Municipio.



Con lo anterior, se acepta el supuesto número 1, donde se expresa que los agrosistemas productivos de papa en Boyacá pueden orientarse hacia modelos de sostenibilidad y sustentabilidad, al definir las variables de los indicadores de los factores clima, agua, suelo, social y productivo, para determinar el Índice de Sustentabilidad Agroecológica ISAE para los municipios de Toca, Arcabuco,

CAPACIDAD DE ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO DE...

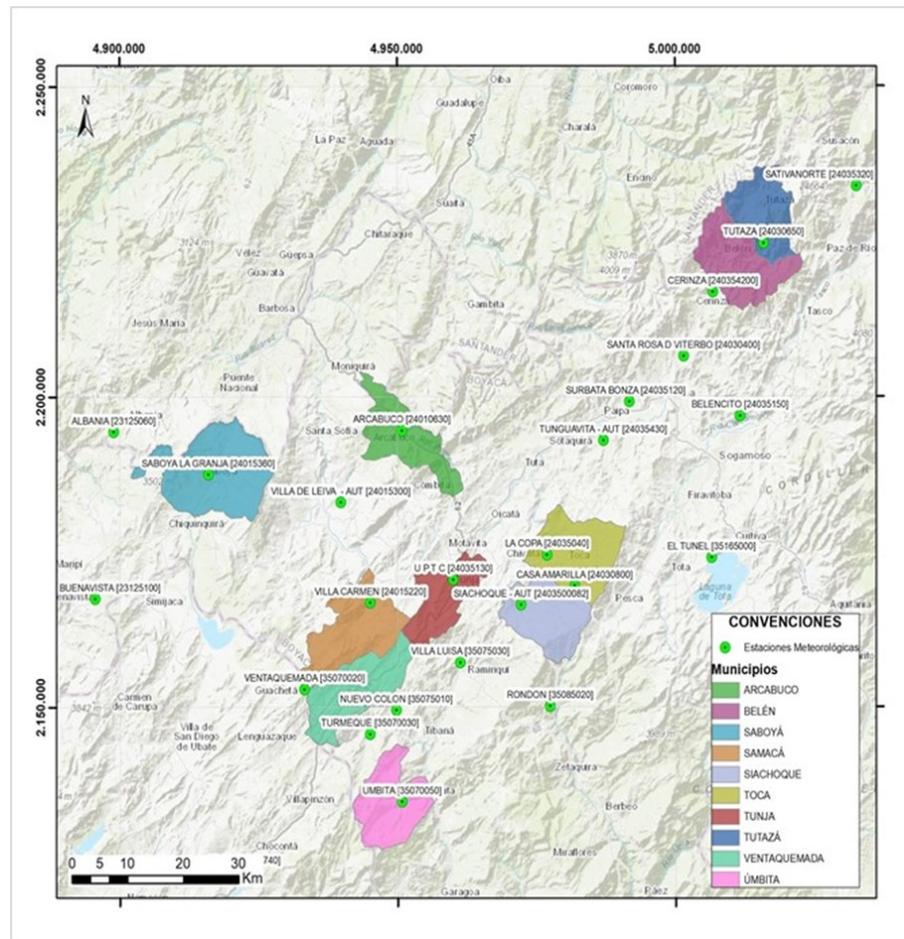
Umbita, Saboya, Samacá y Siachoque como medianamente sustentable, con valores de 0.78, 0.75, 0.73, 0.73, 0.72 y 0.71, respectivamente; por otro lado, para los municipios de Tunja, Ventaquemada, Belén y Tutazá, el ISAE presento un valor de 0.70, lo que los clasifica en el límite superior del nivel poco sustentable, en el rango entre (0.51 – 0.70). Sin embargo, se debe propender para aumentar el valor del ISAE, de tal forma que estos municipios se conviertan en medianamente sustentables.

Determinación del Análisis Climático

En la Figura 5, se presenta la espacialización de las estaciones meteorológicas seleccionadas, distribuidas en el área bajo estudio.

Figura 5

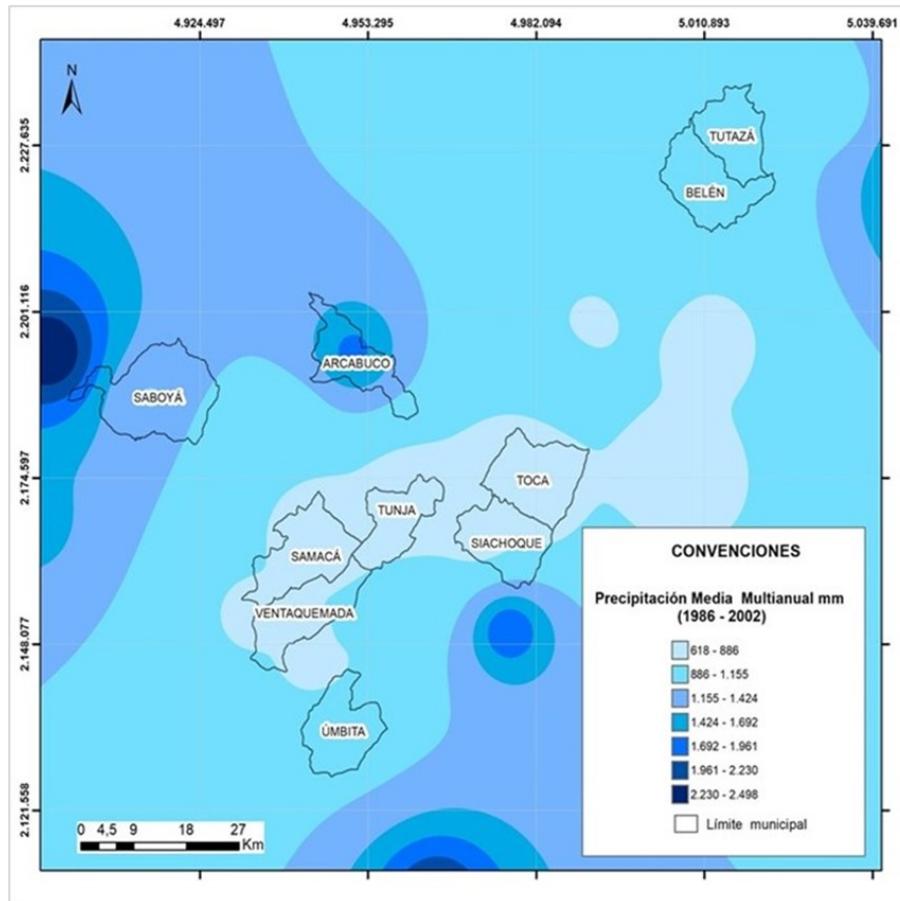
Ubicación Estaciones Meteorológicas.



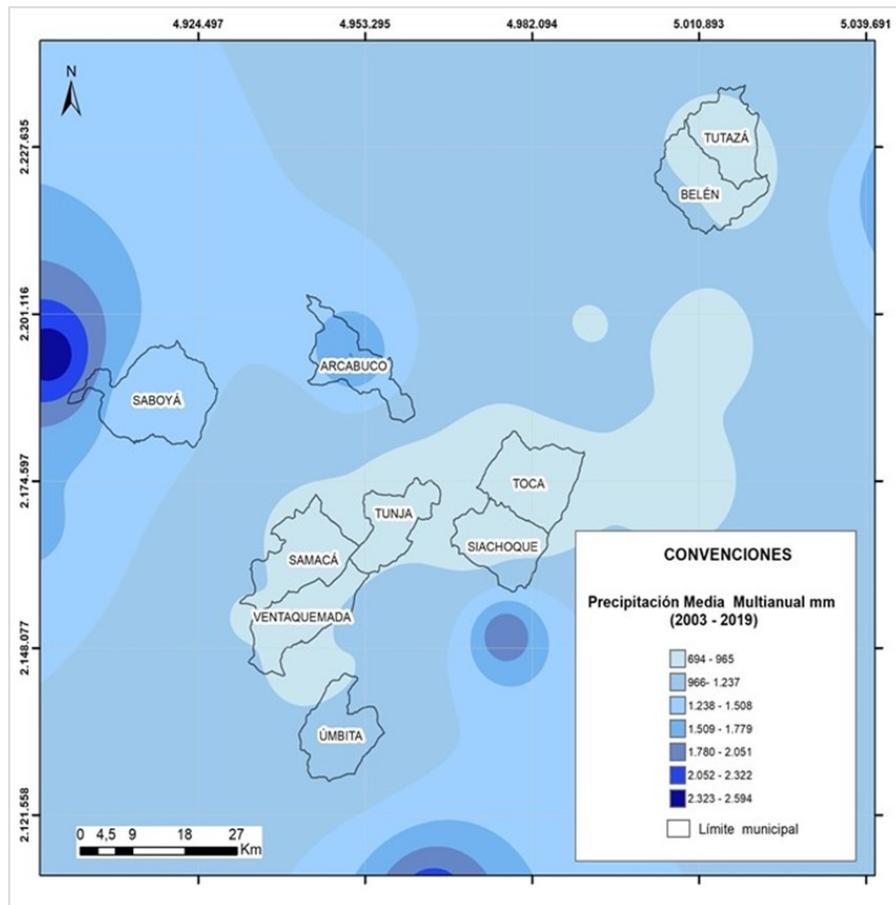
En la Figura 6, se puede observar que para el periodo comprendido entre 1986-2002, los municipios de Tunja, Toca y Samacá presentaron lluvias entre los 618mm y 886 mm, los municipios de Ventaquemada y Siachoque, presentaron precipitaciones entre 618mm y 1.155mm, mientras los municipios de Úmbita, Tutazá y Belén evidenciaron precipitaciones de 886mm a 1.155mm. Finalmente, se logró determinar que las mayores precipitaciones, se registraron en los municipios de Saboyá y Arcabuco, con precipitaciones promedio entre 1.155mm y 1.424mm, y entre 1.155mm hasta 1.961mm, respectivamente.

Figura 6

Precipitación media multianual (periodo 1986-2002).



En la Figura 7, se presenta el mapa de precipitación media multianual para el periodo comprendido entre los años 2003 a 2019.

Figura 7*Precipitación media multianual (periodo 2003-2019)*

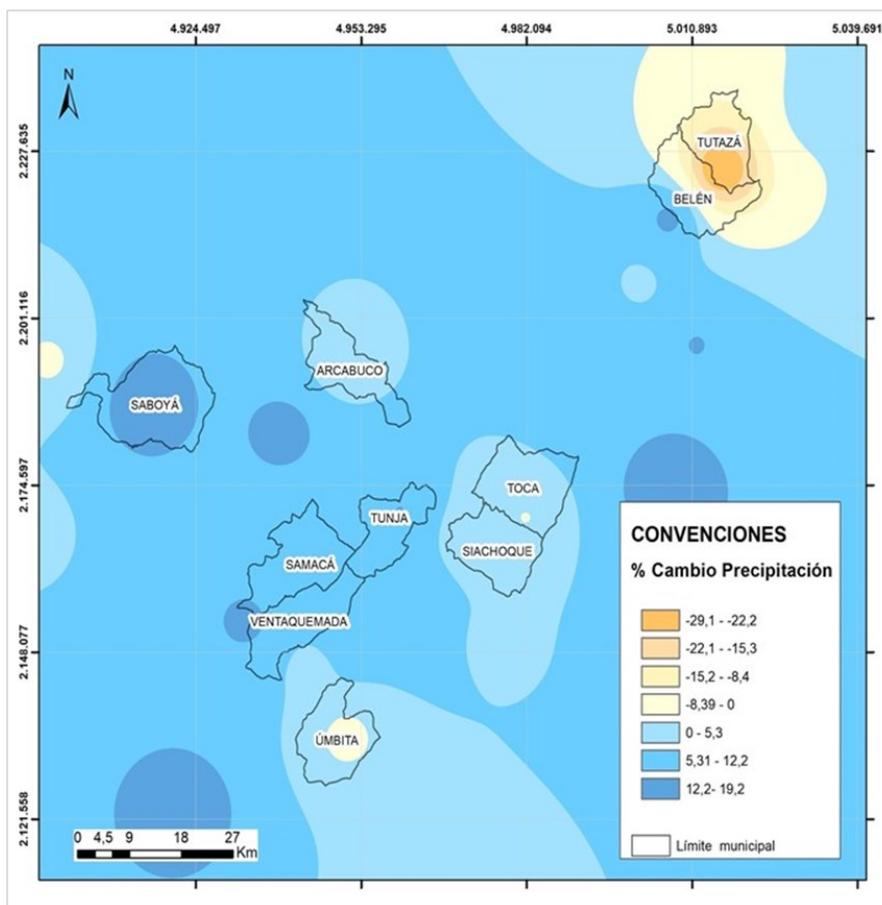
De acuerdo a la Figura 7, para el periodo de 17 años comprendido entre 2003 – 2019, para los municipios de Tunja, Samacá, Ventaquemada, Toca, Siachoque, Tutazá y Belén, se registraron precipitaciones entre 694mm y 965 mm, particularmente en los municipios de Siachoque, Samacá, Ventaquemada, Belén y Tutazá en algunas áreas se lograron precipitaciones en el rango de 966mm a 1.237mm; para el municipio de Úmbita en la mayor parte de su territorio se presentaron lluvias promedio entre 966mm y 1.237mm. Posteriormente, para los municipios de Arcabuco y Saboyá se registraron lluvias entre 1.238 mm y 1.779mm, siendo las zonas con mayor registro en el periodo evaluado.

CAPACIDAD DE ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO DE...

En la Figura 8, se observa el Porcentaje de variación o cambio de la precipitación comparando los dos subperiodos de tiempo bajo estudio.

Figura 8

Porcentaje de cambio de precipitación (1986 – 2019).



De acuerdo con la Figura 8 se evidenció que, para los municipios de Tunja, Samacá y Ventaquemada, durante los dos subperiodos de 17 años se registró un aumento en las precipitaciones del 5.3% al 12.2%; para los municipios de Toca, Siachoque, Úmbita y Arcabuco, el porcentaje de precipitación aumento hasta en un 5.3%; no obstante, para el municipio de Úmbita también se registró una disminución de hasta 8.39% en la zona centro del municipio. Para el municipio de Saboyá, la mayor parte del territorio registró un aumento de precipitación entre 12.2% y 19.2%; por el contrario, para el municipio de Tutazá se observó una disminución en la precipitación entre el 15.2% y el 22.2%.

CAPACIDAD DE ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO DE...

Finalmente, para el municipio de Belén, según los resultados obtenidos se encontró un aumento de precipitación hasta del 12.2% para la zona sur-oriental y una disminución hasta del 29.1% para la zona noroccidental del municipio.

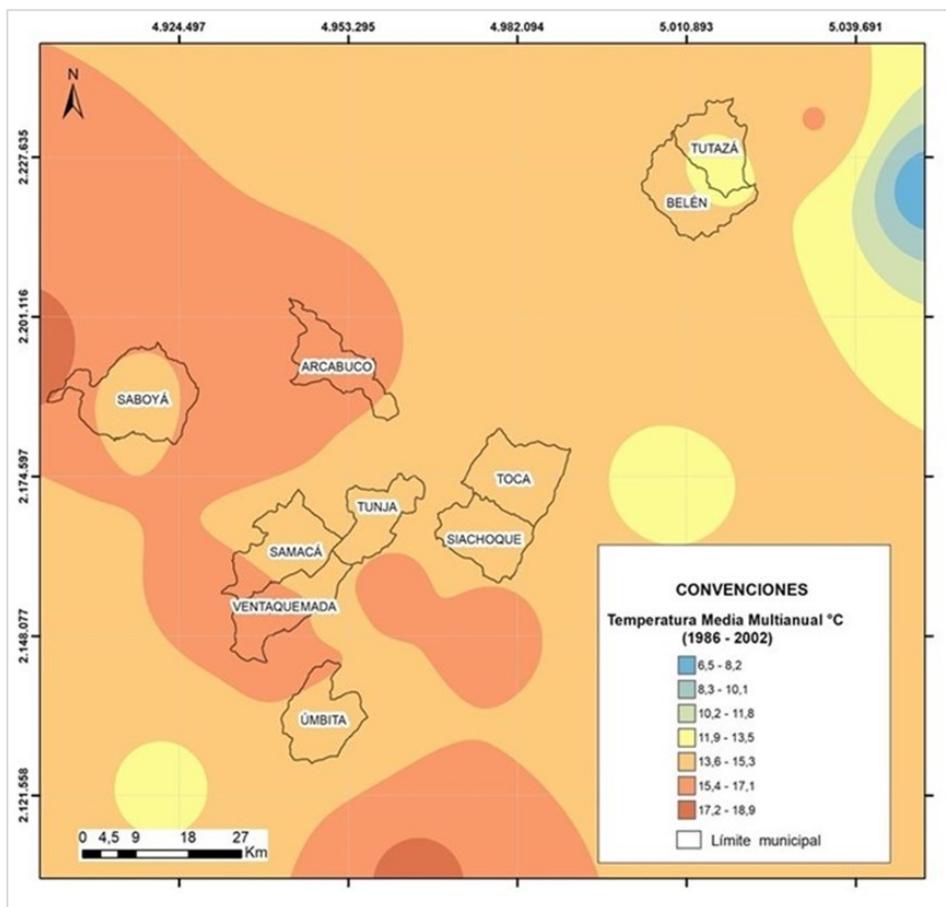
Al comparar estos resultados con la investigación de Sierra Herrera (2019), se observó que las precipitaciones variaron entre -40% y 60%, en algunos sectores de la zona papera, siendo mayor la variación, que la determinada en este estudio; lo anterior se puede deber a que esta investigadora revisó el comportamiento de todos los municipios de las tres provincias que definió en el alcance de su estudio, mientras que, en la presente investigación, se seleccionaron los municipios de mayor producción del departamento, y la mayoría están ubicados en la provincia centro, así como también, de acuerdo con el periodo bajo análisis, para la investigación de Sierra, este fue de 1986 a 2017, y para la actual investigación fue de 1986 a 2019.

Al comparar los resultados obtenidos en este estudio con las proyecciones de IDEAM, PNUD, MADS, DNP, CANCELLERÍA (2015), respecto a la precipitación se encontró que los valores de aumento se encuentran en la tendencia del incremento del valor esperado para provincias Centro y Marqués entre el 20% y el 40%.

En la Figura 9, se muestra la variación de la temperatura media multianual para el periodo comprendido entre los años de 1986 a 2002.

Figura 9

Temperatura media multianual (periodo 1986-2002).

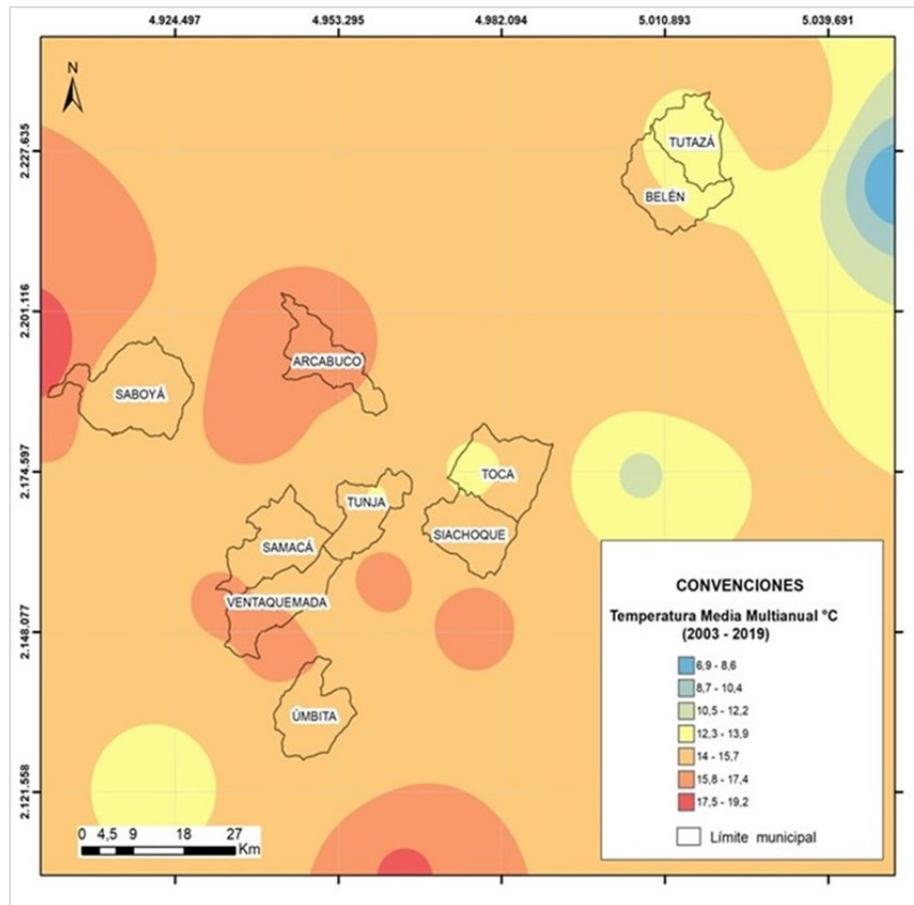


Según la Figura 9, para los años 1986 a 2002, se observó que la temperatura media multianual para los municipios de Toca, Siachoque, Tunja, Úmbita y Belén, se halló entre los 13.6°C y 15.3°C; para el municipio de Arcabuco la temperatura se restringió entre 15.4°C y 17.1°C; así como, para el municipio de Tutazá, la temperatura osciló entre los 11.9°C y 15.3°C; por último, para los municipios de Samacá, Ventaquemada, y Saboyá, la temperatura promedio fluctuó entre los 13.6 °C y 17.1°C.

En la Figura 10, se muestra la variación de la temperatura media multianual de los municipios bajo estudio, para el período comprendido entre los años 2003 a 2019.

Figura 10

Temperatura media multianual (periodo 2003-2019).



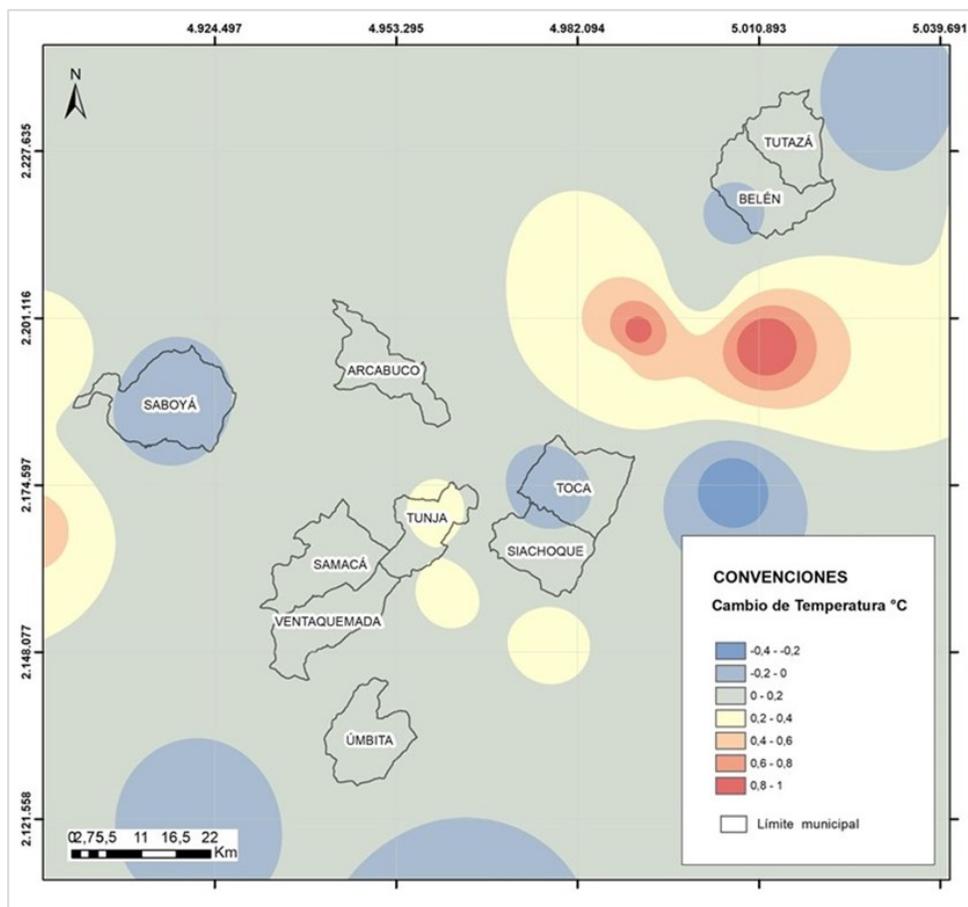
Según la Figura 10, para el periodo entre los años 2003 y 2019, se evidenció que: La temperatura media fluctuó entre los 12.3°C y 15.7 °C, para el municipio de Belén; de la misma manera, para los municipios de Tunja, Saboyá, Samacá, Úmbita, Siachoque, Arcabuco y Toca, las temperaturas medias oscilaron entre los 14°C y 15.7°C; en contraste, el municipio de Tutazá presentó temperaturas medias entre los 12.3°C y 13.9°C.

Posteriormente, para el municipio de Ventaquemada la temperatura media se encontró entre los 14°C y 17.4°C.

En la Figura 11, se muestra el cambio de la temperatura media multianual para los municipios bajo estudio, entre los dos subperiodos bajo estudio, años 1986 a 2002 y de 2003 a 2019.

Figura 11

Cambio de Temperatura °C (1986-2019).



De acuerdo a la Figura 11, los resultados manifiestan un cambio de temperatura de hasta de 0.2°C para los municipios de Arcabuco, Samacá, Ventaquemada, Úmbita, Siachoque y Tutazá; en contraste, para los municipios de Toca, Saboyá y Belén el cambio de temperatura varía entre -0.2 °C y 0.2°C; en el caso del municipio de Tunja, este registró un cambio de temperatura hasta de 0.4 °C.

Si se contrasta esta información con la obtenida por Sierra Herrera (2019), quien desarrolló su investigación para las provincias de Tundama, Centro y Sugamuxi del departamento de Boyacá, entre los años 1986 y 2017, se encuentra que los cambios en la temperatura son mayores (-1.2 °C a 1.6 °C), respecto a los obtenidos en este estudio, en el cual se trabajó por municipios de mayor producción, los cuales principalmente se encuentran localizados en la provincia centro del departamento de Boyacá.

Índice de Disponibilidad Hidro-Ambiental (IDHA) e Índice de Sequía Hidro-Ambiental (ISHA)

Luego de realizar el análisis climatológico de las variables precipitación y temperatura, se procedió a determinar los índices: Índice de disponibilidad hidroambiental (IDHA), e índice de sequía hidroambiental (ISHA).

En la Tabla 15, se presentan los datos de precipitación mensual multianual para cada municipio bajo estudio.

Tabla 15

Precipitación Media Mensual Multianual Para Cada Estación Ubicada en el Área Objeto de Estudio.

Municipio estudiado	Variable climatológica estudiada	Estación utilizada	Mes											
			E	F	MZ	A	MY	JN	JL	A	S	O	N	D
Tunja	Precipitación Mensual	UPTC	18.9	18.9	18.9	18.9	18.9	18.9	18.9	18.9	18.9	18.9	18.9	18.9
		Ventaquemada	19.0	30.3	60.1	90.2	102.4	104.6	107.6	90.4	66.8	101.8	81.1	39.1
Ventaquemada		Turmequé	11.6	27.7	52.8	77.3	98.4	89.3	94.9	78.6	61.2	92.9	68.5	3.4
		Nuevo Colón	15.6	29.6	59.3	94.6	109.5	120.0	125.2	101.6	73.6	98.4	80.6	33.8
Toca		La Copa	21.5	32.5	70.2	98.1	95.8	54.8	54.5	42.4	51.7	89.7	91.6	41.2
		Casa Amarilla	16.3	34.0	62.8	94.3	94.2	69.3	68.5	44.0	52.0	94.5	99.0	41.0
Samacá		Villa Carmen	31.9	49.5	84.8	86.9	75.0	37.9	37.3	27.7	44.6	95.4	93.3	46.9
Siachoque		Siachoque	14.6	27.8	57.1	95.8	99.0	67.9	61.0	45.6	57.2	99.9	82.5	25.2
Saboyá		La Granja	43.8	78.7	128.3	189.7	121.3	63.3	50.9	60.5	102.8	190.0	148.8	67.7
Arcabuco		Arcabuco	120.9	148.6	222.9	232.0	158.6	69.5	58.0	56.4	101.0	235.6	227.1	147.3
		Surbata Bonza	24.5	40.6	85.5	134.2	111.8	62.3	50.5	48.6	77.8	120.0	98.2	45.0
		Belencito	36.2	40.6	82.2	119.9	97.1	52.5	50.6	44.9	59.0	107.4	97.6	41.4
Belén		Cerinza	31.5	45.3	96.5	143.1	117.6	56.6	53.8	49.6	70.4	136.3	112.4	45.5
		Santa Rosa de Viterbo	27.6	46.4	93.1	138.4	121.5	54.4	49.8	50.3	73.4	146.5	114.2	48.5
Tutazá		Tutazá	36.8	53.2	100.4	140.3	97.2	50.0	51.6	56.8	71.4	111.4	94.9	39.5
Úmbita		Úmbita	18.9	31.7	62.0	113.5	138.7	138.6	145.6	118.4	91.4	100.8	80.2	31.0

De acuerdo a los datos consignados en la Tabla 15, se evidencia que para el municipio de Tunja la precipitación media mensual multianual, se encuentra en el rango entre 18.8mm y 91.6mm, siendo los meses más lluviosos abril, mayo y octubre; así mismo, para el municipio de Toca el rango de precipitación se encuentra entre 16.3mm y 99.0mm, siendo los meses más lluviosos abril, mayo y octubre; adicionalmente, para el municipio de Siachoque el rango se encuentra entre 14.6mm y 99.9mm, donde los meses con mayor precipitación son: mayo y octubre.

De otra parte, para el municipio de Ventaquemada el rango de precipitación se encuentra entre 11,6 mm y 125.2 mm, donde los meses con mayor precipitación son: mayo, junio, julio y octubre; en contraste, en el municipio de Samacá las precipitaciones fluctúan en un rango entre 31.9mm y 95.4mm, siendo los meses con mayor lluvia octubre y noviembre; adicionalmente, en el municipio de Saboyá el rango de precipitación se encuentra entre 43.8mm y 190.0mm, presentándose la mayor precipitación, en los meses de marzo, septiembre, octubre y noviembre.

En el municipio de Arcabuco, el rango de precipitación se encuentra entre 56.4mm y 235.6mm, donde el mayor registro de precipitación ocurre en los meses de marzo abril, octubre y noviembre; de otra manera, para el municipio de Belén el rango de precipitación se encuentra entre 24.5mm y 143.1mm, la mayor precipitación se presenta en los meses de abril y octubre; también, para Tutazá el rango de precipitación se encuentra entre 36.8mm y 140.3mm, registrándose la mayor precipitación en los meses de marzo, abril y octubre. Por último, para el municipio de Úmbita se registran valores de precipitación entre 18.9 mm y 145.6 mm, siendo los meses de mayor precipitación abril, mayo, junio, julio, agosto y octubre.

En la Tabla 16, están consignados los datos de temperatura media mensual multianual para las estaciones seleccionadas para cada municipio bajo estudio.

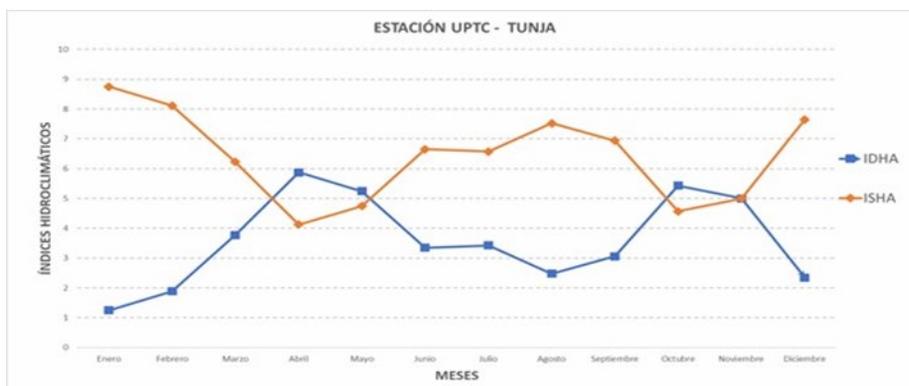
De acuerdo con la Tabla 16, los valores medios de temperatura para cada municipio se mantienen en el rango para el desarrollo óptimo del cultivo de la papa (13°C a 18°C), lo cual está de acuerdo con autores como Álvarez Morales (2015); Zuñiga Chila et al. (2017); Anzoategui (2012).

A partir de los valores de precipitación media y temperatura media mensual multianual y aplicando la Ecuación 3, se obtuvieron los valores para los IDHA e ISHA para cada municipio, según la estación analizada.

En la Gráfica 34, se presenta el comportamiento de los *IDHA* e *ISHA* para el municipio de Tunja.

Gráfica 34

IDHA e ISHA, Municipio de Tunja.

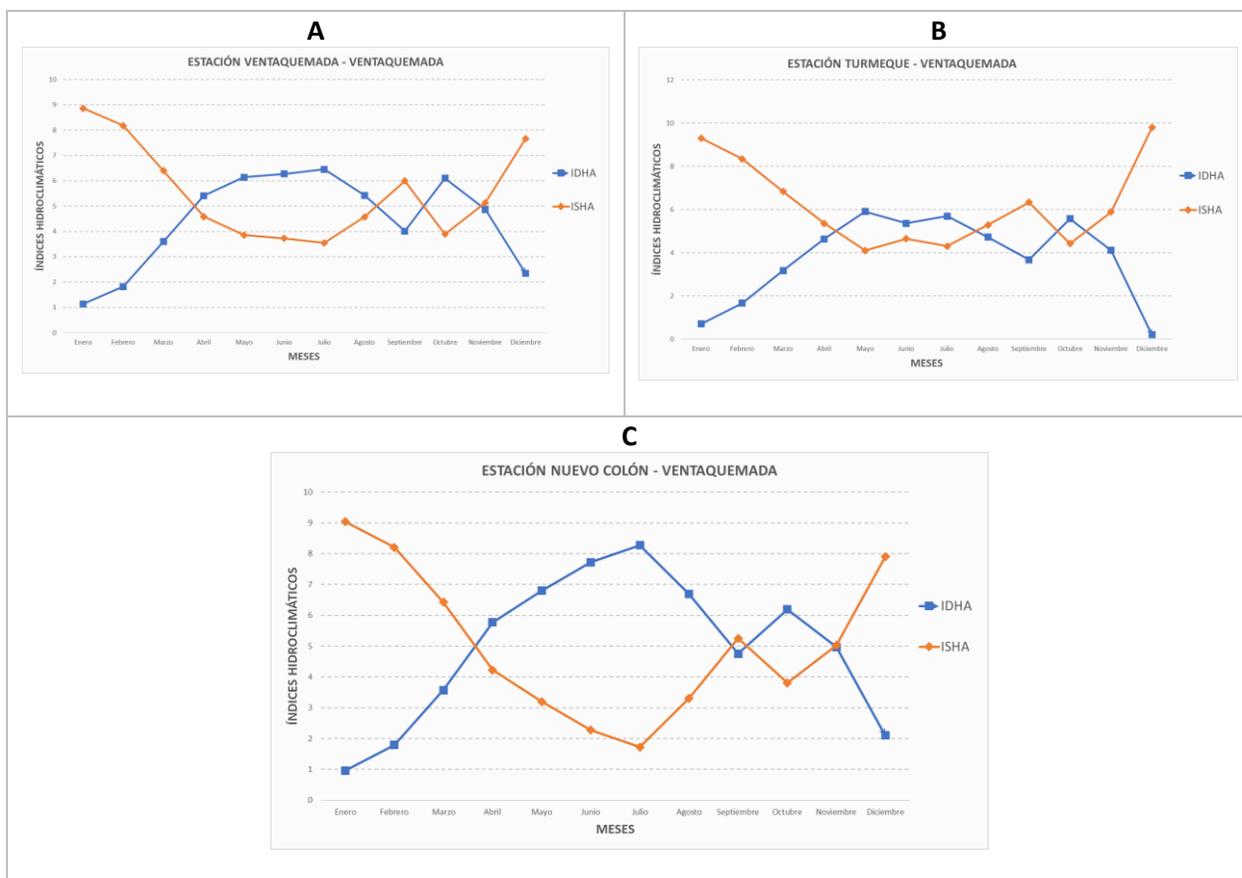


Según Gráfica 34, en lo que respecta a los índices de disponibilidad hídrica para el municipio de Tunja, se tomó como referencia la estación UPTC, de tal forma, que los resultados obtenidos manifiestan una condición de disponibilidad hídrica durante los meses de abril, mayo y octubre con un valor entre 5 y 6 unidades, lo que implica que este municipio presenta altos índices de sequía durante la mayor parte del año. Lo que impone la necesidad de buscar medidas que permitan hacer uso eficiente del recurso hídrico.

En la Gráfica 35, se muestra el comportamiento de los *IDHA* e *ISHA* para el municipio de Ventaquemada.

Gráfica 35

IDHA e ISHA, Municipio de Ventaquemada.

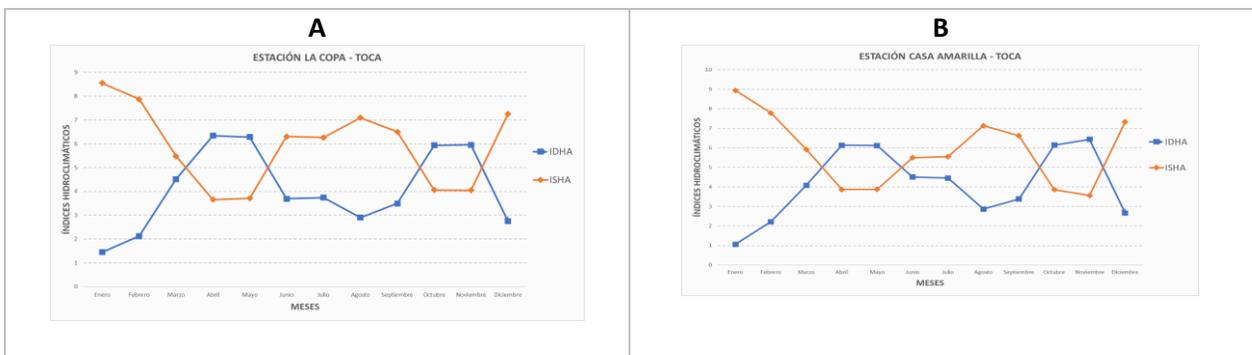


En lo que respecta a los índices de disponibilidad hídrica para el municipio de Ventaquemada, según Gráfica 35, estos se determinaron a partir de los valores climáticos registrados para tres estaciones climáticas (Ventaquemada, Turmequé y Nuevo Colón), se puede apreciar que, durante los meses de mayo, junio y julio, para las tres estaciones se presenta suficiente disponibilidad hídrica; sin embargo, según los reportes de las estaciones de Ventaquemada y Nuevo Colón, el mes de abril alcanza a presentar un nivel bajo de disponibilidad con un valor entre 5 y 6; en contraste, para los meses de enero, febrero y diciembre, los resultados obtenidos muestran altos índices de sequía, con valores entre 7 y 10.

En la Gráfica 36, se presenta el comportamiento de los IDHA e ISHA para el municipio de Toca.

Gráfica 36

IDHA e ISHA, Municipio de Toca.



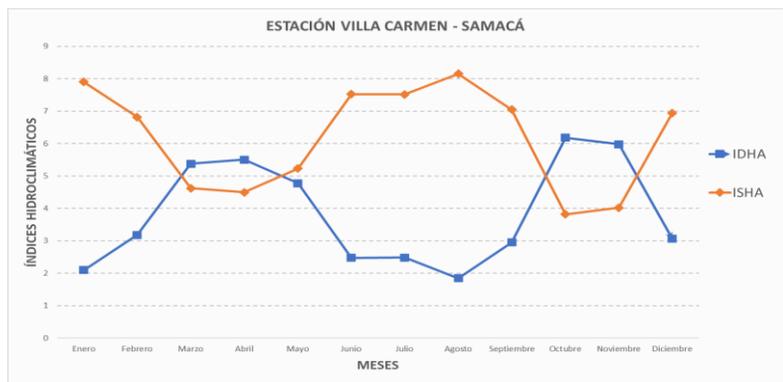
De acuerdo con la Gráfica 36, se aprecia variabilidad hídrica para el municipio de Toca, donde predominan los periodos de sequía durante la mayor parte del año, se trabajó con información de dos estaciones climáticas (estación La Copa y estación Casa Amarilla), donde las dos estaciones presentan comportamientos muy similares.

Se observó que sólo los meses de abril, mayo, octubre y noviembre, logran un valor para el IDHA entre 5 y 7, lo que representa una disponibilidad del recurso hídrico baja.

En la Gráfica 37, se exhibe el comportamiento de los IDHA e ISHA para el municipio de Samacá.

Gráfica 37

IDHA e ISHA, Municipio de Samacá.



CAPACIDAD DE ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO DE...

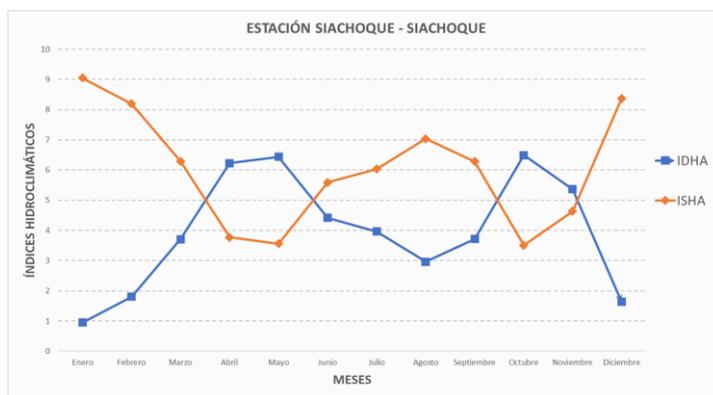
De la Gráfica 37, para el municipio de Samacá, se puede apreciar altos índices de sequía con valores superiores a 6 para los meses de enero, febrero, junio, julio, agosto, septiembre y diciembre.

Los meses con mayor disponibilidad hidro-ambiental son octubre y noviembre, sin embargo, el nivel de disponibilidad es bajo.

En la Gráfica 38, se expone el comportamiento de los *IDHA* e *ISHA* para el municipio de Siachoque.

Gráfica 38

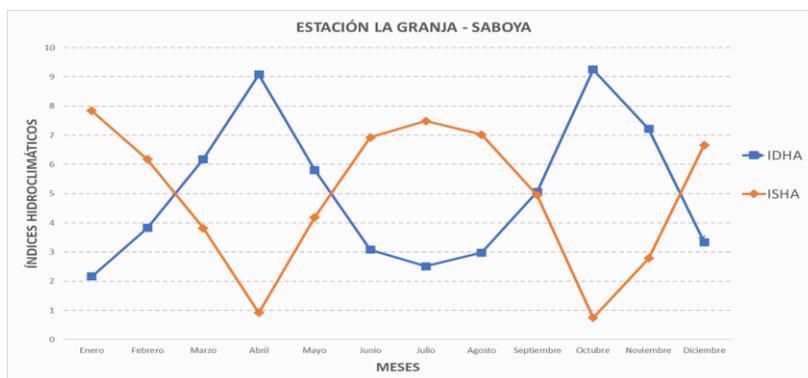
IDHA e ISHA, Municipio de Siachoque.



De acuerdo con la Gráfica 38, la disponibilidad hídrica para el municipio de Siachoque, evidencia una tendencia a mantener los periodos de sequía, donde el ISHA alcanza valores máximos sobre 9.

Los resultados manifiestan la baja disponibilidad hidro ambiental donde el valor máximo no alcanza a 7, y solo se presenta para los meses de abril, mayo, octubre y noviembre.

En la Gráfica 39, se enseña el comportamiento de los *IDHA* e *ISHA* para el municipio de Saboyá.

Gráfica 39*IDHA e ISHA, Municipio de Saboyá*

De acuerdo con la Gráfica 39, en lo referente a la disponibilidad hídrica para el municipio de Saboyá, se observan dos picos de disponibilidad hidro-ambiental, los cuales se presentan en el mes de abril y octubre, con un nivel alto, cuyo valor es superior a 9.

En términos generales se denotan unas condiciones de variabilidad marcadas por los periodos bimodales dominantes, donde el primer y tercer trimestre del año en su mayoría presentan condiciones de sequía.

En la Gráfica 40, se puede observar el comportamiento de los *IDHA e ISHA* para el municipio de Arcabuco.

Gráfica 40*IDHA e ISHA, Municipio de Arcabuco*

CAPACIDAD DE ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO DE...

De acuerdo con la Gráfica 40, para el municipio de Arcabuco, los resultados manifiestan una suficiente disponibilidad hidro-ambiental durante la mayor parte del año, donde predomina la temporada húmeda.

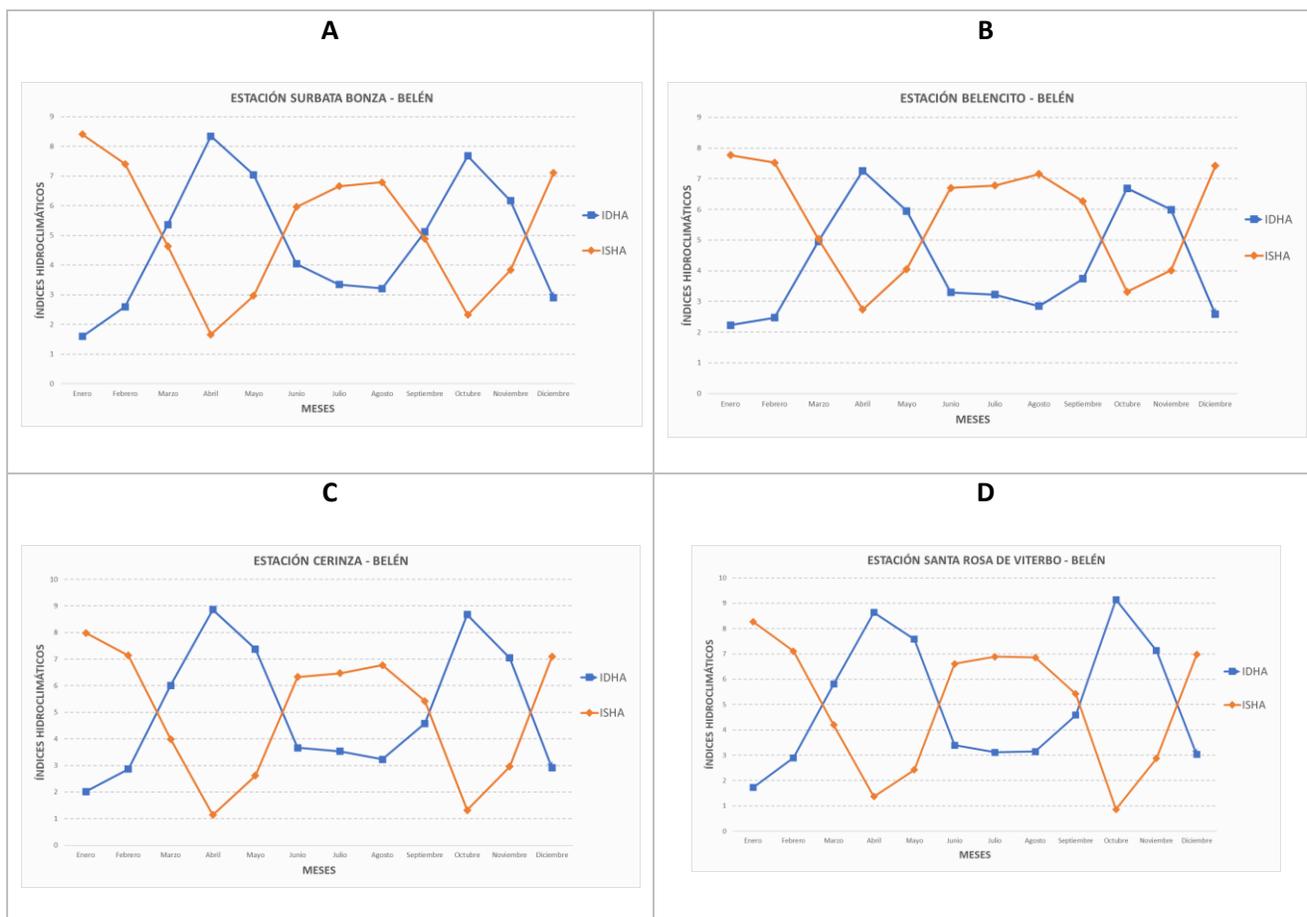
Para los meses de junio, julio, agosto y septiembre se presenta la temporada seca donde el ISHA no supera el valor de 8.

Lo anterior, denota buena disponibilidad hídrica.

En la Gráfica 41, se puede observar el comportamiento para los índices *IDHA* e *ISHA* para el municipio de Belén.

Gráfica 41

IDHA e ISHA, Municipio de Belén



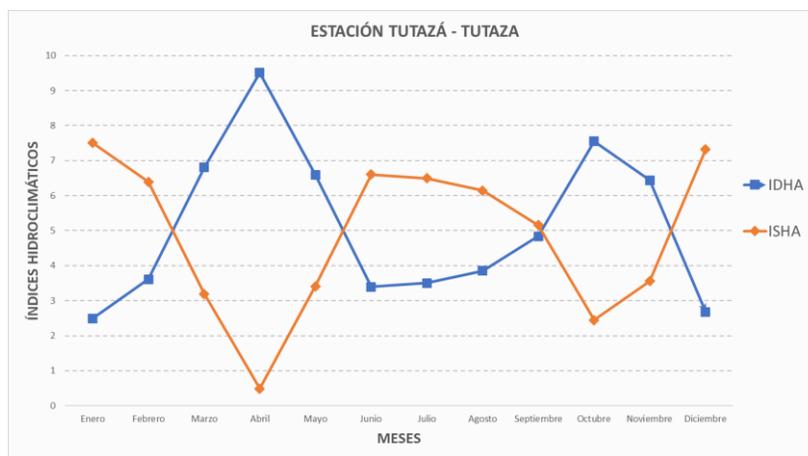
En lo que respecta a los índices hidroclimáticos para el municipio de Belén, de acuerdo con la Gráfica 41, con los datos de las cuatro estaciones analizadas (Surbata Bonza, Belencito, Cerinza y Santa Rosa de Viterbo) muestran comportamientos similares, donde el índice IDHA, es dominante durante los meses de abril y octubre, lo que denota buena disponibilidad hídrica para el segundo y cuarto trimestre del año.

No obstante, los resultados para el índice ISHA, denotan un déficit de disponibilidad hídrica para los meses de enero, febrero, junio, julio, agosto y septiembre, correspondientes al primer y tercer trimestre del año.

En la Gráfica 42, se muestran los índices *IDHA* e *ISHA* para el municipio de Tutazá.

Gráfica 42

IDHA e ISHA, Municipio de Tutazá



De acuerdo con la Gráfica 42, los índices hidroclimáticos para el municipio de Tutazá, manifiestan un pico en el índice IDHA, para el mes de abril, donde alcanza un valor cercano a 10.

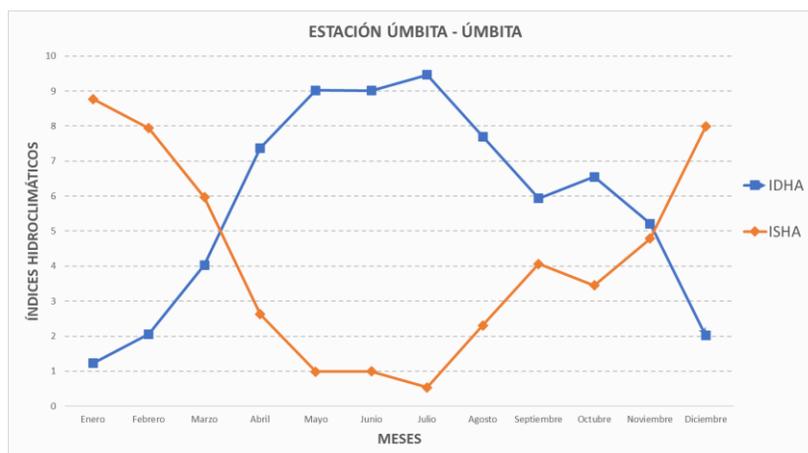
Las condiciones climáticas en general son variables, se presentan temporadas húmedas y secas, lo que impone la necesidad de hacer un uso racional y eficiente del recurso hídrico.

En la

Gráfica 43 Gráfica 43, se presenta el comportamiento de los IDHA e ISHA para el municipio de Úmbita.

Gráfica 43

IDHA e ISHA, Municipio de Úmbita.



En lo que referente a los índices hidro climáticos para el municipio de Úmbita, según la Gráfica 43, la mayor parte del año se presenta disponibilidad hídrica, dada la dominancia que tiene el índice IDHA donde los valores se mantienen por encima del valor de 5. La temporada seca se registra entre los meses de diciembre a marzo donde el ISHA domina las condiciones climáticas del municipio.

En general, todos los municipios bajo estudio presentan una condición bimodal donde se registran periodos secos y húmedos durante todo el año.

En particular, el municipio de Úmbita presenta condiciones de disponibilidad hídrica más constantes, ya que la época húmeda se registra desde el mes de abril hasta el mes de noviembre.

La tendencia en todas las estaciones muestra que los meses más secos son enero, julio, agosto, septiembre y diciembre, donde aumenta el ISHA, por lo cual, el ajuste de fechas de siembra, así como la implementación de reservorios y el empleo de sistemas de riego presurizados son unas de las medidas posibles a adoptar por los productores de papa.

Índice de Martonne

A continuación, se presentan los valores obtenidos del índice bioclimático de Martonne para el periodo mensual, en los municipios objeto de estudio, con el fin de clasificar mediante una caracterización numérica un clima en función de los elementos climáticos principales, IGAC (2021), y de esta forma complementar los resultados obtenidos para el IDHA y el ISHA.

En la Tabla 17 y en la Gráfica 44, se presentan los valores obtenidos para el Índice de Martonne, para las condiciones climáticas de los diez municipios bajo estudio.

Tabla 17

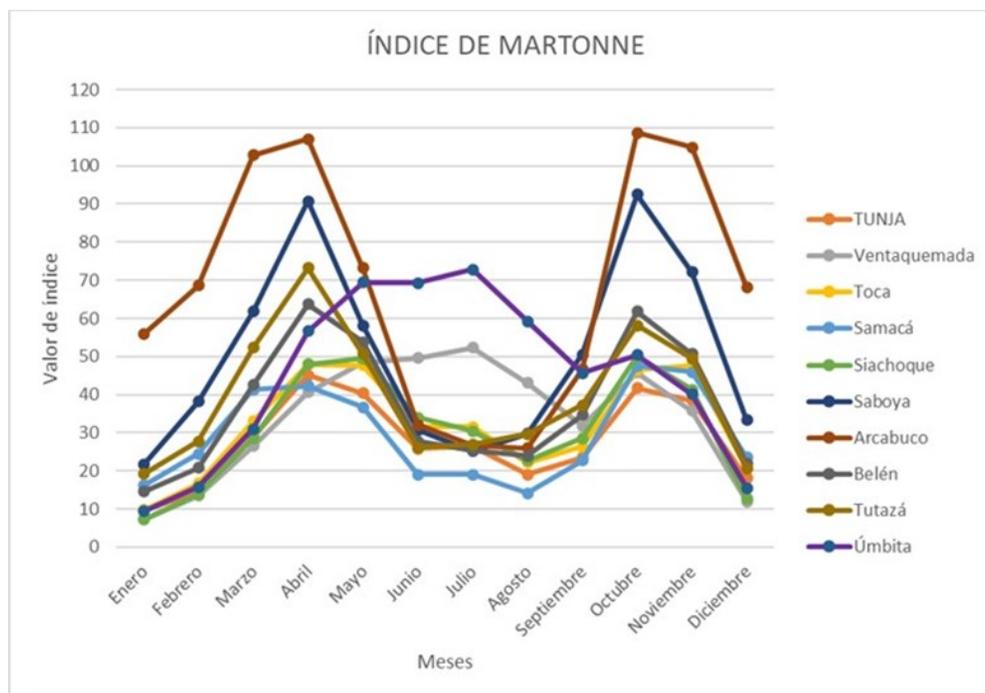
Índice de Martonne para los Municipios del AE

Estación	ÍNDICE DE MARTONNE											
	Enero	Febrero	Marz	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
UPTC	9.6	14.5	29.0	45.2	40.4	25.8	26.4	19.1	23.6	41.8	38.5	18.1
Ventaquemada	8.7	14.0	27.7	41.6	47.3	48.3	49.7	41.7	30.8	47.0	37.4	18.1
Turmequé	5.4	12.8	24.4	35.7	45.4	41.2	43.8	36.3	28.3	42.9	31.6	1.6
Nuevo Colón	7.4	13.8	27.5	44.4	52.3	59.4	63.7	51.4	36.5	47.6	38.3	16.2
La Copa	11.1	16.4	34.7	48.8	48.4	28.4	28.8	22.3	26.9	45.7	45.8	21.1
Casa Amarilla	8.1	17.0	31.4	47.2	47.1	34.6	34.3	22.0	26.0	47.3	49.5	20.5
Villa Carmen	16.1	24.5	41.4	42.3	36.7	19.0	19.1	14.2	22.7	47.6	46.0	23.5
Siachoque	7.3	13.9	28.5	47.9	49.5	33.9	30.5	22.8	28.6	50.0	41.3	12.6
La Granja	21.6	38.3	61.8	90.8	58.1	30.8	25.1	29.8	50.6	92.5	72.1	33.4
Arcabuco	55.8	68.6	102.9	107.1	73.2	32.1	26.8	26.0	46.6	108.7	104.8	68.0
Surbata Bonza	12.3	20.0	41.2	64.2	54.1	31.1	25.7	24.7	39.4	59.1	47.4	22.3
Belencito	17.2	19.0	38.2	55.9	45.7	25.3	24.8	21.9	28.8	51.4	46.1	19.9
Cerinza	15.5	22.0	46.2	68.2	56.8	28.2	27.2	24.8	35.3	66.8	54.2	22.4
Santa Rosa de Viterbo	13.3	22.3	44.7	66.4	58.3	26.1	23.9	24.2	35.2	70.3	54.8	23.3
Tutazá	19.2	27.8	52.4	73.2	50.7	26.1	26.9	29.7	37.2	58.1	49.5	20.6
Úmbita	9.4	15.8	31.0	56.7	69.4	69.3	72.8	59.2	45.7	50.4	40.1	15.5

Gráfica 44

Índice de Martonne.

CAPACIDAD DE ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO DE...



De acuerdo a los resultados obtenidos para el índice de Martonne se evidencia que los municipios de Siachoque, Úmbita, Toca, Ventaquemada y Tunja, registran el mes de enero como un mes árido, mientras Belén, Samacá y Tutazá registran a enero como un mes semiárido, por su parte Saboya presenta para el mismo mes una condición subhúmeda y Arcabuco una condición húmeda.

Para los municipios de Tunja, Toca, Samacá, Siachoque, Saboya, Belén y Tutazá, se presenta un comportamiento bimodal donde las condiciones bioclimáticas fluctúan entre meses áridos y semiáridos para el primer y tercer trimestre del año y meses entre húmedos y muy húmedos para el segundo y cuarto trimestre del año.

El municipio de Arcabuco mantiene su condición de humedad en los trimestres uno, dos y cuatro, disminuyendo durante el trimestre 3, alcanzando una clasificación subhúmeda, este municipio durante ninguna época del año alcanza condiciones preocupantes de aridez.

El municipio de Ventaquemada experimenta las siguientes condiciones según el Índice de Martonne, durante el mes de enero experimenta una condición de aridez, los meses de febrero y diciembre se consideran semiáridos, marzo se considera un mes semihúmedo, los meses de abril,

CAPACIDAD DE ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO DE...

agosto, septiembre, octubre y noviembre registran una condición húmeda y los meses de mayo, junio y julio presentan una condición muy húmeda.

Por otra parte, el municipio de Ventaquemada registra para el mes de enero una condición de aridez, para los meses de febrero y diciembre, una condición semiárida, para marzo registra una condición subhúmeda y para los demás meses se mantiene la condición húmeda.

Índice Holístico de Riesgo e Índice de Adaptación al Cambio Climático

Con la finalidad de conocer el índice holístico de riesgo, se procedió a determinar las vulnerabilidades climáticas, para los factores clima, agua y suelo. Finalmente se encontró el índice de adaptación al cambio climático de los sistemas productivos en los municipios de interés.

Índice Holístico de Riesgo (IHR)

Para determinar el índice de riesgo holístico se tuvieron en cuenta las vulnerabilidades para los factores de clima, agua y suelo, estas se presentan en la Tabla 18.

Tabla 18

Vulnerabilidad para los Sistemas Productivos de Papa en el Área de Estudio.

ACTORES	VARIABLES	NO VULNERABLE	VULNERABLE	ALTAMENTE VULNERABLE
CLIMA	Tmed (°C)	13 < Tmed > 18	12 a 13 ó 18 a 20	11 < Tmed > 21
	pp (mm)	Entre 800 y 200	< 800	< 400
SUELO	pH (unidades)	6 < pH > 8	5 < pH > 5,5	pH < 5 ó pH > 8
	C.E(dSm ⁻¹)	< 1	1 a 2	> 2
	M.O (%)	Más de 1.75%	0,75 a 1,75%	Menos de 0.75%
AGUA	pH (unidades)	6 < pH > 8	6 < pH > 8	6 < pH > 8
	C.E(dSm ⁻¹)	< 2	2 a 3	> 3
	Disponibilidad	Recurso > Extracción	Recurso = Extracción	Recurso < extracción

Finalmente, se determinó el índice holístico de riesgo para cada municipio bajo estudio, en función de las amenazas, el grado de vulnerabilidad y la capacidad de respuesta. Este se presenta en la Tabla 19.

Tabla 19

CAPACIDAD DE ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO DE...

Índice Holístico de Riesgo (IHR) para los Municipios del Área de Estudio.

Municipio	Amenazas (Inundaciones. Heladas. Sequias)			Vulnerabilidad			Capacidad de respuesta			IHR
	Frec.	Inten	Pérd	Disp. Hídric a	Divers . Espe.	Suscep. a la Erosión	Labores de conser.	Nivel de conoc.	Apoyos guber.	
Tunja	2.2	1.2	2.9	2.5	1	3	0.5	3	3	2.0
Ventaque mada	2.2	1.5	2.9	2.5	2.5	3	0.5	3	3	2.2
Toca	2.2	1	2.9	2.1	2.5	3	0.5	3	3	2.1
Samacá	2.2	1.5	2.9	2.5	2.5	3	0.5	3	3	2.2
Siachoque	2.2	1	2.9	2.5	1.8	3	0.5	3	3	2.1
Saboyá	2.2	1.5	2.9	1.5	2.5	3	0.5	3	3	2.1
Arcabuco	1.8	1.5	2.9	1.5	1.8	3	0.5	3	3	1.9
Belén	1.8	1.3	2.9	2.5	1.5	3	0.5	3	3	2.0
Tutazá	2.2	1.3	2.9	2.5	2.5	3	0.5	3	3	2.2
Úmbita	2.2	1.4	2.9	2.5	2.5	3	0.5	3	3	2.2

De acuerdo, con la Tabla 19, donde se muestran los resultados obtenidos para el Índice Holístico de Riesgo (IHR), se observa que para el municipio de Arcabuco se obtuvo un valor de 1.9, lo que indica un nivel de riesgo medio, con rango entre (1.1 a 1.9), así como el nivel de resiliencia ecológica medio;

Los valores obtenidos del Índice Holístico de Riesgo para los demás municipios bajo estudio, se encuentran en el rango entre (2.0 a 2.9), de tal forma que, en este caso, el nivel de riesgo es alto y el nivel de resiliencia socio ecológica es bajo. Al comparar con los valores obtenidos para el estudio de Álvarez Morales (2015), se encontró que la localidad denominada Valle de Santo Domingo (VSD) presenta un riesgo medio con un IHR de 1.73, las otras dos localidades presentan un IHR alto del orden de 2.2, similares a los obtenidos para la mayoría de municipios bajo estudio. Se debe considerar que es fundamental mejorar la capacidad de respuesta ante amenazas, fortalecer las redes de apoyo, así como el nivel de conocimiento respecto a estrategias para manejo de escases hídrica, protección de rondas hídricas, entre otros.

Índice de adaptación del cultivo de papa al cambio climático (IACC)

Para establecer este índice se partió de los valores de referencia para los parámetros: ciclo de vida del cultivo (Cc), necesidades de riego (Nr) y tolerancia a las altas y bajas temperaturas (Tmax) y (Tmin) respectivamente, toda vez que dichos parámetros condicionan la adaptación y productividad del cultivo de la papa, según, Yadav et al. (2011). En la Tabla 20, se presentan los valores obtenidos para el IACC.

Tabla 20

Índice de Adaptación al Cambio Climático para los Municipios del Área de Estudio.

Municipio	CICLO DE VIDA días	Agua por ciclo de producción mm	T (°C)	IACC
Tunja	170	400	14	0.7
Ventaquemada	130	400	14	0.8
Toca	120	400	14	0.9
Samacá	130	400	14	0.8
Siachoque	130	400	14	0.8
Saboyá	150	600	16	0.5
Arcabuco	130	600	16	0.6
Belén	165	400	14	0.7
Tutazá	180	400	14	0.7
Úmbita	180	500	16	0.5
Cultivo ideal				1

En lo referente al Índice de Adaptación al Cambio Climático, se tiene que el valor ideal para el cultivo es de 1, de tal forma que entre más alto sea el valor obtenido, se tiene una mejor condición para la adaptación.

De acuerdo con los resultados obtenidos, según la Tabla 20, el municipio de Toca, obtuvo un valor de 0.9, de tal forma que es el municipio bajo estudio con mejores capacidades para la adaptación al cambio climático, le siguen los municipios de Ventaquemada, Samacá y Siachoque, con un índice de 0.8; Los municipios de Belén, Tunja y Tutazá cuentan con un IACC de 0.7, clasificándolos con una capacidad de adaptación media.

CAPACIDAD DE ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO DE...

Finalmente, los municipios de Úmbita, Saboyá, Arcabuco, obtuvieron IACC de 0.5, 0.5 y 0.6, respectivamente, clasificándolos como municipios con baja capacidad de adaptación al cambio climático. Comparando con los resultados obtenidos por Álvarez Morales (2015), se encuentra que, se analizaron varios cultivos encontrando que la papa tiene un valor de IACC de 0.622 para la región del valle de Santo Domingo, teniendo una baja adaptación al cambio climático.

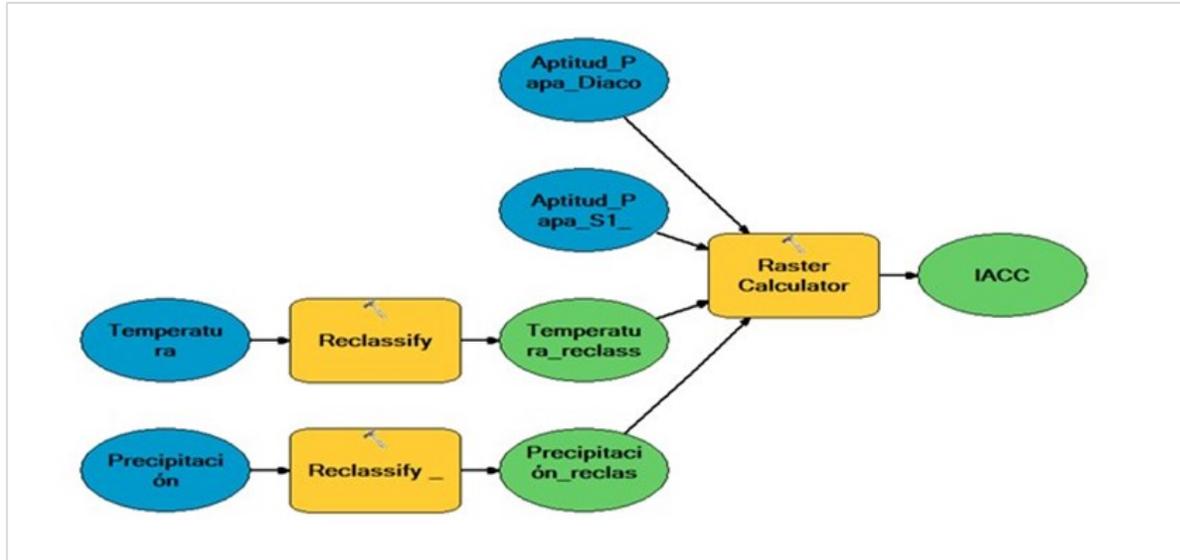
De lo anterior se puede analizar el cumplimiento del supuesto número 2, el que se refiere a que los sistemas productivos papeiros de Boyacá son susceptibles de adaptación al cambio climático, donde se puede determinar que si son susceptibles, se debe propender por implementar técnicas para poder garantizar la supervivencia de la variedad de la papa en las condiciones ambientales extremas, como heladas, inundaciones y sequías, modificar fechas de siembra, rotar cultivos, implementar policultivos, entre otras.

Modelo de aplicación con Model Builder

Luego de determinar el Índice de adaptación al cambio climático, se procedió a espacializar la información en la herramienta Model Builder del software ArcGis, la cual permite la creación, administración y edición de modelos, entendidos como flujos de trabajo que encadenan secuencias de herramientas de geoprocésamiento y suministran la salida de una herramienta a otra herramienta como entrada, para lo cual se emplearon las variables: Ciclo de vida del cultivo por especie de papa según predominancia, disponibilidad del recurso hídrico, se emplearon los mapas de isoyetas y de isotermas. Como se muestra en Figura 12.

Figura 12

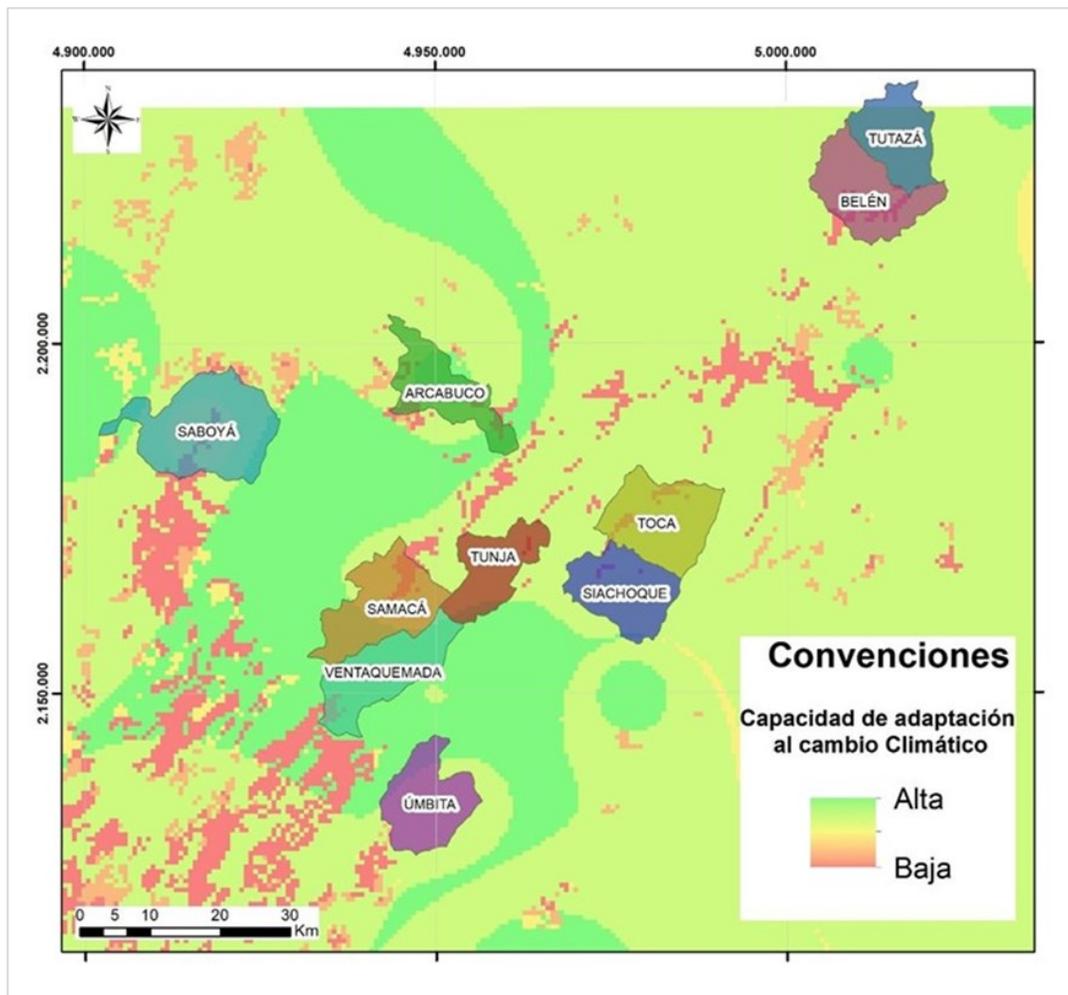
Modelo de Índice de Adaptación al Cambio Climático.



Como se evidencia en la Figura 13, los municipios que hacen parte del área de estudio tienen una capacidad de adaptación al cambio climático, entre baja, media y media alta lo cual es consecuente con los valores obtenidos en el cálculo de los índices anteriores. (ISAE, ISDHA, ISHA, IHR e IACC).

Figura 13

Capacidad de Adaptación al Cambio Climático de los Sistemas Productivos de Papa.

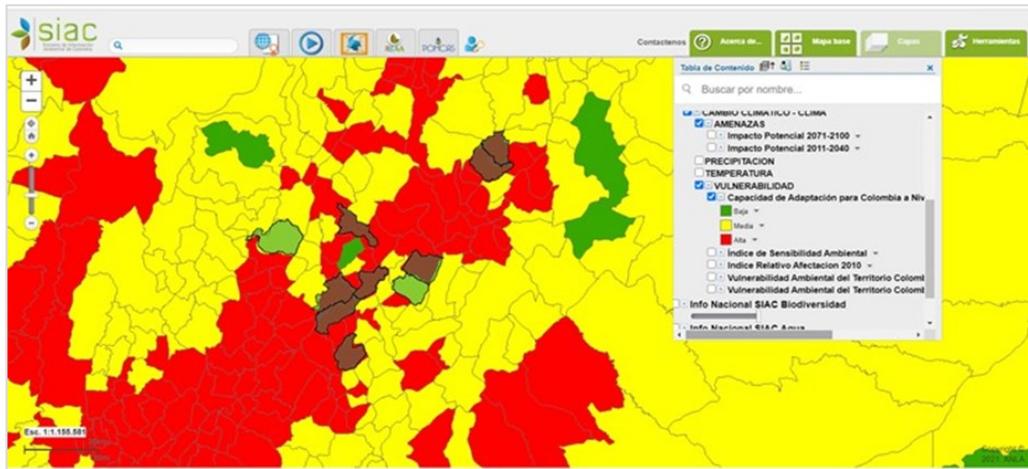


A partir de los resultados obtenidos, se procede a realizar una comparación global con registros espaciales reportados en el Sistema de Información Ambiental de Colombia (SIAC) (2021), los cuales presentan una capacidad de adaptación general para el cambio climático entre baja y media, lo anterior se puede observar la [Figura 14](#).

Lo anterior complementa, los análisis previos y permite mostrar que los resultados obtenidos en esta investigación, están en consonancia con la información ambiental para Colombia.

Figura 14

Capacidad de Adaptación para Colombia a Nivel Municipal, SIAC

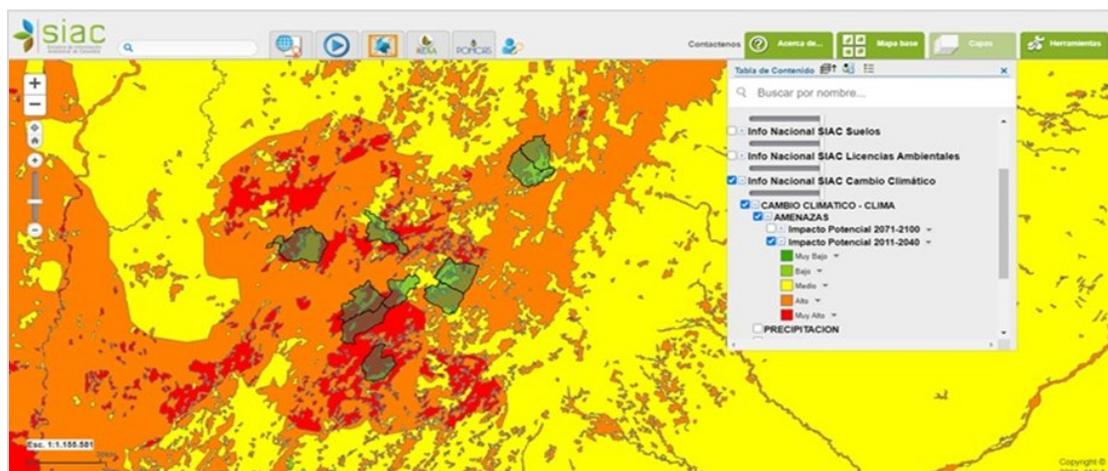


Nota: Imagen extraída de la página web del Sistema Ambiental de Colombia (SIAC) (2021).

Según la Figura 15, extraída del Sistema de Información Ambiental de Colombia (SIAC) (2021), el impacto potencial por cambio climático para el periodo 2011- 2040, para el área de estudio se categoriza entre alto y muy alto, lo que a su vez disminuye la capacidad de adaptación de los sistemas productivos. En este sentido, la adopción de estrategias de adaptabilidad cobra importancia en el corto plazo.

Figura 15

Impacto Potencial 2011-2040, SIAC



CAPACIDAD DE ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO DE...

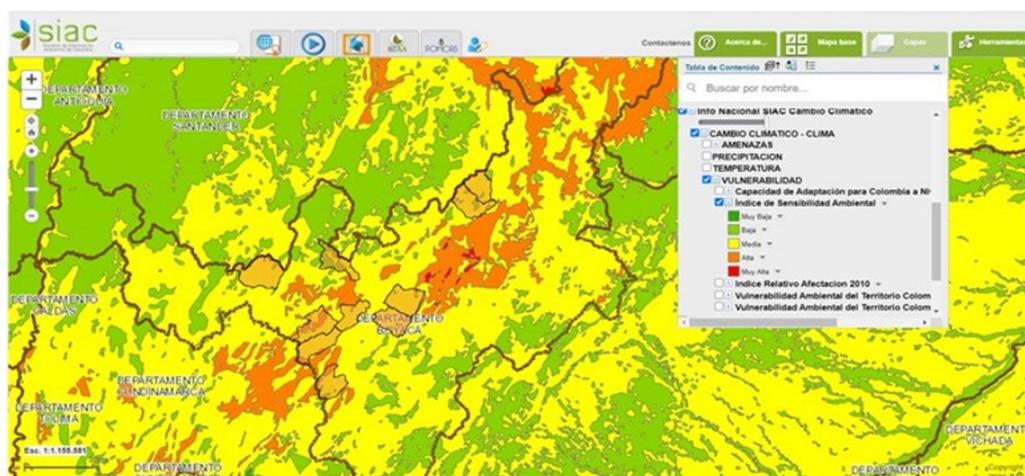
Nota: Imagen extraída de la página web del Sistema Ambiental de Colombia (SIAC) (2021).

En contraste el índice de sensibilidad ambiental para el área de estudio según el SIAC, demarca una categoría media, como se observa en Figura 16.

Según el IDEAM (2015), Boyacá presenta un grado de erosión aproximado del 6% al 73% de los suelos aptos para agricultura, los cuales presentan algún grado de erosión, lo cual aumenta los niveles de sensibilidad e implica riesgo en la seguridad alimentaria.

Figura 16

Índice de Sensibilidad Ambiental según SIAC.



Nota: Imagen extraída de la página web del Sistema Ambiental de Colombia (SIAC) (2021).

Análisis de la Incidencia del Cambio Climático e Identificación de Oportunidades de Adaptación al Cambio Climático para el Cultivo de la Papa en el Departamento de Boyacá

Los valores obtenidos para el índice de sustentabilidad agroecológica (ISAE), permiten determinar los siguientes criterios diagnóstico y puntos críticos, los cuales se presentan en la Tabla 21.

Tabla 21

Criterios Diagnóstico y Puntos Críticos ISAE.

Criterio de diagnóstico	Puntos críticos	
	Social	Productivo
Fragilidad climática		Ocurrencia de heladas
Fragilidad recurso hídrico		Concesión de aguas
Fragilidad socio- productiva		Agro diversidad
	Autosuficiencia alimentaria	Competencia por malezas
	Dependencia de insumos externos	Sistemas de manejo agro productivo
Capacidad de cambio e innovación	Asesoría y capacitación	Resistencia y/o tolerancia a estrés
		Canales de comercialización
		Resistencia a la incidencia de plagas

Respecto a los puntos críticos se observa en la Tabla 21, que estos se centran en los factores fragilidad climática, fragilidad hídrica, fragilidad social y fragilidad productiva.

De acuerdo con los criterios diagnóstico, los puntos críticos identificados y los resultados de los índices de sostenibilidad, índice holístico de riesgo, y de cambio climático, se realiza un análisis de la incidencia del cambio climático., con el fin de identificar las oportunidades de adaptación al cambio climático para los sistemas productivos de papa en el departamento de Boyacá.

Fragilidad Climática

En lo que respecta a la fragilidad climática, relacionada con el sector productivo se determinó que la ocurrencia de heladas tiene una probabilidad alta de ocurrencia y puede implicar la pérdida de la

CAPACIDAD DE ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO DE...

mayoría del cultivo para los productores. Como medidas de adaptación al cambio climático, se plantean: el uso de variedades genéticamente modificadas con resistencia a condiciones climáticas extremas, así como la modificación de las fechas de siembra, para que no coincidan con el periodo de heladas. Lo cual es consecuente con las prácticas de gestión del cultivo propuestas por Phillip et al.(2015); Diendere (2019); Ndambiri et al. (2014)

Fragilidad del Recurso Hídrico

De acuerdo con la fragilidad del recurso hídrico en lo que respecta al sector productivo se encuentra que los productores no cuentan con concesión de aguas, en algunos casos no tienen, por lo menos un reservorio, para garantizar el almacenamiento de agua para riego, sin embargo, modifican las fechas de siembra para que coincidan con la disponibilidad de lluvias, para los dos ciclos de siembra anual. Lo cual se considera una oportunidad de adaptación al cambio climático, la cual ya es realizada por los agricultores. Se recomienda como otras posibles alternativas de adaptación, aprovechar la altitud de siembra, y realizar la actividad de la cosecha de agua, así como la implementación de reservorios para la totalidad de los agricultores y tener como opción de riego el uso de dispositivos presurizados, ya sea el riego por aspersión o el por goteo.

Fragilidad Socioproductiva

En lo referente a la fragilidad socio productiva se encontraron varios puntos críticos, en el aspecto social, actualmente no se garantiza la seguridad alimentaria para los agricultores con el monocultivo de papa, debido a que los ingresos por la venta del producto no son suficientes para la subsistencia, por lo que deben realizar otras actividades como la ganadería y siembra de otros cultivos; es decir, diversificación agropecuaria, como alternativa de adaptación al cambio climático, se propone implementar técnicas de agroecología, que incluyen la diversificación de cultivos, en busca de procesos ambientalmente amigables y sustentables.

CAPACIDAD DE ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO DE...

De otro lado, la dependencia de insumos externos para el cultivo, debido al ataque de plagas y malezas que pueden afectarlo, implica la necesidad de un mayor uso de agroquímicos, plaguicidas, fungicidas, entre otros insumos agrícolas, lo que incrementa los costos de producción, así como implica el uso de compuestos tóxicos en el cultivo; la alternativa de manejo es la implementación de la agroecología con el uso de buenas prácticas agrícolas, en las que se incluye el control biológico de plagas y el deshierbe.

En lo que se refiere al aspecto productivo para la agrodiversidad, se determinó que los agricultores deben diversificar las variedades de siembra, de tal forma que, siembren entre otras variedades, Diacol Capiro, Rubí, Única, Pastusa, Superior, Tocarreña, Betina, R12, Perla Negra, Única Mejorada, Ica Única, las cuales, han sido desarrolladas para adaptarse a las condiciones climáticas, a plagas o enfermedades de la papa; como por ejemplo, la variedad Perla Negra, es resistente a la gota, por lo que requiere un menor uso de fungicidas, además de las características que posee para uso industrial.

De acuerdo con Pradel et al. (2019), la adopción de variedades mejoradas es una estrategia importante para adaptarse a la implicación negativa asociada con el cambio climático y la variabilidad. Sin embargo, los datos incompletos sobre la liberación y la adopción de variedades son a menudo la realidad en muchos países que obstaculizan la toma informada de decisiones.

En lo que se refiere a competencia por malezas, si esta no es controlada, implica competencia por la luz, por la humedad, por los nutrientes, además estas pueden albergar insectos y enfermedades que atacan al tubérculo, se pudo evidenciar el uso de agroquímicos para su control, lo que afecta en forma directa, como se expuso arriba, a los costos de producción, así como el riesgo de toxicidad tanto para el suelo, el tubérculo; y por ende, a la salud del agricultor y del consumidor.

Por lo expuesto en la parte anterior, se evidencia alteración a la sostenibilidad debido a los mayores costos de producción y la afectación al ambiente y a la salud.

CAPACIDAD DE ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO DE...

En lo que respecta a los sistemas de manejo productivo, con enfoque específico en el sistema de riego, el cual es tomado como una limitante debido a la generación de costos de inversión que pueden dificultar la adquisición del sistema tecnificado por parte de los pequeños agricultores; aunado a la carencia de capacitación.

En contraste, con lo observado por Riera y Pereira (2012), en su investigación, en la que sostienen como hipótesis que las interacciones entre la dimensión física y climática y la dimensión social, a nivel de las prácticas productivas, se constituyen en un aspecto clave para entender los procesos socio-históricos de transformación en el uso del suelo experimentados en gran parte de Argentina. Estas interacciones se cristalizan en la adopción de nuevas tecnologías como el riego, herramienta para la planificación de la campaña agrícola, puesto que, haciendo uso de este, el agricultor esta en libertad de elegir la fecha de siembra del cultivo.

Capacidad de Cambio e Innovación

En lo relacionado con el aspecto productivo, se encontraron tres puntos críticos: la resistencia y/o la tolerancia al estrés, los canales de comercialización y la resistencia a la incidencia de plagas.

Desde el aspecto de la resistencia y de la tolerancia al estrés se encuentra como soluciones, en primer lugar, el manejo de semillas modificadas genéticamente, manejo de semillas nativas con rotación de cultivos, la tecnificación de cultivos, agricultura de precisión, modificación de fechas de siembra, entre otros,

En lo que respecta a los canales de comercialización, Fuentes y Marchant (2016) en su estudio identificaron cuatro principales formas de comercialización por parte de los agricultores de Chile, a saber: venta directa en el predio, venta a intermediario, venta a mercado mayorista y venta en feria.

Una estrategia para favorecer el proceso de comercialización es la planteada por Nazif (2009), quien expone la importancia del apoyo a la agricultura familiar por medio de los diferentes convenios interinstitucionales que favorecen la conformación de redes con los mercados, para asegurar la venta de

la producción agrícola y de esta forma asegurar las condiciones socioeconómicas de las familias con producción a pequeña escala.

Finalmente, entre las oportunidades para el manejo de la resistencia a la incidencia de plagas, se propone al igual que arriba, el uso de semillas genéticamente modificadas, así como también el control biológico de plagas, la rotación cultivos, principalmente.

En cuanto al aspecto social, se determinó como punto crítico el acceso a asesoría y capacitación.

Es importante el reconocimiento que las diferentes entidades y académicos hacen al aspecto de la capacitación y apoyo que, a partir de entes gubernamentales y privadas, pueden ofrecer a los agricultores, y en forma muy específica a aquellos que manejan la agricultura familiar en pro de asegurar la sostenibilidad del cultivo y a su vez de garantizar la seguridad alimentaria familiar.

Aceptación de la hipótesis o supuestos

En esta investigación se pudo comprobar la hipótesis respecto a que, con el empleo de diferentes herramientas metodológicas, tales como encuestas a agricultores, índices de sustentabilidad agroecológica, de riesgo holístico o socio ecológico, de Sequia hidro ambiental, de disponibilidad hidroambiental, de Martonne y de adaptación al cambio climático, el uso de ArcGIS, tablas dinámicas en Excel, entre otras, se pudo evidenciar el grado de adaptabilidad de los sistemas productivos de papa al cambio climático en el departamento de Boyacá, siendo en este caso, bajo para los municipios de Saboya, Úmbita, Arcabuco, Tunja, Belén y Tutazá y medio para los municipios de Samacá, Ventaquemada, Siachoque y Toca.

Respecto al supuesto No 1, se acepta el supuesto debido a que los agrosistemas productivos de papa en Boyacá pueden orientarse hacia modelos de sostenibilidad y sustentabilidad, lo anterior se muestra con la determinación del ISAE para los diez municipios bajo estudio encontrándose seis (Toca, Arcabuco, Úmbita, Saboya, Samacá y Siachoque), en el nivel medianamente sustentable, donde se perciben beneficios sustentables en los sistemas productivos; finalmente para los municipios de Tunja,

CAPACIDAD DE ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO DE...

Ventaquemada, Belén y Tutazá este indicador dio en el límite del rango superior de poco sustentable (0.70), por lo que se deben aprovechar las posibles oportunidades de adaptación al cambio climático, buscando hacer más sostenibles estos sistemas productivos.

Para terminar, el supuesto No.2 se puede aceptar considerando que los sistemas productivos paperos son susceptibles de adaptación al cambio climático, lo cual se puede corroborar a partir de las oportunidades de adaptación al cambio climático las cuales se determinaron al evaluar el índice holístico de riesgo y al definir los puntos críticos con las vulnerabilidades y oportunidades de adaptación al cambio climático. Entre los puntos críticos se tienen: la fragilidad climática, la fragilidad hídrica, la fragilidad social y la fragilidad productiva.

Y entre las principales oportunidades de adaptación se encuentran: el uso de variedades genéticamente modificadas con resistencia a condiciones climáticas extremas, así como la modificación de las fechas de siembra, para que no coincidan con el periodo de heladas; fechas de siembra para que coincidan con la disponibilidad de lluvias, para los dos ciclos de siembra anual. Lo cual se considera una oportunidad de adaptación al cambio climático, la cual ya es realizada por los agricultores. Se recomienda como otras posibles alternativas de adaptación, aprovechar la altitud de siembra, y realizar la actividad de la cosecha de agua, así como la implementación de reservorios para la totalidad de los agricultores y tener como opción de riego el uso de dispositivos presurizados, ya sea el riego por aspersión o el por goteo; realizar otras actividades como la ganadería y siembra de otros cultivos; es decir, diversificación agropecuaria, como alternativa de adaptación al cambio climático, se propone implementar técnicas de agroecología, que incluyen la diversificación de cultivos, en busca de procesos ambientalmente amigables y sustentables. En lo relacionado con el aspecto productivo, se encontraron tres puntos críticos: la resistencia y/o la tolerancia al estrés, los canales de comercialización y la resistencia a la incidencia de plagas,

CAPACIDAD DE ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO DE...

Desde el aspecto de la resistencia y de la tolerancia al estrés se encuentra como soluciones, en primer lugar, el manejo de semillas modificadas genéticamente, manejo de semillas nativas con rotación de cultivos, la tecnificación de cultivos, agricultura de precisión, modificación de fechas de siembra, entre otros,

En lo que respecta a los canales de comercialización, Fuentes y Marchant (2016) en su estudio identificaron cuatro principales formas de comercialización por parte de los agricultores de Chile, a saber: venta directa en el predio, venta a intermediario, venta a mercado mayorista y venta en feria.

Una estrategia para favorecer el proceso de comercialización es la planteada por Nazif (2009), quien expone la importancia del apoyo a la agricultura familiar por medio de los diferentes convenios interinstitucionales que favorecen la conformación de redes con los mercados, para asegurar la venta de la producción agrícola y de esta forma asegurar las condiciones socioeconómicas de las familias con producción a pequeña escala.

Finalmente, entre las oportunidades para el manejo de la resistencia a la incidencia de plagas, se propone al igual que arriba, el uso de semillas genéticamente modificadas, así como también el control biológico de plagas, la rotación cultivos, principalmente.

En cuanto al aspecto social, se determinó como punto crítico el acceso a asesoría y capacitación.

Es importante el reconocimiento que las diferentes entidades y académicos hacen al aspecto de la capacitación y apoyo que, a partir de entes gubernamentales y privadas, pueden ofrecer a los agricultores, y en forma muy específica a aquellos que manejan la agricultura familiar en pro de asegurar la sostenibilidad del cultivo y a su vez de garantizar la seguridad alimentaria familiar.

Conclusiones

Desarrollado el proceso y aplicada la metodología de investigación, se obtiene como respuesta que:

Los resultados obtenidos para el ISAE para los sistemas productivos paperos de los municipios de Tunja, Ventaquemada, Belén y Tutazá, se encuentran en el rango entre (0.51 – 0.70), equivalente a poco sustentable, obteniéndose muy pocos beneficios económicos; en contraste, el índice obtenido para: Toca, Samacá, Siachoque, Saboya, Úmbita y Arcabuco, se encuentra en el rango entre (0.71 - 0.90), clasificando a estos sistemas como medianamente sustentables, en los que se cuenta con beneficios perceptibles.

Con la realización del análisis de los datos climatológicos de temperatura y precipitación, durante el periodo de 1986 a 2019, se obtuvieron los respectivos mapas para dos series de (17) diecisiete años, de tal forma, que, para la precipitación, en el primer periodo de tiempo, se concluyó que los menores valores se presentaron en Tunja, Toca y Samacá, en un rango entre los 618 mm y 886 mm.

Continuando, los municipios que presentaron precipitaciones medias estos fueron Ventaquemada y Siachoque, con valores entre 618mm y 1.155mm, mientras que los municipios de Úmbita, Tutazá y Belén evidenciaron precipitaciones de 886mm a 1.155mm.

Finalmente, las mayores precipitaciones fueron registradas en los municipios de Saboyá y Arcabuco, con valores entre 1.155mm a 1.424mm y entre 1.155mm hasta 1.961mm, respectivamente.

En lo referente al segundo periodo, comprendido entre 2003 – 2019, en los municipios de Tunja y Toca, el rango de lluvias fue el menor, con registros entre 694mm y 965 mm; por otra parte, los municipios de Samacá, Ventaquemada, Siachoque, Tutazá y Belén, registraron precipitaciones entre

CAPACIDAD DE ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO DE...

694mm y 965 mm, en la mayor parte de su territorio, y alcanzaron valores en el rango de 966mm a 1.237mm.

En el caso de Úmbita en la mayor parte del territorio se presentaron lluvias promedio entre 966mm y 1.237mm. Finalmente, para los municipios de Arcabuco y Saboyá se registraron lluvias entre 1.238 mm y 1.779mm, siendo las zonas con mayor registro en el periodo evaluado.

Respecto al comportamiento de la temperatura media multianual, para el periodo comprendido entre los años 1986-2002, se observó que: La temperatura media multianual para los municipios de Toca, Siachoque, Tunja, Úmbita y Belén, se hallaba entre 13.6°C y 15.3°C; para el municipio de Arcabuco la temperatura se encontró entre 15.4°C y 17.1°C; contrastando con el municipio de Tutazá, donde la temperatura osciló entre los 11.9°C y 15.3°C, y para los municipios de Samacá, Ventaquemada, y Saboyá, la temperatura promedio fluctuó entre los 13.6 °C y 17.1°C. Se debe comentar que la temperatura ideal para el cultivo de papa está entre los 12°C y 18°C, se evidencio que todos los municipios cuentan con esta condición.

Para el segundo periodo de tiempo de 2003 a 2019, se observó que: Los municipios de Belén y Tutazá, registraron los rangos de temperatura más bajos, entre los 12.3°C y 15.7 °C y entre los 12.3°C y 13.9°C, respectivamente; por otra parte, Tunja, Saboya, Samacá, Úmbita, Siachoque, Toca y Arcabuco en la mayoría de su territorio, presentaron temperaturas que oscilan entre los 14°C y 15.7°C. Finalmente, para el municipio de Ventaquemada la temperatura se encontraba entre los 14°C y 17.4°C, siendo el más cálido. Igualmente, se cumple con la condición de temperatura óptima para el cultivo de papa. En lo que respecta al cambio de temperatura, contrastando los dos periodos de tiempo bajo análisis se encuentra que la variación de temperatura es de hasta de 0.2°C para los municipios de Arcabuco, Samacá, Ventaquemada, Úmbita, Siachoque y Tutazá; de otra parte, los municipios de Toca, Saboyá y Belén presentaron un cambio de temperatura entre -0.2 °C y 0.2°C; en lo que respecta a Tunja, está

CAPACIDAD DE ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO DE...

registra un cambio de temperatura hasta de 0.4 °C. Es de aclarar que las variaciones de temperatura no son elevadas.

Por otra parte, al contrastar con el trabajo desarrollado por Sierra (2019), este evidenció variaciones de temperatura entre (-1.2 a 1.6) °C, y en el presente estudio, se determinó una menor variación en la temperatura (-0.2 a 0.4) °C; lo anterior se puede explicar por el periodo de años bajo estudio, así como la zonificación, debido a que en el primer estudio se tomaron datos de 1986 a 2017, y en el actual estudio de 1986 a 2019, y la zonificación para el estudio anterior se realizó por provincias escogiéndose tres (Centro, Sugamuxi y Tundama), y en estudio actual se hizo por municipios, seleccionando diez.

En lo que se refiere a cambios en la precipitación promedio, para el periodo de treinta y cuatro (34) años, se pudo evidenciar que, en Tunja, Samacá y Ventaquemada, se registró un aumento entre el 5.3% y el 12.2%; mientras que, en Toca, Siachoque, Úmbita y Arcabuco, el porcentaje de precipitación aumento hasta en un 5.3%, en contraste, para Úmbita también se registró una disminución de hasta 8.4% en la zona centro del municipio. Para el municipio de Saboya, la mayor parte del territorio registró un aumento de precipitación entre 12.2% y 19.2%.

Por el contrario, en el municipio de Tutazá se evidenció una disminución en la precipitación entre el 15.2% y el 22.2%. Finalmente, para el municipio de Belén, se observó un aumento de precipitación hasta del 12.2% para la zona sur-oriental y una disminución hasta del 29.1% para la zona noroccidental del municipio.

Al comparar con la investigación de Sierra Herrera (2019), se observaron mayores variaciones de precipitación siendo estas entre el (-40% a 60%), lo cual está relacionado con el rango de años bajo estudio y con la unidad de muestreo

CAPACIDAD DE ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO DE...

A partir de los resultados obtenidos para el índice Bioclimático de Martonne, todos los municipios bajo estudio presentan una condición bimodal donde se registran periodos secos y húmedos durante todo el año.

El municipio de Úmbita presenta condiciones de disponibilidad hídrica más constantes, ya que la época húmeda se registra desde el mes de abril hasta el mes de noviembre.

La tendencia en todas las estaciones muestra que los meses más secos son enero, julio, agosto, septiembre y diciembre, donde aumenta el ISHA, por lo cual, la implementación de sistemas de riego presurizados es una de las medidas más urgentes y necesarias adoptadas por los productores de papa.

En lo concerniente al Índice de Adaptación al Cambio Climático (IACC), el municipio de Toca, obtuvo un valor de 0.9, de tal forma que es el municipio bajo estudio con mejores capacidades para la adaptación al cambio climático, le siguen los municipios de Ventaquemada, Samacá y Siachoque, con un índice de 0.8; Los municipios de Belén, Tunja y Tutazá cuentan con un IACC de 0.7, obteniendo una capacidad de adaptación media;

Finalmente, los municipios de Úmbita, Saboyá, Arcabuco, obtuvieron IACC de 0.5, 0.5 y 0.6, respectivamente, clasificándolos como municipios con baja capacidad de adaptación.

A partir de la implementación de la herramienta Model Builder del software ArcGIS, se generó un modelo para observar el Índice de adaptación al cambio climático en función de: Ciclo de vida del cultivo, disponibilidad del recurso hídrico, y los mapas de precipitación y de temperatura media, cuyo producto fue un mapa que permitió hacer observable la capacidad de adaptación al cambio climático de los sistemas bajo estudio, la cual se encuentra entre baja y media.

En esta investigación se pudo comprobar la hipótesis respecto a que, con el empleo de diferentes herramientas metodológicas, tales como determinación de índices de adaptabilidad, uso de SIG, entre otras, se pudo evidenciar el grado de adaptabilidad de los sistemas productivos de papa en el departamento de Boyacá, siendo en este caso entre bajo y medio.

CAPACIDAD DE ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO DE...

En lo referente al Índice Holístico de Riesgo (IHR), se obtuvo que el municipio de Arcabuco presenta un nivel de riesgo medio, con un índice de 1.9, así como el nivel de resiliencia ecológica medio; Para los otros nueve municipios el índice se encuentra en el rango entre (2.0 a 2.9), que indica un nivel de riesgo alto y un nivel de resiliencia socio ecológica bajo.

Finalmente, con respecto al análisis de la incidencia del cambio climático en la sostenibilidad de los sistemas productivos de papa, se puede concluir que la fragilidad climática, relacionada con el sector productivo, está definida por la ocurrencia de heladas, la cual tiene una probabilidad alta de ocurrencia y puede implicar la pérdida de la mayoría del cultivo para los productores.

Respecto a la fragilidad del recurso hídrico, se determinó que los productores no cuentan con concesión de aguas, ni tienen, por lo menos un reservorio, para garantizar el almacenamiento de agua para riego; sin embargo, emplean otras estrategias como modificar las fechas de siembra para que coincidan con la disponibilidad de lluvias, para los dos ciclos de siembra anual.

En lo referente a la fragilidad socio productiva se encontraron varios puntos críticos, en el aspecto social, actualmente no se garantiza la seguridad alimentaria para los agricultores a partir de solo el cultivo de papa.

Por último, para el aspecto productivo, en lo referente a la agrodiversidad, se concluyó que los agricultores han diversificado las variedades de siembra, sembrando entre dos y tres variedades en promedio, han sido desarrolladas para adaptarse a las condiciones climáticas, a plagas o enfermedades de la papa, como por ejemplo la variedad perla negra, resistente a la gota, que requiere menor uso de fungicidas, y puede ser usada para industria.

De acuerdo con la capacidad de cambio e innovación, en lo relacionado con el aspecto productivo, se encontraron los siguientes puntos críticos: la resistencia al estrés, los canales de comercialización y la resistencia a las plagas.

CAPACIDAD DE ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO DE...

En lo relacionado con el aspecto social, se determinó como punto crítico, el acceso a la asesoría y a la capacitación por parte de los productores.

Con respecto a la comparación entre los dos sistemas de manejo productivo, específicamente en el sistema de riego, se evidencia, que este es una limitante para optimizar la aplicación del agua al cultivo de papa, sin embargo, los costos de inversión y falta de capacitación, pueden dificultar la adquisición del sistema tecnificado por parte de los pequeños agricultores.

Recomendaciones

Se debe recomendar a los productores que participaron en este estudio:

Fortalecer el conocimiento de la reducción de impactos por el cambio climático, específicamente lo relacionado con la gestión del riesgo por heladas, la posibilidad de acceder a mejores sistemas de riego, la diversificación de cultivos, incluyendo la siembra de papas nativas y buscar la participación activa en la cadena productiva de la papa, tanto a nivel local, como regional y nacional.

Garantizar un mejor desempeño en la actividad agrícola, considerando el origen genético de las especies utilizadas; el manejo de los sistemas agro productivos, y las condiciones climáticas.

A partir de esta investigación se puede proponer desarrollar un trabajo similar, pero ampliando los años bajo estudio, mínimo a 50 años, así como incrementar el número de municipios bajo estudio.

Se recomienda propender por el fomento de investigaciones relacionadas con el desarrollo y uso de variedades de papas nativas, crear un banco de semillas y de variedades genéticamente modificadas.

Realizar estudios referentes a la influencia de la rotación de cultivos frente al monocultivo, así como estudios relacionados con el uso de Buenas Prácticas Agrícolas (BPA), para el control biológico de plagas en los cultivos.

Formular estudios que promuevan la implementación de la agroecología para pequeños productores, propendiendo por un manejo sostenible de los cultivos, de los recursos naturales y buscando la seguridad alimentaria.

Referencias

(s.f.).

Aguirre-Forero, S. E., Piraneque-Gambasica, N. V., & Pérez-Mojica, I. (Julio - Diciembre de 2012). Sistema de producción de tubérculos andinos en Boyacá, Colombia. *Cuadernos de Desarrollo Rural*, 9(69), 257-273. <https://doi.org/https://doi.org/10.11144/Javeriana.cdr9-69.spta>

Ajay, S. (August de 2016). Managing the water resources problems of irrigated agriculture through geospatial techniques: An overview. *Agricultural Water Management* Volume 174. *ScienceDirect*, 2-10. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2016.04.021>

Álvarez Morales, Y. (2015). *Evaluación de Indicadores de Sustentabilidad Agroecológica en Sistemas de Producción Agrícola de Baja California Sur, México*. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste S.C., Programa de Estudios de Posgrado. La Paz: Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste S.C. Retrieved 20 de marzo de 2021, from http://dspace.cibnor.mx:8080/bitstream/handle/123456789/460/alvarez_y.pdf?sequence=3&isAllowed=y

Andrade, H., Segura, M., Canal, D., Gómez, M., Marín, M., Sierra, E., Guependo, I., Alvarado, J., & Feria, M. (2013). *Estrategias de Adaptación al Cambio Climático en sistemas de Producción Agrícola y Forestal en el Departamento del Tolima* (Primera ed.). Ibagué, Tolima, Colombia: Sello Editorial Universidad del Tolima.

Anzoategui, L. (2012). *Caracterización del Sistema Papa (Solanum tuberosum L.) en el Municipio de Siachoque Boyacá*. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Facultad de Ciencias Agropecuarias - Programa de Ingeniería Agronómica. Tunja: Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia.

- Astier, M., Masera, O. R., & Galván-Miyoshi, Y. (2008). *Evaluación de Sustentabilidad. Un Enfoque Dinámico y Multidimensional* (Primera ed.). SEAE/CIGA/ECOSUR/UNAM/Mundiprensa.
https://www.ciga.unam.mx/publicaciones/images/abook_file/9788461256419.pdf
- Banco de la República; CAF - Banco de Desarrollo de América Latina. (2016). *El Desarrollo Equitativo, Competitivo y Sostenible del Sector Agropecuario en Colombia*. Bogotá: La Imprenta Editores S. A.
https://scioteca.caf.com/bitstream/handle/123456789/990/El_desarrollo_equitativo_competitivo_y_sostenible_del_sector_agropecuario_en_Colombia.pdf?sequence=4&isAllowed=y
- Barrera, J. F., Valle, J. F., Gómez, J., Herrera, J., López, E., & de la Rosa, J. (2018). *Manejo Holístico de Plagas en Zonas Cafetaleras. Concepto y Método*. México: Universidad Autónoma Chapingo; Centro Nacional de Investigación, Innovación y Desarrollo Tecnológico del Café; EL COLEGIO DE LA FRONTERA SUR. https://www.researchgate.net/publication/333194562_03-Manejo_holistico_de_plagas
- Boyacá, G. d. (20 de Febrero de 2019). El cultivo de la Papa en Boyaca años 2004 a 2018. Tunja, Boyacá, Colombia: Gobernación de Boyacá.
- Bozón Martínez, E. (Enero - Junio de 2014). La seguridad alimentaria y nutricional de Colombia, una prioridad. *Cuadernos Latinoamericanos de Administración*, X(18), 3. Retrieved 30 de Abril de 2021, from <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=409634370001>
- Campbell, B. M., Vermeulen, S. J., Aggarwal, P. K., Corner-Dolloff, C., Girvetz, E., Loboguerrero, A. M., Ramirez-Villegas, J., Rosenstock, T., Sebastian, L., Thornton, P. K., & Wollenberg, E. (2016). Reducing Risks to Food Security from Climate Change. *Global Food Security*, 11, 34-43. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.gfs.2016.06.002>
- Céspedes Restrepo, J. D., Arboleda Díaz, C., & Morales Pinzón, T. (2010). Aspectos determinantes de la seguridad alimentaria para fincas tipo en el municipio de Alcala. Un análisis desde la dinamica de

CAPACIDAD DE ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO DE...

sistemas. *Scientia et Technica*, 2(45), 53 - 58.

<https://doi.org/https://doi.org/10.22517/23447214.339>

Chávez-Caiza, J. P., & Burbano-Rodríguez, R. T. (Marzo - Agosto de 2021). Cambio climático y sistemas de producción agroecológico, orgánico y convencional en los cantones Cayambe y Pedro Moncayo.

Letras Verdes - Revista Latinoamericana de Estudios Socioambientales(29), 149 - 166.

<https://doi.org/doi.org/10.17141/letrasverdes.29.2021.4751>

Colombia - Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio - MINVIVIENDA. (2010). *Reglamento Técnico para el Sector Agua Potable y Saneamiento Básico. Título C. Sistemas de Potabilización.* . Bogotá: Vargas Liévano, Armando (Ed.).

Córdoba-Vargas, C. A., & León-Sicard, T. E. (2013). Resiliencia de Sistemas Agrícolas Ecológicos y Convencionales Frente a la Variabilidad Climática en Anolaima (Cundinamarca - Colombia).

Agroecología, 8(1), 21 - 32. <https://revistas.um.es/agroecologia/article/view/182931/152431>

Corporación Autónoma Regional de Boyacá (Corpoboyaca). (09 de Octubre de 2015). Resolución 3560 de 2015. Por medio de la Cual se Establecen los Objetivos de Calidad de Agua en la Cuenca Alta y Media del Rio Chicamocha a Lograr en el Periodo 2016- 2025. Tunja, Boyacá, Colombia.

<https://www.corpoboyaca.gov.co/cms/wp-content/uploads/2015/10/resolucion-3560-2015.pdf>

Corporación Autónoma Regional de Chivor (Corpochivor). (28 de Diciembre de 2020). Por la Cual se Establecen los Objetivos de Calidad para las Subcuencas de Albarracín, Turmeque, Garagoa, Fusavita ,El Bosque, Súnuba, Lengupá, Batá, Tunjita y Quebrada La Guaya en Jurisdicción de la Corporación Autónoma Regional de Chivor - Corpochivor. Garagoa, Boyacá, Colombia.

<https://www.corpochivor.gov.co/wp-content/uploads/2020/12/RESOL.-939-OBJETIVOS-DE-CALIDAD-PARA-SUBCUENCAS.pdf>

Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR). (28 de Diciembre de 2009). Resolución 3462 de 2009. Por la Cual se Establecen los Objetivos de Calidad del Agua para la Cuenca de los ríos

CAPACIDAD DE ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO DE...

Ubaté y Suaréz, a lograr en el año 2020. Bogotá, Bogotá, Colombia.

<https://www.car.gov.co/uploads/files/5ac79c5b18c9e.pdf>

Córtés, Y., & Alarcón, J. C. (2016). Impactos del cambio climático sobre las áreas óptimas de nueve cultivos en Cundinamarca - Colombia. *TEMAS AGRARIOS*, 21(2), 51 - 64.

<https://doi.org/https://doi.org/10.21897/rta.v21i2.901>

Costa Posada, C. (2007). La Adaptación al Cambio Climático en Colombia. *Facultad de Ingeniería*(26), 74 - 80. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=121015050010>

Cuellar Higuera, L., & Avellaneda Torres, L. M. (2020). Estrategias para el Fortalecimiento de la Sostenibilidad Ambiental (con Enfoque Agropecuario) y la Seguridad Alimentaria de la Vereda Huerta Grande del Municipio de Boyacá. *Luna Azul*(50), 84-106. <https://doi.org/DOI:10.17151/luaz.2020.50.5>

Delmotte, S., Couderca, V., Mouret, J.-C., Lopez-Ridaura, S., Barbier, J.-M., & Hossard, L. (January de 2017). From Stakeholders Narratives to Modelling Plausible Future Agricultural Systems. Integrated Assessment of Scenarios for Camargue, Southern France. *European Journal of Agronomy*, 292-307. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2016.09.009>

Devaux, A., Andrade-Piedra, J., Ordinola, M., Velasco, C., & Hareau, G. (2011). La Papa y la Seguridad Alimentaria en la Región Andina: Situación Actual y Desafíos para la Innovación. *Andrade-Piedra, J., Reinoso, I., Ayala, S. (eds.). 2011. Memorias del IV Congreso Ecuatoriano de la Papa. 28 a 30 de junio de 2011. Guaranda (págs. 10-14). Guaranda, Ecuador: CIP.*

<https://cgspace.cgiar.org/handle/10568/67650>

Diendere, A. A. (Marzo de 2019). Farmers' Perceptions of Climate Change and Farm-Level Adaptation. *AfJARE (African Journal of Agricultural and Resource Economics)*, 14(1), 42-55.

<https://doi.org/DOI:10.22004/ag.econ.284991>

CAPACIDAD DE ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO DE...

- Edenhofer, O., Pichs-Madruga, R., Sokona, M., Minx, J. C., Farahanni, E., Kadner, S., Seyboth, K., Adler, A., Baum, I., Brunner, S., Eickemeier, P., Kriemann, B., Savolainen, J., Schlömer, S., Stechow, C. v., & Zwickel, T. (2014). *IPCC 2014. Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. New York: Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- https://doi.org/https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/ipcc_wg3_ar5_frontmatter.pdf
- Environmental Systems Research Institute (ESRI). (16 de Diciembre de 2021). <https://www.esri.com/es-es/arcgis/products/arcgis-desktop/resources>.
- <https://desktop.arcgis.com/es/arcmap/10.3/tools/spatial-analyst-toolbox/idw.htm>
- Ericksen, P. J. (2008). What Is the Vulnerability of a Food System to Global Environmental? *Ecology and Society*, 13(2), 1-19. <https://www.ecologyandsociety.org/vol13/iss2/art14/>
- Escobar, C. J., & Sánchez, P. E. (2020). *Medidas de adaptación al cambio climático en la subcuenca del río çterán municipio de Yacopi, Cundinamarca*. Universidad Santo Tomas, Cundinamarca. Bogotá: Universidad Santo Tomas. <https://repository.usta.edu.co/handle/11634/30116>
- Fonseca-Carreño, J. A., Cleves-Leguízamo, J. A., & León-Sicard, T. (2015). Evaluación de la Sustentabilidad de Agroecosistemas Familiares Campesinos en la Microcuenca del Río Cormechoque (Boyacá). *Rev. Cien. Agri. (Revista Ciencia y Agricultura)*, 13(1), 29-47.
- <https://www.redalyc.org/journal/5600/560062814002/>
- Fuentes, N., & Marchant, C. (2016). ¿Contribuyen las Prácticas Agroecológicas a la Sustensustentabilidad de la Agricultura Familiar de Montaña? el Caso de Curarrehue, Región de la Araucanía, Chile. *Cuadernos de Desarrollo Rural*, 13(78), 35-66. <https://doi.org/https://doi.org/10.11144/Javeriana.cdr13-78.cpas>

García Arbeláez, C., Barrera, X., Gómez, R., & Suárez Castaño, R. (2015). *El ABC de los compromisos de Colombia para la COP21*. (2a ed.). COLOMBIA: WWF-Colombia.

<https://www.wwf.org.co/?248415/El-ABC-de-los-compromisos-de-Colombia-para-la-COP-21>

García, M. C., Piñeros, B. A., Bernal Quiroga, F. A., & Ardila Robles, E. (enero- junio de 2012). Variabilidad Climática, Cambio Climático y el Recurso Hídrico en Colombia. (U. d. Andes, Ed.) *Revista de Ingeniería*(36), 60-64. [https://biblio.uptc.edu.co:3582/eds/detail/detail?vid=6&sid=a1e98dd2-c90d-47ce-9971-](https://biblio.uptc.edu.co:3582/eds/detail/detail?vid=6&sid=a1e98dd2-c90d-47ce-9971-eb39be3b0d58%40redis&bdata=Jmxhbm9ZXMmc2l0ZT1lZHMtbGl2ZQ%3d%3d#AN=edssci.S0121.49932012000100012&db=edssci)

[c90d-47ce-9971-](https://biblio.uptc.edu.co:3582/eds/detail/detail?vid=6&sid=a1e98dd2-c90d-47ce-9971-eb39be3b0d58%40redis&bdata=Jmxhbm9ZXMmc2l0ZT1lZHMtbGl2ZQ%3d%3d#AN=edssci.S0121.49932012000100012&db=edssci)

[eb39be3b0d58%40redis&bdata=Jmxhbm9ZXMmc2l0ZT1lZHMtbGl2ZQ%3d%3d#AN=edssci.S0121.49932012000100012&db=edssci](https://biblio.uptc.edu.co:3582/eds/detail/detail?vid=6&sid=a1e98dd2-c90d-47ce-9971-eb39be3b0d58%40redis&bdata=Jmxhbm9ZXMmc2l0ZT1lZHMtbGl2ZQ%3d%3d#AN=edssci.S0121.49932012000100012&db=edssci)

González Velandia, K. D. (enero de 2014). Efectos del cambio climático sobre la producción de papa en el municipio de Villapinzón (Cundinamarca-Colombia) a partir del Enfoque Ricardiano. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental - UNAD*, 5(1), 231 - 242.

Revista de Investigación Agraria y Ambiental - UNAD, 5(1), 231 - 242.

<https://doi.org/https://doi.org/10.22490/21456453.958>

Gravina Hernández, B. A., & Leyva Galán, Á. (2012). Utilización de Nuevos Índices para Evaluar la Sostenibilidad de un Agroecosistema en la República Bolivarian de Venezuela. *Cultivos Trópicos*, 33(3), 15 - 22. <https://www.redalyc.org/exportarcita.oa?id=193223814002>

<https://www.redalyc.org/exportarcita.oa?id=193223814002>

Handayani, T., Gilani, S. A., & Watanabe, K. N. (14 de noviembre de 2019). Climatic changes and potatoes: How can we cope with the abiotic stresses? *Breeding Science*(69), 545 - 563.

<https://doi.org/doi:10.1270/jsbbs.19070>

Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2003). Metodología de la Investigación. México D.F., México, México: McGraw-Hill Interamericana.

[https://www.uv.mx/personal/cbustamante/files/2011/06/Metodologia-de-la-](https://www.uv.mx/personal/cbustamante/files/2011/06/Metodologia-de-la-Investigaci%C3%83%C2%B3n_Sampieri.pdf)

[Investigaci%C3%83%C2%B3n_Sampieri.pdf](https://www.uv.mx/personal/cbustamante/files/2011/06/Metodologia-de-la-Investigaci%C3%83%C2%B3n_Sampieri.pdf)

CAPACIDAD DE ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO DE...

- IDEAM, PNUD, MADS, DNP, & CANCELLERÍA. (2015). *Nuevos Escenarios de Cambio Climático para Colombia 2011- 2100 Herramientas Científicas para la Toma de Decisiones – Enfoque Nacional – Departamental: Tercera Comunicación Nacional de Cambio Climático*. COLOMBIA: IDEAM; PNUD; MADS; DNP; CANCELLERÍA;.
- http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/022964/documento_nacional_departamental.pdf
- IDEAM, PNUD, MADS, DNP, CANCELLERÍA. (2015). *Tercera Comunicación Nacional de Cambio Climático IDEAM, PNUD, MADS, DNP, CANCELLERÍA " Conocer: El Primer Paso para Adaptarse. Guía Básica de Conceptos sobre el Cambio Climático"* (ISBN Digital: 978-958-8971-28-5 ed.). Bogotá: .PuntoaparteBookVertising.
- <http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/023631/ABC.pdf>
- IDEAM; INVEMAR. (2017). *Protocolo de monitoreo del agua*. Bogotá, Colombia.
- Iglesias, A., & Garrote, L. (2015). Adaptation strategies for agricultural water management under climate change in Europe. *Agricultural Water Managment*(155), 113-124.
- <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.agwat.2015.03.014>
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). (2021). *cambioclimatico.gov.co*. ideam.gov.co: <http://www.cambioclimatico.gov.co/otras-iniciativas#:~:text=El%20efecto%20del%20cambio%20clim%C3%A1tico,30%20a%C3%B1os%2C%20as%C3%AD%20lo%20demuestre>.
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC). (2005). *Estudio General de Suelos y Zonificación de Tierras del Departamento de Boyacá* (Primera ed., Vols. I, II). (I. G. Codazi, Ed.) Bogotá.
- <http://biblioteca.igac.gov.co/janium/Documentos/SUELOS%20DE%20BOYACA%202005.pdf>

CAPACIDAD DE ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO DE...

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC). (20 de Diciembre de 2021). www.igac.gov.co.

gacnet2.igac.gov.co/intranet/UserFiles/File/procedimientos/instructivos/2014/I40100-05%20-14%20V1%20Zonificacion%20climatica.pdf

Loaiza Cerón, W., Reyes Trujillo, A., & Carvajal Escobar, Y. (2012). Aplicación del Índice de Sostenibilidad del Recurso Hídrico en la Agricultura (ISRHA) para definir estrategias tecnológicas sostenibles en la microcuenca Centella. *Ingeneiría y Desarrollo*, 30(2), 160-181.

http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0122-34612012000200003

López, G. M., & Villamizar, R. M. (2020). *Análisis de los capitales de las comunidades productoras de papa para su adaptación al cambio climático, estudio de caso, la microcuenca Susali- Cerrito Santander, Colombia*. Universidad Santo Tomas. Bogotá: Universidad Santo Tomas.

<https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/23595/2020marisoll%c3%b3pez.pdf?sequence=7&isAllowed=y>

Mandryk, M., Reidsma, P., & Van Ittersum, M. K. (Marzo de 2017). Crop and Farm Level Adaptation Under Future Climate Challenges: An Exploratory Study Considering Multiple Objectives for Flevoland the Netherlands,. *Agricultural Systems*, 152, 154–164.

<https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.agsy.2016.12.016>

Martinez, F. C. (2017). *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas Volumen 11. No 1*, 170-183.

Masera, O., Astier, M., & López-Ridaura, S. (1999). *Sostenibilidad y Manejo de Recursos Naturales. El Marco de Evaluación MESMIS*. Mundi-Prensa, GIRA, UNAM.

[https://www.researchgate.net/profile/Marta-](https://www.researchgate.net/profile/Marta-Astier/publication/299870632_Sustentabilidad_y_manejo_de_recursos_naturales_El_Marco_de_evaluacion_MESMIS/links/57068f7f08aea3d280211802/Sustentabilidad-y-manejo-de-recursos-naturales-El-Marco-de-evaluacion-MESMI)

[Astier/publication/299870632_Sustentabilidad_y_manejo_de_recursos_naturales_El_Marco_de_evaluacion_MESMIS/links/57068f7f08aea3d280211802/Sustentabilidad-y-manejo-de-recursos-naturales-El-Marco-de-evaluacion-MESMI](https://www.researchgate.net/profile/Marta-Astier/publication/299870632_Sustentabilidad_y_manejo_de_recursos_naturales_El_Marco_de_evaluacion_MESMIS/links/57068f7f08aea3d280211802/Sustentabilidad-y-manejo-de-recursos-naturales-El-Marco-de-evaluacion-MESMI)

CAPACIDAD DE ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO DE...

McCleary, S., & Moran, C. (2019). Heritage Food Security in a Changing. *FOURTH WORLD JOURNAL*, 18(1), 38-59. <https://biblio.uptc.edu.co:3582/eds/pdfviewer/pdfviewer?vid=2&sid=7e8fbc3-cbb7-4508-b969-b76de17786f7%40redis>

Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial; Fedepapa;. (2004). *Guía Ambiental para el cultivo de la papa*. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial y Fedepapa. Bogotá, D.C: Talleres Diagráficas.

Montalba, R., Fonseca, F., García, M., Vieli, L., & Altieri, M. (5 de Octubre de 2015). Determinación de los Niveles de Riesgo Socioecológico ante Sequías en Sistemas Agrícolas Campesinos de la Araucanía Chilena. Influencia de la Diversidad Cultural y la Agrobiodiversidad. *Papers*, 100(4), 607 - 624. <https://doi.org/https://doi.org/10.5565/rev/papers.2168>

Morales-Casco, L. A., & Zúñiga-González, C. A. (Abril de 2016). Impactos del Cambio Climático en la Agricultura y Seguridad Alimentaria. *Rev. iberoam. bioecon. cambio clim. (Revista Iberoamericana de Bioeconomía y Cambio Climático)*, 2(1), 269-291. <https://doi.org/https://doi.org/10.5377/ribcc.v2i1.5700>

Mustafa, G., Latif, I., Ashfaq, M., Bashir, M. K., Shamsudin, M. N., & Wan Daud, W. N. (2017). Adaptation Process to Climate Change in Agriculture- an Empirical Study. *IJFAC (International Journal of Food and Agricultural Economics)*, 5(4), 81-98. <https://www.foodandagriculturejournal.com/Vol5.No4.pp81.pdf>

Naciones Unidas. (2018). *La Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible: una Oportunidad para América Latina y el Caribe*. Santiago: Naciones Unidas. https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/40155/24/S1801141_es.pdf

Nazif Astorga, Í. (2009). *Institucionalidad para el Desarrollo de la Agricultura Familiar Campesina*. Oficina de Estudios y Políticas Agrarias - ODEPA -. <https://www.odepa.gob.cl/odepaweb/publicaciones/doc/2180.pdf>

CAPACIDAD DE ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO DE...

- Ndambiri, H. K., Ritho, C. N., & Mbogoh, S. G. (2014). An Evaluation of Farmers' Perceptions of and Adaptation to the Effects of Climate Change in Kenya. *International Journal of Food and Agricultural Economics*, 1(1), 75-96. <https://www.foodandagriculturejournal.com/75.pdf>
- Nicholls, C., & Altieri, M. A. (2019). Bases agroecológicas para la adaptación de la agricultura al cambio climático. *Cuadernos de Investigación UNED*, 11 Núm. especial(1), s55 - s61. <https://www.redalyc.org/journal/5156/515661223008/html/>
- Novoa, C. J. (2020). *Impactos del cambio climático en los cultivos de papa del departamento de Boyacá – Colombia, análisis de causas y soluciones para la región*. Universidad nacional abierta y a distancia - UNAD. Bogota: Universidad nacional abierta y a distancia - UNAD. <https://repository.unad.edu.co/bitstream/handle/10596/31958/janovoac.pdf?sequence=3>
- Organización de la Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura (FAO). (1994). *Water Quality for Agriculture*. Roma: FAO. <https://www.fao.org/3/t0234e/T0234E01.htm#ch1.3>
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). (2009). *Año Internacional de la Papa 2008: Nueva Luz Sobre un Tesoro Enterrado*. Roma: FAO. <https://www.fao.org/3/i0500s/i0500s00.htm>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (2013). *Seguridad y Soberanía Alimentaria (Documento Base para Discusión)*. Santiago de Chile: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). <https://www.fao.org/3/ax736s/ax736s.pdf>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (2016). *Cambio climático y seguridad alimentaria y nutricional América Latina y el Caribe (orientaciones de política)*. Santiago: FAO. Retrieved 30 de abril de 2021, from <https://www.fao.org/3/i6311s/i6311s.pdf>

CAPACIDAD DE ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO DE...

Pallo Paredes, E. L. (2021). Agrobiodiversidad de papa nativa en la provincia de Tungurahua. (Un, Ed.)

Siembra, 8(1), e2273 001–014. <https://doi.org/https://doi.org/10.29166/siembra.v8i1.2273>

Panel Intergubernamental de Expertos (IPCC). (1995). *Glosary IPCC*. <https://www.ipcc.ch/>:

<https://www.ipcc.ch/documentation/>

Pérez Cueva, A. J. (1994). *Atlas Climático de la Comunidad Valenciana*. GENERALITAT VALENCIANA.

Phillipo, F., Bushesha, M., & Mvena, Z. (2015). Adaptation Strategies to Climate Variability and Change

and its Limitations to Smallholder Farmers. A Literature Search. *Asian Journal of Agriculture and*

Rural Development, 5(3), 77- 87. <http://www.suaire.sua.ac.tz/handle/123456789/2128>

Pita Morales, L. G.-S.-L. (2015). Ciencia y Agricultura Volumen 12. No. 1 Enero – Junio. (0122-8420.), 15-

25.

Ponce, R. D., Fernández, F., Stehr, A., Vásquez-Lavín, F., & Godoy-Faúndez, A. (10 de Abril de 2017).

Distributional Impacts of Climate Change on Basin Communities: an Integrated Modeling

Approach. *Reg Environ Change (Regional Environmental Change)*, 17(6), 1811–1821.

<https://doi.org/DOI 10.1007/s10113-017-1152-2>

Pradel, W., Gatto, M., Hareau, G., Pandey, S., & Bhardway, V. (2019). Adoption of Potato Varieties and

Their Role for Climate Change Adaptation in India. *Climate Risk Management*(23), 114 - 123.

<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.crm.2019.01.001>

Ramírez, A. (2016). Metodología de Investigación Científica. Bogotá, Bogotá, Colombia: Pontificia

Universidad Javeriana.

https://www.academia.edu/10676535/METODOLOG%C3%8DA_DE_LA_INVESTIGACI%C3%93N_

[CIENT%C3%8DFICA_ALBERTO_RAMIREZ_PONTIFICIA_UNIVERSIDAD_JAVERIANA_FACULTAD_DE](https://www.academia.edu/10676535/METODOLOG%C3%8DA_DE_LA_INVESTIGACI%C3%93N_)

[_ESTUDIOS_AMBIENTALES_Y_RURALES_ENFOQUE_PR%C3%81CTICO_C%C3%93MO_FORMULA](https://www.academia.edu/10676535/METODOLOG%C3%8DA_DE_LA_INVESTIGACI%C3%93N_)

[R_PROYECTOS_DE_INVESTIGACI%C3%93](https://www.academia.edu/10676535/METODOLOG%C3%8DA_DE_LA_INVESTIGACI%C3%93N_)

- Riera , C., & Pereira, S. (2012). Entre el Riesgo Climático y las Transformaciones Productivas: la Agricultura Bajo Riego como Forma de Adaptación en Río Segundo, Córdoba, Argentina. *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM(82)*, 52 - 65.
https://notablesdelaciencia.conicet.gov.ar/bitstream/handle/11336/9163/CONICET_Digital_Nro.11931.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Rivera Hernández, B., Aceves Navarro, L., Arrieta Rivera, A., Juárez López, J., Méndez Adorno, J., & Ramos Alvarez, C. (2016). Evidencias del Cambio Climático en el Estado de Tabasco durante el Período de 1961 a 2010. *Revista Mexicana de ciencias Agrícolas, Febrero - Marzo(14)*, 2645 - 2656. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=263144474001>
- SAC, S. d. (2009). *La Agricultura en Colombia*. Bogotá: IM Editore.
- Sanabria Medina, J. L. (2021). *Implementación de un sistema productivo de papa solanum tuberosum variedad pastusa superior como modelo económico y de liderazgo social en el corregimiento de La Granja, Sucre-Santander*. Universidad de La Salle, Facultad de Ciencias Agropecuarias - Ingeniería Agronómica. Universidad de La Salle.
https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1218&context=ingenieria_agronomica
- Sánchez Gil, H. M. (2018). *Seguridad y soberanía alimentaria en la agricultura familiar campesina. El caso de los agricultores de Tibasosa, Turmeque y Ventaquemada, Boyacá*. Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá: Pontificia Universidad Javeriana.
<https://repository.javeriana.edu.co/handle/10554/34355>
- Sarandón, S. J., & Flores, C. C. (2014). *Agroecología: Bases Teóricas para el Diseño y Manejo de Agroecosistemas Sustentables* (Primera ed.). Buenos Aires: Editorial de la Universidad de La Plata.
<https://libros.unlp.edu.ar/index.php/unlp/catalog/view/72/54/181-1>

CAPACIDAD DE ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO DE...

- Sarandón, S. J., Zuluaga, M. S., Cieza, R., Gómez, C., Janjetic, L., & Negrete, E. (2006). Evaluación de la Sustentabilidad de Sistemas Agrícolas de Fincas en Misiones, Argentina, Mediante el Uso de Indicadores. *Agroecología*(1), 19-28. <https://revistas.um.es/agroecologia/article/view/14/5>
- Sierra Herrera, J. P. (2019). *Cambio Climático y Producción de Papa en Zona Papera de Boyacá 1986-2017*. Tunja: Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia.
<http://repositorio.uptc.edu.co/handle/001/3676>
- Sierra Roncancio, S. S., Cano Muñoz, J. G., & Rojas Sánchez, F. (2015). Estrategias de adaptación al cambio climático en dos localidades del municipio de Junín, Cundinamarca, Colombia. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 6(1), 227 - 238.
<https://repository.unad.edu.co/handle/10596/29500>
- Singh, A. (2016). Managing the Water Resources Problems of Irrigated Agriculture through Geospatial Techniques: An Overview. *Agricultural Water Management*(174), 2–10.
<https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.agwat.2016.04.021>
- Sistema de Información Ambiental de Colombia (SIAC). (21 de mayo de 2021). www.siac.gov.co.
<http://sig.anla.gov.co:8083/>.
- Smit, B., & Wandel, J. (2006). Adaptation, Adaptive Capacity and Vulnerability. *Global Environmental Change*(16), 282–292. <https://doi.org/doi:10.1016/j.gloenvcha.2006.03.008>
- Speelman, E. N., López-Ridaura, S., Colomer, N. A., Astier, M., & Masera, O. R. (2007). Ten Years of Sustainability Evaluation Using the MESMIS Framework: Lessons Learned From its Application in 28 Latin American Case Studies. *14*(4), 345–361.
<https://doi.org/DOI:10.1080/13504500709469735>
- Toro Trujillo, A. M., Arteaga Ramírez, R., Vázquez Peña, M. A., & Ibañez Castillo, L. A. (2015). Relleno de Series Diarias de Precipitación, Temperatura Mínima, Máxima de la Región Norte del Urabá

Antioqueño. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas (Remexca)*, 577 - 588.

<http://www.scielo.org.mx/pdf/remexca/v6n3/v6n3a11.pdf>

Troyo Dieguez, E., García H, J., Murillo A, B., Zamora S, B., Fenech L, L., Orona C, I., Beltrán M, A., & Ruiz E, F. H. (2004). Modificación al Índice de Aridez de Martonne para su Adecuación al Estudio del Balance del Agua en Cuencas de Zonas Áridas. *XXXII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo*. León.

UE (Union Europea). (2009). *Report on policy coherence for development. Commission staff working document accompanying the report from the commission to the council*. Bruselas, Belgica: Union Europea. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:52009SC1137&from=EN>

Useche de Vega, D. S., & Márquez-Girón, S. M. (2015). Diagnóstico socio-ambiental de la producción agrícola en el páramo de Rabanal (Colombia) como base para su reconversión agroecológica. *Ciencia y Agricultura*, 12(1), 27-37. <https://doi.org/https://doi.org/10.19053/01228420.4111>

Yadav, S. S., Redden, R. J., Hatfield, J. L., Lotze-Campen, H., & Hall, A. E. (2011). *Crop Adaptation to Climate Change*. New York: Wiley-Blackwell. <https://cgspace.cgiar.org/handle/10568/10362>

Zinck, J. A., Berroteran, J. L., Farshad, A., Moameni, A., Wokabi, S., & Van Ranst, E. (2005). La Sustentabilidad Agrícola: Un Análisis Jerárquico. *Gaceta Ecológica*(76), 53 - 72. <https://www.redalyc.org/pdf/539/53907606.pdf>

Zuñiga Chila, S., Morales Espinosa, C., & Estrada Martínez, M. E. (Noviembre de 2017). Cultivo de la Papa y sus Condiciones Climáticas. *Gestión, Ingenio y Sociedad*, 2(2), 140 - 152. <http://gis.unicafam.edu.co/index.php/gis/article/view/60/96>

Apéndices