

Estrategias de adaptación al cambio climático para los pequeños agricultores del Páramo de  
Berlín.

Jorge Luis González Pabón y Yury Stefany León Rugeles

Proyecto de grado para optar al título de Ingeniero Civil

Director:

Isabel Cristina Domínguez Rivera

Ing. MSc. PhD

Co-director:

Sully Gómez Isidro

Ing. MSc. PhD

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ingenierías Físico-mecánicas

Escuela de Ingeniería Civil

Bucaramanga

2022

### **Agradecimientos**

A Dios y a la Universidad Industrial de Santander por brindar las herramientas y apoyo desde el inicio para poder culminar esta meta.

A nuestra familia por el acompañamiento en diversos aspectos importantes en todo este proceso.

A nuestro amigos y seres queridos que fueron un apoyo incondicional y soporte fundamental.

## Contenido

	<b>Pág.</b>
Introducción .....	10
1. Metodología .....	13
1.1. Descripción de la zona de estudio.....	13
1.2. Análisis del Cambio Climático en la zona de estudio.....	15
1.2.1. Selección de los índices y herramientas de análisis .....	16
1.2.2. Requerimientos para el cálculo de índices en Rclimdex.....	16
1.2.2.1. Selección de las estaciones y periodo de estudio. ....	16
1.2.2.2. Preparación de la información de entrada a Rclimdex.....	19
1.2.3. Tendencias de los índices calculados y panorama del cambio climático en la zona de estudio .....	21
1.3. Identificación de estrategias de adaptación al Cambio climático .....	23
1.3.1. Tipos de estrategias de adaptación.....	23
1.3.2. Contexto de las medidas de adaptación en Colombia.....	24
1.3.3. Caracterización de la practica agrícola .....	24
1.3.4. Selección de las estrategias para los pequeños agricultores de la zona de estudio .....	25
2. Resultados .....	25
2.1. Análisis del Cambio Climático en la zona de estudio.....	25

2.1.1. Selección de los índices y herramientas de análisis .....	25
2.1.2. Tendencias de los índices calculados y panorama del cambio climático en la zona de estudio .....	28
2.2. Identificación de estrategias de adaptación al Cambio climático .....	34
2.2.1. Tipos de estrategias de adaptación .....	34
2.2.2. Contexto de las medidas de adaptación en Colombia .....	36
2.2.3. Caracterización de la práctica agrícola .....	37
2.2.4. Estrategias seleccionadas para los pequeños agricultores .....	39
3. Conclusiones .....	44
4. Recomendaciones .....	45
Referencias Bibliográficas .....	47
Apéndices .....	53

**Lista de Figuras**

	<b>Pág.</b>
Figura 1. División Político Administrativo del Páramo de Berlín .....	14
Figura 2. Ubicación de la zona de estudio .....	15
Figura 3. Ubicación de las estaciones seleccionadas .....	18
Figura 4. Formato de la información de entrada a Rclimdex, estación Berlín.....	20
Figura 5. Selección de los índices de interés para el cálculo en Rclimdex.....	21
Figura 6. Ejemplo de la gráfica obtenida con Rclimdex para un índice de la estación Berlín .....	22
Figura 7. Ejemplo de una tendencia poco marcada, con bajo nivel de significancia.....	30

**Lista de Tablas**

	<b>Pág.</b>
Tabla 1. Información relevante de las estaciones seleccionadas.....	17
Tabla 2. Datos disponibles de las estaciones seleccionadas .....	18
Tabla 3. Porcentaje de datos faltantes .....	19
Tabla 4. Índices seleccionados para el análisis de Cambio climático.....	27
Tabla 5. Valores de tendencia de los índices para cada estación en el periodo de estudio (1972- 2020) .....	28
Tabla 6. Comparación de tendencias para la estación Berlín.....	32
Tabla 7. Comparación de tendencias de la precipitación total anual para estaciones de Páramo en Colombia.....	33

**Lista de Apéndices**

	<b>Pág.</b>
Apéndice A. Gráficas de series anuales de los índices seleccionados, obtenidas con Rclimdex para cada estación. ....	53

## Resumen

**Título:** Estrategias de adaptación al cambio climático para los pequeños agricultores del Páramo de Berlín\*.

**Autores:** Jorge Luis González Pabón y Yury Stefany León Rugeles\*\*

**Palabras Clave:** estrategias de adaptación, cambio climático, índices, extremos climáticos, precipitación, pequeños agricultores, páramo.

### Descripción.

Los páramos son ecosistemas de alta montaña que se encuentran principalmente en Sudamérica, los cuales aportan importantes beneficios ecosistémicos como la regulación del agua y la producción de oxígeno. En el contexto actual del cambio climático, los páramos son altamente vulnerables, esto sumado a su importancia y unicidad, hacen que sea un foco de adaptación nacional. Sin embargo, no en todos los páramos se han realizado estudios sobre cambio climático y adaptación, como en el caso del páramo de Berlín en Santander. Este trabajo busca proponer estrategias de adaptación al cambio climático para los pequeños agricultores del Páramo de Berlín (Santander). Para esto, se seleccionaron y calcularon índices de extremos climáticos para analizar el cambio climático en Berlín y se identificaron estrategias de adaptación. Los índices seleccionados fueron los relacionados con la precipitación y se calcularon usando Rclimdex a partir de datos diarios de tres estaciones (Berlín, El Pozo y Picacho) para el periodo de estudio 1972-2020. Luego se realizó el análisis de resultados que permitió establecer un panorama de cambio climático y, por último, realizando una revisión de bibliografía y teniendo en cuenta los resultados del cambio climático se identificaron estrategias de adaptación con potencial de aplicación en este contexto. Los resultados indican que la precipitación total anual presenta una tendencia a la disminución en la estación El Picacho, a diferencia de las otras dos estaciones. Además, en la mayoría de las estaciones se evidenció un aumento de periodos secos y una tendencia a la disminución de días con precipitaciones altas (aguaceros) y del máximo anual de precipitación en 1 día y 5 días consecutivos. Las estrategias de adaptación potenciales identificadas fueron sobre recolección, captación y conservación del agua, junto con estrategias de restauración y protección del ecosistema. Esta información sirve de insumo a los tomadores de decisiones para que emprendan iniciativas para que los agricultores puedan enfrentar los efectos del cambio climático.

---

\* Trabajo de Grado.

\*\* Facultad de Ingenierías Físico-mecánicas. Escuela de Ingeniería Civil. Director: Isabel Cristina Domínguez Rivera. Co-director: Sully Gómez Isidro.

## Abstract

**Title:** Climate change adaptation strategies for small farmers in the Berlin Páramo\*.

**Authors:** Jorge Luis González Pabón y Yury Stefany León Rugeles\*\*

**Keywords:** adaptation strategies, climate change, indices, climate extremes, rainfall, small farmers, páramo.

### Description.

Páramos are high mountain ecosystems mainly found in South America, which provide important ecosystem services such as water regulation and oxygen production. In the current context of climate change, páramos are highly vulnerable, which, with their importance and peculiarity, make them a focus of national adaptation. However, not all the páramos have been investigated addressing climate change and adaptation, as in the case of the Berlín páramo in Santander. This work aims to propose adaptation strategies to climate change for small farmers in the Páramo of Berlín (Santander). Climate extreme indices were selected and calculated to analyze Berlin's climate change, and adaptation strategies were identified. The selected indices were those related to rainfall and were calculated using Rclimdex from daily data from three climate stations (Berlín, El Pozo, and Picacho) for the study period 1972-2020. Then, the analysis of results was carried out, which allowed the establishment of a climate change panorama. Finally, a literature review was performed to identify adaptation strategies with potential application in this context. The results indicate that the total annual rainfall shows a decreasing tendency in the El Picacho station, unlike the other two stations. In addition, in most stations, there was evidence of an increase in dry periods and a tendency to decrease in days with high rainfall (downpours) and in the maximum annual rainfall in 1 day and 5 consecutive days. Potential adaptation strategies include water harvesting, water conservation, and ecosystem restoration and protection. This information serves as input for decision-makers to undertake initiatives to help farmers face the effects of climate change.

---

\* Bachelor Thesis.

\*\* Faculty of Physico-mechanical Engineering, School of Civil Engineering. Director: Isabel Cristina Domínguez Rivera. Co-director: Sully Gómez Isidro.

## Introducción

El Planeta tierra al ser un sistema, está en constante cambio, no obstante, en las últimas décadas el clima en el planeta está cambiando aceleradamente comparado con el cambio que ha experimentado durante toda su historia (IDEAM, n.d.). Estos cambios pueden suceder por procesos internos naturales dentro del sistema climático, el cual se define como variabilidad interna, o se puede presentar por cambios en los forzamientos externos antropogénicos, denominado variabilidad externa (IDEAM, n.d.).

El análisis de las variaciones del clima en diferentes escalas de tiempo establece la diferencia entre variabilidad climática y cambio climático. La variabilidad climática analiza las condiciones de la atmósfera durante periodos cortos o medianos de tiempo (Estacional, Interestacional, Interanual, Interdecadal), lo que permite estudiar las variaciones en el estado medio del clima y otros datos estadísticos (IDEAM, n.d.). Por el contrario, para hablar de cambio climático es necesario analizar el comportamiento de las variables climáticas en un tiempo igual o mayor a 30 años, comparando los datos medios y extremos obtenidos con los datos de series de otros periodos largos (IDEAM, n.d.). Es así como se ha determinado el cambio climático que ha sufrido el planeta como consecuencia de la industrialización global a mediados del siglo XX, pues a partir de esa época se incrementó la creación de grandes industrias contaminantes con CO<sub>2</sub>, producción masiva de plástico, uso de combustibles fósiles, y desarrollo de las ciudades, entre otros; sus impactos negativos se pueden evidenciar con el aumento de gases de efecto invernadero (GEI) en la atmósfera, provocando que la temperatura media del planeta aumente, y que este y otros eventos climáticos extremos tengan mayor frecuencia e intensidad (IDEAM, n.d.).

Es por esto que varios autores han propuesto índices determinantes en el estudio de las variables climáticas, que dan un estado general del clima, que faciliten la comprensión por parte de los actores políticos y la sociedad. Entre estos, están los índices de extremos climáticos (CEI, por sus siglas en inglés), que miden las variaciones de estos extremos y sus consecuencias a largo plazo en sistemas naturales y humanos. Usualmente se usa un análisis computacional para calcular el grupo de indicadores escogido, pues pueden variar según las características espaciales para cumplir su propósito (Chervenkov et al., 2019).

Frente a estos cambios climáticos las respuestas son la mitigación, que se enfoca principalmente en disminuir la emisión de GEI, y la adaptación, que consiste en reducir el impacto producido por estos cambios en los ecosistemas y sociedades (Álvarez et al., 2018). La convención Marco de las Naciones Unidas para el Cambio Climático (CMNUCC) logró en 2016 la firma del Acuerdo de París, que compromete a los países industrializados a focalizarse en reducir emisiones, y a los países en desarrollo a aumentar sus esfuerzos en adaptación, pues poseen menos recursos, infraestructura y preparación, que los hace más vulnerables (Isch, 2012).

Para el Departamento Nacional de Planeación (DNP), (2012) la vulnerabilidad está determinada tanto por la capacidad de adaptación, que es la facultad de un sistema para afrontar y recuperarse de un efecto adverso del clima, como la sensibilidad, que es la debilidad intrínseca de este. Por otro lado, al evaluar esta vulnerabilidad hay que considerar también la relación que existe entre el clima, los ecosistemas y el desarrollo socioeconómico, pues desde el clima se determinan los bienes y servicios del ecosistema y de ahí la capacidad de las sociedades de transformarlos. Esta relación no es solo descendente, debido a que, cuando el hombre explota intensamente los ecosistemas estos pierden capacidad de resistir fenómenos climáticos, aumentado así su propia vulnerabilidad (Departamento Nacional de Planeación, 2012).

Un ecosistema altamente vulnerable al cambio climático es el páramo. Los páramos se encuentran en regiones tropicales entre los 3000 y 4000 metros sobre el nivel del mar, más de 90% de estos se encuentran en la cordillera de los Andes, entre Venezuela y el norte de Perú, pasando por Colombia y Ecuador (Garavito, 2015). Debido a su alta sensibilidad ante cualquier alteración o daño ambiental, los cambios en las condiciones originales del páramo debido a actividades agrícolas, ganaderas y mineras, sumado a los efectos del cambio climático, pueden ser irreversibles, y esto puede afectar sus funciones ecosistémicas como el almacenamiento y regulación hídrica que se encarga del suministro de muchas poblaciones (Isch, 2012). Otras de las funciones ecosistémicas de los páramos son la producción de oxígeno y la fijación de carbono en el suelo que se da por su alta porosidad y gran cantidad de materia orgánica que gracias a las bajas temperaturas la descompone lentamente y por acción de los microorganismos la transforma en nutrientes para las plantas en proceso de renovación (Rivera, 2001), permitiendo el desarrollo de una amplia biodiversidad endémica que además ayuda a captar agua desde la niebla (Isch, 2012).

Debido a su unicidad global y su ya mencionada importancia, se han realizado varios proyectos liderados por diversas entidades u organizaciones orientadas a la recuperación y conservación de los ecosistemas de páramo como el de Isch (2012) y Álvarez et al. (2018). También se han presentado estudios sobre diferentes escenarios de cambio climático en el país, como el de Ruiz (2010) y el de Oviedo (2010) que permitieron identificar puntos claves para el proceso de adaptación de los ecosistemas paramunos y continuación de sus bienes y servicios. Aunque se hayan llevado a cabo distintos proyectos y se haya avanzado en estos ecosistemas en el país, cómo en el caso de Chingaza (Conservación Internacional, 2018), aún no se llega a todos

los páramos de Colombia, cómo a Berlín , que actualmente se encuentra en proceso de delimitación (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2022).

En este contexto, el objetivo principal de este proyecto es proponer estrategias de adaptación al cambio climático para los pequeños agricultores del Páramo de Berlín (Santander). Para esto, se seleccionaron índices de extremos climáticos que fueron calculados para analizar el panorama del cambio climático y se identificaron estrategias de adaptación. La información presentada constituye un primer avance investigativo integrando el análisis de cambio climático y estrategias de adaptación en el contexto del ecosistema de páramo de Berlín, sirviendo de insumo a los tomadores de decisiones para que emprendan iniciativas para que los agricultores puedan enfrentar las alteraciones y efectos del cambio climático.

## **1. Metodología**

### **1.1. Descripción de la zona de estudio**

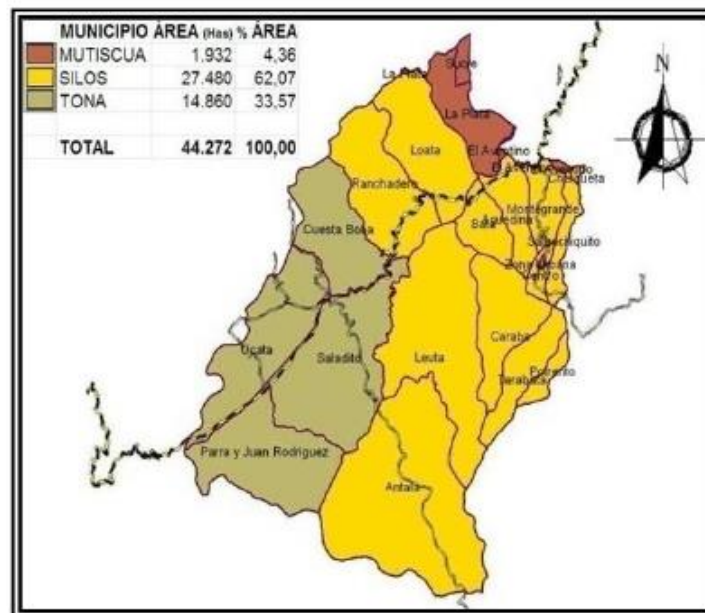
La zona de estudio se encuentra ubicada en el Páramo de Berlín (con una altitud comprendida entre los 3300 m.s.n.m y los 3650 m.s.n.m). El área propuesta como Distrito de Manejo Integrado (DMI) “Páramo de Berlín” de 44.272 Has, se distribuye según la jurisdicción política administrativa de la siguiente forma: el 4,36% (1.932 Has) corresponde al municipio de Mutiscua, el 62,07% (27.480 Has) al municipio de silos y el 33,57% (14.860 Has) al municipio de Tona (CDMB, 2007), tal como se muestra en la Figura 1, los dos primeros municipios

pertenecen al departamento de Norte de Santander y el último a Santander. La zona de estudio también limita con el municipio de Vetas/Santander y El Picacho, presentados en la Figura 2.

En el 2008, se estimó para el DMI Berlín un total de 8920 habitantes y dentro del corregimiento de Berlín del municipio de Tona, se estimó un total de 2507 habitantes en su zona urbana, según el CDMB (declaratoria del DMI Berlín, 2007) (datos que no han sido actualizados en nuevos informes y los censos actuales no cubren esta región específica, únicamente los municipios en total). La principal actividad económica en la zona es la agricultura, mayormente cebolla junca y papa, pues son los que se logran desarrollar de acuerdo con las condiciones climáticas presentes. También se registra la actividad pecuaria, especialmente bovino y ovino (Restrepo et al., 2008).

### Figura 1

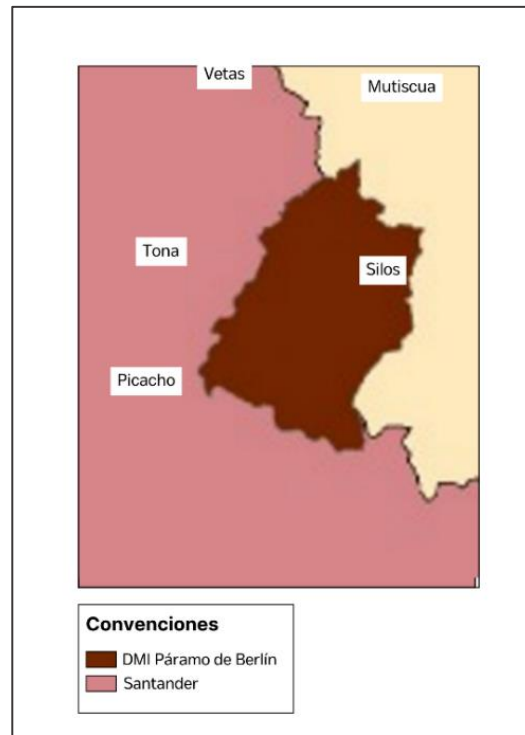
*División Político Administrativo del Páramo de Berlín*



*Nota.* Tomado de CDMB. (2007). *Plan de Acción Trienal 2007 - 2009*. Bucaramanga.

**Figura 2**

*Ubicación de la zona de estudio*



*Nota.* Adaptado de CDMB. (2007). *Plan de Acción Trienal 2007 - 2009*. Bucaramanga.

**1.2. Análisis del Cambio Climático en la zona de estudio**

En esta sección se presenta el procedimiento usado tanto en la selección de los índices, las estaciones, y el periodo de estudio, cómo para la preparación de información de entrada al programa y el cálculo de los índices previamente seleccionados. Finalmente se describe el proceso de análisis de los resultados.

### *1.2.1. Selección de los índices y herramientas de análisis*

Se revisaron los informes, documentos técnicos y guías de organizaciones líderes a nivel internacional en el estudio del cambio climático, tales como el IPCC, en los cuales se relataron actividades y talleres sobre detección de cambio climático llevados a cabo entre 1998 y 2001. En estos participaron instituciones como la Organización Meteorológica Mundial (MWO por sus siglas en inglés), la Comisión de Climatología (CCI por sus siglas en inglés), el Programa Mundial de Investigaciones Climáticas (WCRP, por sus siglas en inglés), el Programa de Variabilidad y Previsibilidad del Clima (CLIVAR, por sus siglas en inglés) y la Comisión Técnica Mixta de Oceanografía y Meteorología Marina (JCOMM, por sus siglas en inglés), que definieron un grupo de índices de extremos climáticos, calculados a partir de datos diarios de temperatura y precipitación (WMO, n.d.). También se realizó una revisión de documentos sobre proyectos del IDEAM, acerca del cambio climático en el país y el cálculo de índices de extremos climáticos y una revisión de documentos guías como el de Santana (2017) y el de Cardona y Cardona (2012). A partir de esta revisión se seleccionaron los índices a calcular, Rclimdex (paquete computacional en lenguaje de programación R) como herramienta para el cálculo de los índices, y la información de entrada requerida para los cálculos.

### *1.2.2. Requerimientos para el cálculo de índices en Rclimdex*

**1.2.2.1. Selección de las estaciones y periodo de estudio.** Para realizar el cálculo de los índices seleccionados mediante Rclimdex, se debe contar con información de precipitación de diferentes puntos que cubran la zona de estudio. Teniendo en cuenta lo anterior, se seleccionaron

estaciones que cumplieran con los siguientes requisitos: i) que cubrieran o estuvieran cerca de la zona de estudio, ii) que tuvieran altitudes similares y iii) que se contara con una disponibilidad suficiente de datos de precipitación diaria. Se utilizó el Sistema de información para la gestión de datos Hidrológicos y Meteorológicos (DHIME) del IDEAM para obtener información relevante y datos de precipitación diaria sobre estaciones de interés y así seleccionar las estaciones que cumplieran con los requisitos planteados. Se encontraron inicialmente cinco estaciones que potencialmente podían ser utilizadas en la investigación (Berlín, El pozo, La Caldera, Silos y Rincon). No obstante, luego de revisar la información de estas estaciones, se encontró que las que contaban con suficiente disponibilidad de datos sobre precipitación diaria y que tenían valores de altitudes similares solo eran Berlín y El pozo. Finalmente, se añadió la estación de Picacho la cual también cumplía con todos los requisitos determinantes. Una vez seleccionadas las estaciones, con la disponibilidad de datos de cada una de estas y teniendo en cuenta el requerimiento de al menos 30 años de datos para poder analizar el cambio climático en una zona de interés (IDEAM, n.d.), se determinó el periodo de estudio de 1972 a 2020. La información requerida sobre las estaciones seleccionadas se presenta en las Tablas 1 y 2 y la ubicación de estas en la Figura 3.

**Tabla 1**

*Información relevante de las estaciones seleccionadas*

<b>Estación</b>	<b>Código</b>	<b>Tipo de Estación</b>	<b>Ubicación</b>	<b>Longitud</b>	<b>Latitud</b>	<b>Altitud</b>
<b>Berlín</b>	37015020	Climática principal	Tona/Santander	-72,87	7,19	3.214
<b>El pozo</b>	23190450	Pluviométrica	Vetas/Santander	-72,88	7,31	3.220
<b>El picacho</b>	23190300	Pluviométrica	Tona/Santander	-72,97	7,11	3.310

*Nota.* Tomado del Sistema de información para la gestión de datos Hidrológicos y Meteorológicos (DHIME) del IDEAM.

**Tabla 2**

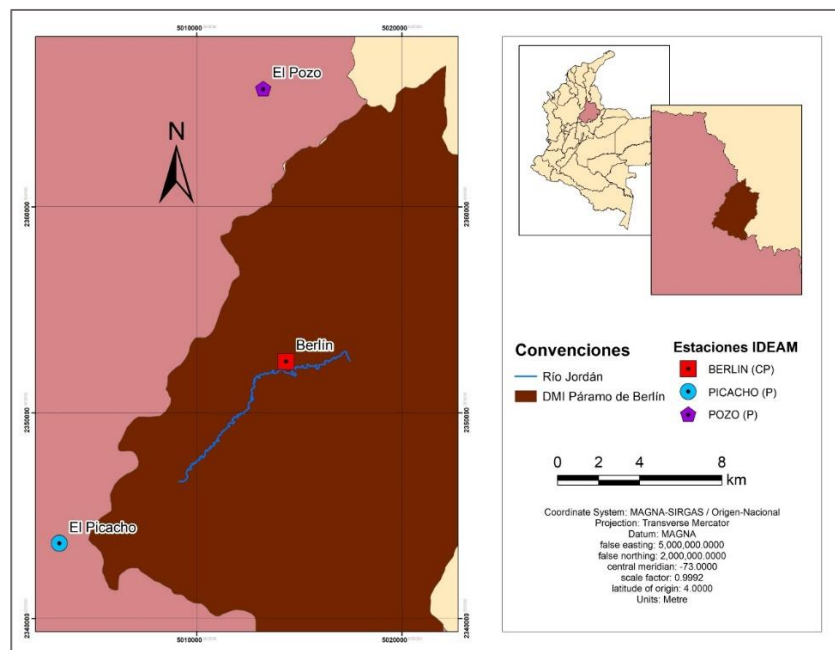
*Datos disponibles de las estaciones seleccionadas*

Recopilación de datos		
Estación	Fecha inicial	Fecha final
Berlín	31/12/1971	31/12/2020
El pozo	31/12/1971	31/08/2020
El picacho	31/12/1971	31/08/2020

*Nota.* Tomado del Sistema de información para la gestión de datos Hidrológicos y Meteorológicos (DHIME) del IDEAM.

**Figura 3**

*Ubicación de las estaciones seleccionadas*



*Nota.* Adoptado de CDMB. (2007). *Plan de Acción Trienal 2007 – 2009. Bucaramanga*, y del Sistema de información para la gestión de datos Hidrológicos y Meteorológicos (DHIME) del IDEAM.

**1.2.2.2. Preparación de la información de entrada a Rclimdex.** Se descargaron del DHIME las series de datos de cada estación seleccionada para el periodo de estudio, y se corroboró que estas cumplieran por lo menos con el 85% de datos completos y confiables. Es importante aclarar que, aunque la Organización Meteorológica Mundial determina el uso de datos con el 80% de información completa (OMM,2011), un faltante superior al 15% provocaría reducciones en la confiabilidad de los resultados, debido a que en el periodo donde faltan datos puede presentarse cambios importantes en la variable de estudio y/o eventos climáticos extremos significativos no registrados (Armenta, 2016). Para esto, una vez recolectada toda la información, se calculó el porcentaje de los datos faltantes sobre los datos totales en el periodo de estudio para cada estación y los resultados se presentan en la Tabla 3.

**Tabla 3**

*Porcentaje de datos faltantes*

<b>Estación</b>	<b>Total de datos</b>	<b>Datos faltantes</b>	<b>% de datos faltantes</b>
<b>Berlín</b>	17899	60	0,335%
<b>El pozo</b>	17777	159	0,89%
<b>El picacho</b>	17777	182	1,02%

Como se evidencia en la tabla anterior, ninguna estación supera el 15% de datos faltantes y como no se cuenta con datos completos de las otras estaciones para realizar correctamente el llenado de datos, se decidió no completar los datos faltantes y así no distorsionar la base de trabajo de cada estación (Díaz, 2000).

Adicionalmente, se realizó el control de calidad de datos, verificando que no hubiera datos no razonables como precipitación con valores menor a 0 y que los valores faltantes fueran reemplazados por -99.9. Esto para evitar que el software use valores no razonables como valores

faltantes o no disponibles. Aunque Rclimdex realiza esta operación, no está completamente capacitado para realizar la homogenización de los datos. Por lo tanto, se recomienda que el usuario también realice este paso (Cardona y Cardona, 2012).

Los datos fueron digitados en columnas con el orden que se muestra en la Figura 4, donde en la primera columna va el año, después, el Mes, Día, Precipitación, Temperatura máxima y por último, Temperatura mínima. Debe tenerse cuenta que, el software solo lee que los decimales sean separados con punto y que el archivo esté en formato de texto delimitado por tabulaciones (txt). Para finalizar, se registró el día anterior al inicio del periodo de estudio, lo cual es necesario también en el formato de información de entrada a Rclimdex.

Posteriormente, se diligenció un cuadro con parámetros definidos por el usuario para el cálculo de los índices y la selección de los índices que se quieren calcular (ver Figura 5).

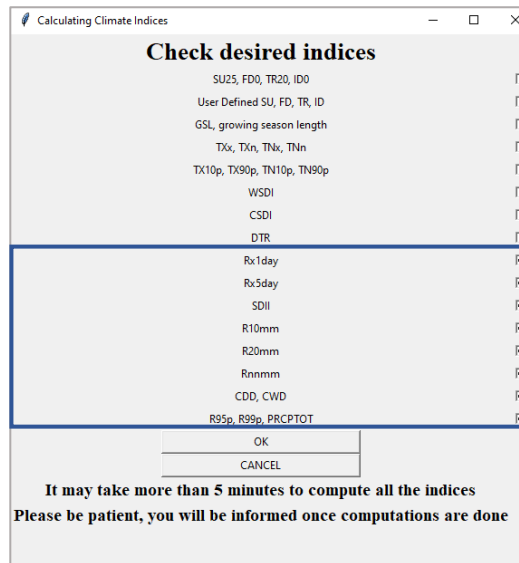
#### Figura 4

*Formato de la información de entrada a Rclimdex, estación Berlín*

Archivo	Edición	Formato	Ver	Ayuda		
1971	12	31	0	-99.9	-99.9	
1972	1	1	0	-99.9	-99.9	
1972	1	2	1.4	-99.9	-99.9	
1972	1	3	0.7	-99.9	-99.9	
1972	1	4	0	-99.9	-99.9	
1972	1	5	1.2	-99.9	-99.9	
1972	1	6	0.2	-99.9	-99.9	
1972	1	7	0	-99.9	-99.9	
1972	1	8	0	-99.9	-99.9	
1972	1	9	0.3	-99.9	-99.9	
1972	1	10	0	-99.9	-99.9	
1972	1	11	0.6	-99.9	-99.9	
1972	1	12	0	-99.9	-99.9	
1972	1	13	0	-99.9	-99.9	
1972	1	14	1	-99.9	-99.9	
1972	1	15	1.9	-99.9	-99.9	
1972	1	16	6.6	-99.9	-99.9	
1972	1	17	13.3	-99.9	-99.9	
1972	1	18	3.9	-99.9	-99.9	
1972	1	19	0	-99.9	-99.9	
1972	1	20	0	-99.9	-99.9	
1972	1	21	0	-99.9	-99.9	
1972	1	22	0	-99.9	-99.9	

**Figura 5**

*Selección de los índices de interés para el cálculo en Rclimdex*



*Nota.* Tomado de Rclimdex.

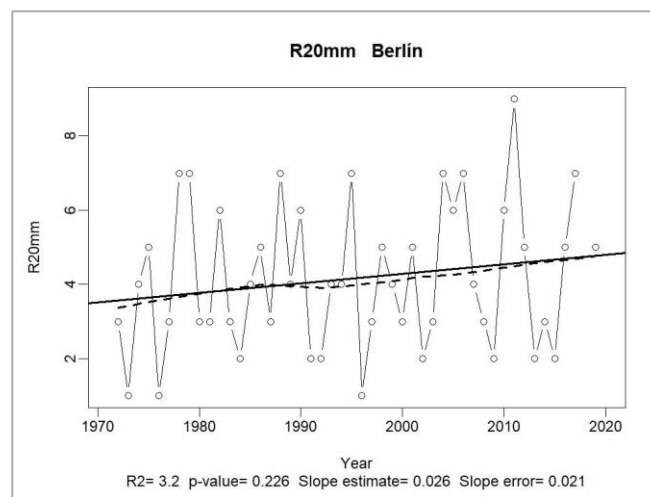
### ***1.2.3. Tendencias de los índices calculados y panorama del cambio climático en la zona de estudio***

Los resultados sobre los índices seleccionados o de interés son almacenados en una subcarpeta, en formato Excel, dentro la carpeta donde se indicó inicialmente que se guardarán los resultados del Rclimdex para cada estación. También se encuentra otra subcarpeta donde se guardan las gráficas de series anuales (ver Figura 6), con tendencias calculadas mediante regresión lineal de mínimos cuadrados (línea sólida) y regresión lineal con ponderamientos locales (línea punteada). En la parte de abajo de estas gráficas se puede observar el coeficiente de determinación, y el p-valúe, el cual indica el nivel de significancia estadística (nivel de confianza) de los resultados. Armenta y Ruiz (2012) señalan que los datos son considerados como representativos

con un nivel de significancia de al menos el 80%. Sin embargo, en este estudio se establecieron como representativos los índices con un nivel de significancia mayor al 90% ( $p\text{-valúe} < 0,1$ ), para tener una mayor confiabilidad en los resultados. Otros datos que se observan en las gráficas son el valor de la tendencia (pendiente estimada) y el error de estimación estándar.

### Figura 6

*Ejemplo de la gráfica obtenida con Rclimdex para un índice de la estación Berlín*



*Nota.* Las demás graficas de la estación Berlín y de las otras dos estaciones se encuentran en el Apéndice A.

Una vez obtenidas las gráficas y los valores de tendencia de los índices calculados, se realizó un análisis de resultados que permitió elaborar un panorama sobre el cambio climático en la zona de estudio que abarca desde observaciones para cada estación sobre los índices que reflejan el comportamiento de los eventos extremos más importantes relacionados con la precipitación, hasta una comparación entre estaciones y observaciones generales. Adicionalmente se hizo una comparación general de resultados con otros estudios de cambio climático que incluyera las

estaciones e índices analizados y una comparación con respecto a otros páramos de Colombia. Para esto, se consultó en la sección de escenarios climáticos de la web del IDEAM y también en la web en general, documentos que fueran de utilidad.

### **1.3. Identificación de estrategias de adaptación al Cambio climático**

En esta sección se presenta el procedimiento llevado a cabo para la selección de estrategias de adaptación que incluye una revisión de literatura sobre los tipos de estrategias existentes, contexto sobre medidas de adaptación en el país y condiciones agrícolas que se presentan en la zona de estudio.

#### ***1.3.1. Tipos de estrategias de adaptación***

Se consultó en las bases de datos spinger y science direct las palabras claves agricultura, cambio climático, adaptación y páramo. Desafortunadamente no se encontraron artículos con todos estos temas, por lo que se optó por eliminar páramo de la búsqueda y empezar una búsqueda más general.

Se partió por consultar las opciones de adaptación en agricultura disponibles, de ahí se encontraron recopilaciones de estrategias usadas en distintos países, de las que se tomó un panorama general de los tipos de adaptación. También, se llegaron a estudios con estrategias específicas de especial interés para este proyecto, cómo las basadas en ecosistemas.

### *1.3.2. Contexto de las medidas de adaptación en Colombia*

Teniendo en cuenta que los proyectos de adaptación a gran escala requieren apoyo estatal, se consultó en la página web de IDEAM los proyectos relacionados llevados a cabo con este apoyo, pues de esta manera se conocen sus límites, los intereses principales del gobierno en cuanto a adaptación, y características principales que estos comparten; para finalmente enfocar este proyecto un paso más hacia lo realizable. Además, la información recolectada tiene gran aplicabilidad por su contexto cercano.

### *1.3.3. Caracterización de la practica agrícola*

Se consultó en la web información sobre las características o factores de las prácticas agrícolas que se presentan en la zona de estudio, de acuerdo con los cultivos representativos de la región, para esto también se revisó y se tuvo en cuenta información del proyecto de investigación “Análisis de factores que influyen en la contaminación difusa por nutrientes de origen agrícola en una unidad hidrográfica del páramo de Berlín”, llevado a cabo por el grupo de investigación GPH en el páramo de berlín dentro del complejo Santurbán-Santander, Colombia (Afanador y Buitrago, 2021). Por último, se profundizó sobre información esencial de las causas de implementación y conservación de la practica agrícola convencional en el páramo y el País.

#### ***1.3.4. Selección de las estrategias para los pequeños agricultores de la zona de estudio***

Considerando la información obtenida en la revisión de literatura sobre documentos de proyectos realizados en Colombia sobre adaptación al cambio climático en ecosistemas de alta montaña al igual que proyectos en otros países como Ecuador (Isch, 2012) y teniendo en cuenta la información obtenida en la caracterización de la zona de estudio y el análisis del cambio climático, específicamente sobre la precipitación de la zona de interés, se definieron las estrategias de adaptación apropiadas y sostenibles para los pequeños agricultores del Páramo de Berlín.

## **2. Resultados**

### **2.1. Análisis del Cambio Climático en la zona de estudio**

Esta sección presenta los resultados de la selección de los índices, las tendencias de los índices calculados y finalmente el análisis de resultados que brindó un panorama sobre el cambio climático en la zona de interés.

#### ***2.1.1. Selección de los índices y herramientas de análisis***

A partir de la revisión bibliográfica, se encontraron los índices más relevantes para los modelos climáticos recomendados por los expertos a través de las actividades del IPCC. Estos

índices han sido propuestos considerando la precisión y disponibilidad de datos climáticos en diversas partes del mundo y la posibilidad de obtener una perspectiva uniforme sobre los cambios observados en los fenómenos meteorológicos y extremos climáticos (Peterson et al., 2001). De esta forma establecieron 27 índices básicos, agrupados en las variables de temperatura y precipitación. Estos índices básicos fueron los que se seleccionaron para calcular el cambio climático en la zona de interés, sin embargo, dentro de la misma revisión de literatura se encontró un estudio sobre el cambio climático en la cuenca superior del río Lebrija, en donde se utilizaron solo datos de temperatura de varias estaciones entre esas la de Berlín (Santana, 2017), por lo tanto, se decidió trabajar en este proyecto solo con datos de **precipitación**, analizando sus correspondientes índices (ver Tabla 4). Esta decisión también se dio debido a la relación directa con la regulación hídrica, la cual es una importante función ecosistémica del páramo y a la disponibilidad de información para el análisis de cambio climático, ya que las estaciones cercanas a la zona de estudio, en su mayoría eran pluviométricas.

En cuanto a herramientas para el cálculo de los índices, se encontró en la revisión bibliográfica un paquete de software básico/Excel, llamado ClimDex, desarrollado por Byron Gleason del Centro Nacional de Datos Climáticos de los Estados Unidos (NCDC por sus siglas en inglés) de la Oficina Nacional de Administración Oceánica y Atmosférica (NOAA por sus siglas en inglés), que con el trabajo posterior de Xuebing Zhang y Feng Yang, del Departamento de Investigación Climática del Servicio Meteorológico de Canadá (MSC por sus siglas en inglés) se combinó con el paquete estadístico R y se transformó en RclimDex (Santos, 2004).

Aunque existen otros tipos de paquetes estadísticos o lenguajes de programación que se utilizan junto con ClimDex para analizar los índices de extremo climático, la revisión de literatura

encontró que Rclimdex es el más usado (con 103 publicaciones en scopus), pues además de ser gratuito, se considera de instalación y uso sencillo, es ejecutable en cualquier ambiente, contando con guías que brindan paso a paso para llevar a cabo los procedimientos y una vez instalado, brinda herramientas apropiadas para realizar el análisis requerido, debido a que su interfaz es idónea para calcular tanto los 27 índices básicos como otros índices de temperatura y precipitación definidos por el usuario (Santos, 2004).

**Tabla 4**

*Índices seleccionados para el análisis de Cambio climático*

Variable	Índice	Descripción	Unidad
<b>Precipitación</b>	Rx1day	Máximo anual de precipitación en 1 día	mm
	Rx5day	Máximo anual de precipitación en 5 días consecutivos	mm
	SDII	Precipitación total anual/ días con lluvia al año con (Prec. > 1.0mm)	mm/día
	R10mm	Número de días en un año con lluvia mayor a 10mm	Días
	R20mm	Número de días en un año con lluvia mayor a 20mm	Días
	Rnmm	Número de días en un año con lluvia mayor a nn mm	Días
	CDD	Número máximo de días secos consecutivos en un año (R<1mm)	Días
	CWD	Número máximo de días húmedos consecutivos en un año (R ≥ 1mm)	Días
	R95p	Cantidad total de precipitación mayor al percentil 95 en un año	mm
	R99p	Cantidad total de precipitación mayor al percentil 99 en un año	mm
PRCPTOT	Precipitación total al año	mm	

*Nota.* Adaptado de Grupo IREHISA y Corporación autónoma regional del valle del cauca (CVC) (2014).

### 2.1.2. Tendencias de los índices calculados y panorama del cambio climático en la zona de estudio

A continuación se presentan los valores de tendencia de los índices calculados con Rclimdex, para cada una de las estaciones seleccionadas, presentados en la Tabla 5 y el panorama del cambio climático en la zona de estudio.

**Tabla 5**

Valores de tendencia de los índices para cada estación en el periodo de estudio (1972-2020)

Índice	Estación		
	Berlín	El pozo	Picacho
<b>CDD [días/año]</b> (N° máx. de días secos consecutivos)	0,008	0,201	<u>0,174</u>
<b>CWD [días/año]</b> (N° máx. de días húmedos consecutivos)	0,001	0,04	0,12
<b>PRCPTOT [mm/año]</b> (Precipitación total)	0,742	0,82	-12,212*
<b>R10mm [días/año]</b> (N° de días con precipitación > 10mm)	-0,01	0,081	-0,673*
<b>R20mm [días/año]</b> (N° de días con precipitación > 20mm)	0,026	<u>-0,099</u>	-0,556*
<b>R40mm [días/año]</b> (N° de días con precipitación > 40mm)	-0,005	-0,036*	-0,1*
<b>R95p [mm/año]</b> (Cant. total de precipitación > percentil 95)	0,769	-1,846	-6,997*
<b>R99p [mm/año]</b> (Cant. total de precipitación > percentil 99)	0,44	-2,243*	-2,815*
<b>Rx1day [mm/año]</b> (Máx. precipitación en 1 día)	0,053	-0,323*	-0,363*
<b>Rx5day [mm/año]</b> (Máx. precipitación en 5 días consecutivos)	0,092	-0,543*	<u>-0,564</u>
<b>SDII [mm/días/año]</b> (Precipitación total/días con lluvia > 1mm)	-0,001	0,011	-0,1*

Nota. Los valores con asteriscos tienen un nivel de significancia > 90% y un p-valúe < 0,1 y los valores subrayados no tiene un p-valúe < 0,1 pero si cerca a este límite.

De acuerdo con la Tabla 5, para la estación Berlín se evidencia un “aumento” en el número de periodos secos y húmedos al igual que en la precipitación total anual. Los índices R20mm y R40mm que son los relacionados con los días de precipitaciones altas (aguaceros), tienden a aumentar y a disminuir respectivamente. El máximo anual de precipitación en 1 día y 5 días consecutivos está aumentando.

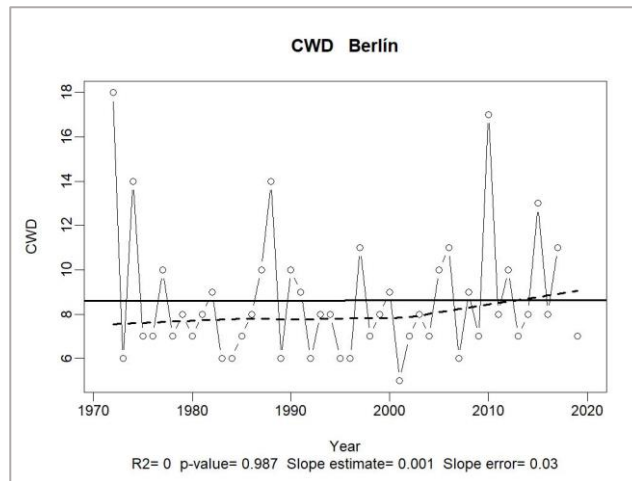
En la estación El pozo, se evidencia que el número de periodos secos y húmedos aumenta y la precipitación anual está “aumentando” también. Por otro lado, tanto el número de días con precipitaciones altas (aguaceros) como el máximo anual de precipitación en 1 día y 5 días consecutivos, disminuyen.

Por último, en la estación Picacho, se presenta un aumento en el número de periodos secos y húmedos y una tendencia a la disminución de la precipitación total anual, el número de días con precipitaciones altas (aguaceros) y el máximo anual de precipitación en 1 día y 5 días consecutivos.

Es importante aclarar que cuando el p-valúe es muy alto o el nivel de significancia es muy bajo, las gráficas de tendencia arrojadas por Rclimindex se comportan de forma casi estacionaria (ver Figura 7), ya que los datos disponibles durante el periodo de estudio no son representativos para indicar una tendencia.

**Figura 7**

*Ejemplo de una tendencia poco marcada, con bajo nivel de significancia*



Esta tendencia poco marcada y su evidente p-value alto, está relacionado con la baja confiabilidad y claridad del resultado de la tendencia arrojada por el software, por esta razón en algunas observaciones sobre la tendencia de algunos índices, se añadió comillas.

Teniendo en cuenta los valores de tendencia de los índices relacionados con los eventos extremos más importantes sobre precipitación, presentados en la Tabla 5, se puede evidenciar que en las tres estaciones hay un aumento del número máximo de días secos consecutivos (CDD), pero en Berlín su valor es mucho más pequeño con respecto a la estación de El Pozo y Picacho. Para el número máximo de días húmedos consecutivos (CWD), Berlín también tiene un valor muy pequeño el cual es de 0,001 días/año. En este índice las tres estaciones también presentaron una tendencia al aumento. En la precipitación total, se presentó una variación, debido a que en este caso Picacho fue la única estación con tendencia a disminuir, además, tuvo un valor bastante considerable de -12,212 mm/ año y una significancia aceptable, a diferencia de las otras estaciones. Para el índice de R20mm, la estación de El pozo y el Picacho tuvieron un comportamiento similar, presentándose en ambas una tendencia a la disminución con valores cercanos de orden  $\times 10^{-1}$  y

niveles de significancia aceptables. En el índice de R40mm las tres estaciones tuvieron una tendencia a la disminución con valores relativamente cercanos, pero solo la estación de El pozo y Picacho tuvieron un nivel de significancia aceptable. Para los índices Rx1day y Rx5day, nuevamente las estaciones de El pozo y el Picacho tuvieron un comportamiento similar, ambas estaciones con tendencias a la disminución y buen nivel de significancia, pero esta vez con valores muy cercanos, como es el caso de Rx5day en el que la estación El pozo arrojó un valor de tendencia de -0,543 mm/año y el Picacho un valor de -0,564 mm/año. Por otro lado como se ha venido evidenciando en todos los demás índices, en estos dos índices, la estación de Berlín no tuvo una significancia aceptable ni cercana a la establecida y a diferencia de las otras dos estaciones arrojó una tendencia al aumento.

Para la parte de comparación de resultados, aunque no se encontraron estudios que tuviesen todas las estaciones empleadas en este proyecto y que además manejaran los mismos índices de extremos climáticos usados para el análisis del cambio climático, se pudo encontrar una investigación llevado a cabo por IDEAM con el que se puede contrastar y confirmar los resultados encontrados sobre la estación de Berlín, para un periodo similar al del presente estudio. Esta investigación fue la de Mayorga et al. (2011), que también utiliza Rclimdex para el análisis de cambio climático en el periodo de 1970-2010, solamente de los índices de precipitación total anual (PRCPTOT) y precipitaciones fuertes (R95p y R99p). En sus resultados, la precipitación total anual presentó una tendencia al aumento de la misma forma que las precipitaciones fuertes. Estos datos concuerdan con los de este estudio, ya que para la estación Berlín la precipitación total y las precipitaciones fuertes también presentaron una tendencia al aumento, tal como se evidencia en la Tabla 6.

**Tabla 6***Comparación de tendencias para la estación Berlín*

Índice	Estación Berlín	
	1972-2020 (Presente estudio)	1970-2010 (Mayorga et al., 2011)
<b>CDD [días/año]</b> (Nº máx. de días secos consecutivos)	+	
<b>CWD [días/año]</b> (Nº máx. de días húmedos consecutivos)	+	
<b>PRCPTOT [mm/año]</b> (Precipitación total)	+	+
<b>R10mm [días/año]</b> (Nº de días con precipitación > 10mm)	-	
<b>R20mm [días/año]</b> (Nº de días con precipitación > 20mm)	+	
<b>R40mm [días/año]</b> (Nº de días con precipitación > 40mm)	-	
<b>R95p [mm/año]</b> (Cant. total de precipitación > percentil 95)	+	+
<b>R99p [mm/año]</b> (Cant. total de precipitación > percentil 99)	+	+
<b>RX1day [mm/año]</b> (Máx. de precipitación en 1 día)	+	
<b>Rx5day [mm/año]</b> (Máx. de precipitación en 5 días consecutivos)	+	
<b>SDII [mm/días/año]</b> (precipitación total/días con lluvia > 1mm)	-	

Para la comparación con otros páramos de Colombia, se encontraron en el estudio de Mayorga et al. (2011) valores de tendencia de la precipitación total anual (PRCPTOT) de seis estaciones con piso térmico de páramo tal como se muestra en la Tabla 7, las cuales todas arrojaron tendencia a la disminución a diferencia de la estación de Berlín que arrojó tendencia al aumento tanto en esa investigación como en la del presente estudio, esto se puede presentar debido a su ubicación geográfica, lo que posiblemente brinda unas condiciones climáticas diferentes con respecto a las otras 6 estaciones. Sin embargo, es importante aclarar que en el presente estudio la estación de El Picacho si presentó tendencia a la disminución, con el segundo valor más alto de la Tabla 7, después de la estación de la Sierra Nevada El Cocuy del estudio de Mayorga et al. (2011).

**Tabla 7**

*Comparación de tendencias de la precipitación total anual para estaciones de Páramo en Colombia*

Periodo de estudio	Piso térmico paramo		Tendencia (milímetros/año)
	Nombre de estación	Elevación	
<b>1970-2010</b> (Mayorga et al., 2011)	Las brisas (Villamaría, Caldas)	4141	-2,8
	Sierra Nevada El Cocuy (Guicán, Boyacá)	3716	-13,6
	El Cardón (Socotá, Boyacá)	3590	-10,6
	El Paraíso (Tuquerres, Nariño)	3120	-0,6
	Cusagui (La Uvita, Boyacá)	2950	-3,9
	Granja San Jorge (Soacha, Cundinamarca)	2900	-1,5
<b>1972-2020</b> (Presente estudio)	El Picacho (Santander)	3310	-12,2
	Berlín (Santander)	3214	0,7

## 2.2. Identificación de estrategias de adaptación al Cambio climático

En esta sección se presentan los resultados de la revisión bibliográfica sobre estrategias de adaptación al cambio climático, que tuvo en cuenta los tipos de estrategias existentes, el contexto sobre el desarrollo de las adaptaciones estratégicas en el país y las condiciones agrícolas que se presentan en la zona de estudio. Finalmente se plantean las estrategias de adaptación considerando la revisión de literatura y el análisis de cambio climático enfocado en la precipitación.

### 2.2.1. Tipos de estrategias de adaptación

La literatura clasifica las estrategias de adaptación al cambio climático enfocadas en agricultores en tres grupos: medidas incrementales, intermedias y transformacionales (Iizumi et al., 2019).

Las medidas incrementales implican ajustes en las prácticas agrícolas, manteniendo los mismos cultivos, implementando tecnologías existentes y ya probadas en otros lugares. Un ejemplo de esto es la utilización de cultivos tolerantes al calor para moderar los impactos negativos de las altas temperaturas, esto se ha dado en muchas partes del mundo, cómo en Japón, dónde cultivares de arroz han pasado de un 2,3% a un 6,6% del total entre 2010 y 2016 (MAFF, 2017).

Las medidas transformacionales plantean un cambio drástico en el sistema, como la variación en los tipos de cultivos. Esta práctica es cada vez más común por eventos de extremos climáticos en ciertas regiones, por ejemplo en la región Kazuno, Japón, se hizo un cambio de

manzanas a duraznos, lo que requirió un apoyo del gobierno local, pues estas estrategias generalmente tienen costos altos en comparación con las medidas incrementales (Fujisawa & Kobayashi, 2013).

Las medidas intermedias se sitúan entre las dos ya mencionadas, y pueden incluir los sistemas para apoyar la alerta y decisión temprana ante amenazas climáticas, o tendiendo más hacia lo transformacional, los seguros de agricultura, que ayudan a reemplazar cultivos en caso de pérdidas relacionadas con el clima (Iizumi et al., 2019).

Otro tipo de estrategia promovida en países como Ecuador, Perú y Colombia es la Adaptación basada en Ecosistemas (AbE), la cual, usando la biodiversidad, los servicios y los procesos de un ecosistema, ayuda a las comunidades en su adaptación a los impactos del cambio climático (CDB,2009). Estas prácticas son en su mayoría medidas incrementales, cómo los cultivos de cobertura, que se usan entre cosechas para conservar la estructura, humedad y nutrientes del suelo; pero pueden presentarse también medidas transformacionales como por ejemplo incluir vegetación silvestre en cultivos.

Se plantea que AbE tiene como beneficios, además de la eficacia que han demostrado algunas de estas medidas en aumentar la resiliencia del ecosistema y cultivos al clima y mejorar su capacidad adaptiva, los bajos costos y esfuerzos de implementación, pues se nutren de recursos renovables en el ambiente y conocimientos tradicionales que son fácilmente replicables para los agricultores (Vignola et al., 2015). Un resultado de esta adaptación es la mitigación que se puede generar al tener un ecosistema recuperado (Álvarez et al., 2018).

### *2.2.2. Contexto de las medidas de adaptación en Colombia*

En el año 2006 se inició el proyecto piloto nacional de adaptación al cambio climático (INAP), que abordó cuatro componentes técnicos, entre ellos, el diseño e implementación de un programa de adaptación en el Macizo de Chingaza, zona que contiene ecosistemas de páramos; en esta zona se llevaron a cabo diferentes estudios sobre el ciclo del carbono y el agua, además, se pusieron en práctica estrategias de adaptación al cambio climático que involucraron a la comunidad, cómo la restauración de cobertura vegetal original y capacitación a los habitantes sobre su importancia en el recurso hídrico, huertas orgánicas, sistemas de riego por goteo, prácticas de manejo y conservación de laderas, producción de aceites esenciales a partir de plantas locales complementado con huertas específicas para estas, entre otras. Los aprendizajes de este componente del proyecto que culminó en 2011 serían tomados en cuenta en próximos proyectos, cómo el enfoque ecosistémico (AbE) y las metodologías participativas y de educación ambiental, el trazado de líneas base de vulnerabilidad, y la articulación con entidades territoriales (IDEAM et al., 2011).

En 2012 se pone en marcha el Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático (PNACC), un plan más detallado y con un alcance más amplio. En este plan se adopta una visión integral en cuanto a medidas de adaptación que incluye, la Abe, comunidades y obras de infraestructura para una adaptación más robusta. Cómo acciones concretas proponen concientizar sobre cambio climático, generar información y conocimiento para medir el riesgo, planificar el uso del territorio, implementar medidas de adaptación y fortalecer la capacidad de reacción. En el marco de este plan se han desarrollado algunos insumos cómo una guía con directrices para llevar a cabo un plan de adaptación basada en ecosistemas y algunos casos pilotos, entre los que se

destaca el realizado en el área de Chingaza, Sumapaz, Guerrero dónde se evidencia una continuación del proyecto INAP en la zona, en cuanto a restauración ecológica y adaptación de la comunidad (Álvarez et al., 2018).

Finalmente en 2018 se definen los Planes Integrales de Gestión de Cambio Climático Territoriales (PIGCCT), donde las entidades territoriales deben, plantear acciones de adaptación y mitigación siguiendo las metodologías desarrolladas en proyectos previos en todos los departamentos del país con miras hacia el cumplimiento de las metas colombianas en el acuerdo de París para el 2030.

### ***2.2.3. Caracterización de la práctica agrícola***

Buena parte de las prácticas agrícolas nombradas en la descripción de la zona de estudio se encuentran dentro de la delimitación del distrito de manejo integrado (DMI) “páramo de Berlín”, esto significa que hacen parte del plan integral de manejo ambiental del DMI y por lo tanto, se esperaría un escenario de regulación y planeación de los recursos ambientales (Restrepo et al., 2008). Sin embargo, un estudio evidenció el desconocimiento de dicho plan por parte de algunos campesinos así como prácticas agrícolas tradicionales que pueden ocasionar deterioro ambiental (Vásquez, 2014).

El estudio de Afanador y Buitrago (2021), en una unidad hidrológica en el Páramo de Berlín, expone la contaminación de cuerpos hídricos ocasionada por exceso de nutrientes como nitrógeno y fosfato provenientes de agroquímicos como fertilizantes, fungicidas y acondicionadores que son utilizados para preparar el suelo y para que el cultivo se desarrolle adecuadamente. Este exceso de nutrientes se presenta posiblemente debido al uso de dosis de

agroquímicos fuera de los límites permitidos. La contaminación evidenciada en cuerpos hídricos contribuye a acelerar el proceso de eutrofización, produciendo la muerte de todo organismo aeróbico que habite allí, deteriorando la calidad del agua (Mateo-Sagasta et al., 2018). Por otro lado, la contaminación en el suelo afecta directamente en su fertilidad, lo que conlleva a una baja productividad de la región (Vásquez, 2014).

El estudio de Afanador y Buitrago (2021), también muestra que en la zona de interés de esa investigación, para todos los tipos de cultivos que allí se realizan como lo son la cebolla junca, papa negra y amarilla, se emplea el método de arado de forma mecánica utilizando un tractor a una profundidad media de alcance del arado de 10 a 20 cm, como mecanismo de preparación del suelo antes de la siembra, lo que provoca una reducción de niveles de materia orgánica del suelo y un aumento de su densidad aparente (Hofstede, 1995), disminuyendo así, la capacidad de retención de agua en el suelo (Robineau et al., 2010). Otro aspecto importante para tener en cuenta es el riego artificial empleado en los cultivos de cebolla junca realizado mediante aspersión con agua proveniente de las fuentes hídricas que se desprenden del mismo páramo durante todo el año (Afanador y Buitrago, 2021), lo que representa la explotación de este recurso para ser usado en la agricultura de la zona.

Las principales causas de la práctica agrícola convencional desarrollada en el páramo, parten de la tradición traída por los españoles desde su desconocimiento del territorio, que, aunque es contraria a la tradición indígena de periodos de descanso para el suelo (Rivera, 2001), se ha mantenido por factores socioeconómicos como la desigualdad en tenencia de tierras, cadenas de distribución que les dejan baja rentabilidad y falta de acceso a servicios básicos, que impiden concentrar esfuerzos en un desarrollo sostenible a largo plazo y por el contrario, únicamente

permiten a los campesinos usar recursos y conocimientos para superar problemáticas inminentes (Vásquez, 2014).

#### ***2.2.4. Estrategias seleccionadas para los pequeños agricultores***

Teniendo como referentes la literatura sobre adaptación, los esfuerzos institucionales y las características y prácticas agrícolas de la zona, se seleccionaron estrategias con enfoque AbE. Otra consideración que se tuvo en cuenta fue que este enfoque prioriza la restauración y conservación de los ecosistemas y sus servicios para aumentar la resiliencia al clima y mitigar los GEI, además, de los otros beneficios que brinda. De acuerdo con esto, se plantearon las siguientes estrategias de adaptación que pueden ser implementadas en la zona:

##### ***Restauración ecológica en áreas de regulación hídrica y de suministro.***

Esto implica la recuperación de áreas degradadas, ampliación y enriquecimiento de relictos de vegetación natural, franjas biodiversas, cercas vivas multiestratos y multipropósitos que también brindan protección de las fuentes o nacientes y del suelo dentro del páramo por el ingreso de ganado, recuperación de vegetación nativa en especial en las riberas de los ríos y cauces de agua, ya que estas son fundamentales para las funciones ecosistémicas del páramo como los frailejones y porque como están adaptadas al ecosistema, el uso de agua para esta especie es más eficiente (Conservación Internacional, 2018).

##### ***Implementación de la agroecología.***

La agroecología busca reducir el consumo de agroquímicos a partir de actividades o soluciones como: uso de abonos orgánicos, abonos verdes, creación de módulos de biofertilizantes,

lombricompostaje, diversificación de cultivos y técnicas de mínima labranza (Álvarez et al., 2018), lo que ayuda a preservar la biodiversidad, el equilibrio y cuidado del ecosistema paramuno. Estas son alternativas más amigables y ecológicas, comparadas con las prácticas agrícolas tradicionales, que además permiten que el suelo se recupere y este sano para el buen desarrollo del cultivo, logrando así, mejorar la seguridad alimentaria de las comunidades de alta montaña (Conservación Internacional, 2018).

*Implementación de nuevos métodos de producción y comercialización.*

Puede promoverse la implementación de sistemas productivos de especies menores: cunicultura, apicultura, apiarios; emprendimientos agrícolas sostenibles de producción limpia u orgánica en unidades agrícolas familiares, con quinua, maca, chía, amaranto, lupino, entre otros cultivos andinos o medicinales/aromáticos (Álvarez et al., 2018).

*Recolección, captación y conservación del agua.*

Teniendo en cuenta los resultados del análisis del cambio climático para la zona de estudio, cabe destacar la tendencia a la disminución tan representativa de la precipitación total anual que presentó la estación de El picacho. Además en la mayoría de las estaciones, se evidenció un aumento de periodos secos y una tendencia a la disminución de días con precipitaciones altas (aguaceros) y del máximo anual de precipitación en 1 día y 5 días consecutivos. Es por esto que es necesario proponer estrategias que contribuyan a la recuperación de los cuerpos de agua en el Páramo pues, aunque las acciones de restauración de la cobertura vegetal ayudan con el aumento de caudal base en las cuencas por la captación de agua y transporte a través del suelo, no es

suficiente para contrarrestar los efectos del cambio climático con respecto a la precipitación en el páramo (Conservación Internacional, 2018).

Estas estrategias son:

- Cosecha o siembra de agua.
- Instalación de sistemas de reciclaje de aguas residuales o agua lluvia para riego.
- Captación de agua de neblina tanto para uso de la población cercana como para uso agrícola.

- Siembra de nubes, lo cual permite un aumento de la precipitación del 10 al 15% (METTECH, n.d.)

- Sistema de riego por goteo, el cual optimiza el uso de agua para riego, aumentando el rendimiento de trabajo, recursos empleados y productividad por hectárea.

Con esta última estrategia se debe tener cuidado con las desventajas y asegurarse de que sea completamente segura, eficiente y ventajosa en un ecosistema tan frágil como el Páramo o si es mejor optar por otro sistema de riego más adecuado.

La implementación de cualquiera de las anteriores estrategias de adaptación requiere un ambiente favorecedor que incluya:

*Fomento de la participación comunitaria en los procesos de adaptación al cambio climático.*

La participación comunitaria es esencial para la adopción de cualquier estrategia de adaptación, tanto a la hora de diseñar y llevar a la práctica planes adecuados de adaptación al cambio climático, como para que los esfuerzos y compromiso permanezcan en el tiempo. Esto se

puede lograr con actividades donde se involucre la población paramuna, para darles a conocer información sobre la importancia de los páramos y sus funciones respecto a la regulación del clima, el respetar las zonas delimitadas para los diferentes usos del suelo del Páramo, evitando acciones agrícolas que puedan afectar de manera irreversible las características de los ecosistemas dentro del Páramo.

Además, es necesario la construcción de conocimientos sobre el cambio climático con sus posibles efectos o impactos sobre la disponibilidad del agua y las prácticas agrícolas propias de los modos de vida de la comunidad local. Por otro lado, los habitantes del Páramo pueden contribuir con sus saberes ancestrales sobre indicadores del clima (popularmente conocidos como signos y señales) y sobre estrategias concretas que han permitido enfrentar las anteriores variaciones climáticas (Isch, 2012).

#### *Elaboración participativa de planes de acción.*

Además de la construcción de conocimientos se deben plantear actividades para la toma de decisiones sobre las estrategias que se van a implementar, búsqueda de mecanismos de desarrollo y mejora social que evitan daños en el ecosistema y por último guías y herramientas para la ejecución óptima de las estrategias.

#### *Apoyo externo.*

Es importante también, contar con el apoyo y la participación de todos los niveles territoriales y los sectores para que aporten a la solución de problemas socio-económicos respecto a las prácticas de agricultura convencionales de la región, permitiendo la reestructuración de estas prácticas para aumentar la productividad, la competitividad, el desarrollo económico, la calidad

de vida y la sostenibilidad a largo plazo y al mismo tiempo, disminuir su vulnerabilidad frente a los efectos del cambio climático (Isch, 2012), contando con la infraestructura adecuada y el acceso a servicios básicos, que es un punto importante en la buenas prácticas desarrolladas por la fao (Izquierdo, 2007).

#### Gestión del riesgo.

Teniendo en cuenta que el cambio climático es un fenómeno caracterizado por incertidumbres y amenazas, es indispensable pensar en los riesgos, por lo que se debe manejar una gestión de riesgos que cuente con información adecuada, como registros sobre los cambios en el clima y en las características de la zona de estudio. Esta información se debe analizar para así decidir las acciones que puedan disminuir las causas de desastres y prevenir sus efectos, y si se llegan a presentar, prepararse para enfrentarlos (Isch, 2012).

#### Seguimiento y evaluación de las estrategias y actividades.

Las estrategias implementadas pueden requerir ajustes que solo serán correctos si se hace un buen seguimiento y acompañamiento a las distintas acciones y sus impactos en el ecosistema o en la población. Para que se realice de forma organizada y clara el seguimiento y evaluación, es ideal establecer maneras de cuantificar los impactos o resultados, los costos/beneficios de la adaptación y definir indicadores para verificar la reducción de la vulnerabilidad (Isch, 2012).

### 3. Conclusiones

- De acuerdo con los resultados obtenidos en el análisis del cambio climático se evidenció una tendencia a la disminución bastante representativa de la precipitación total anual (PRCPTOT) en la estación de El picacho con un valor de -12,212 mm/año contrario a lo que sucedió en las otras dos estaciones seleccionadas. Por otro lado en las estaciones de El pozo y Picacho, se presentó un aumento de periodos secos y húmedos y una tendencia a la disminución de los días con precipitaciones altas (aguaceros). Además en estas dos estaciones el máximo anual de precipitación en 1 día (Rx1day) y 5 días consecutivos (Rx5day) presentó una tendencia a la disminución con valores muy cercanos, cumpliendo con el nivel de significancia establecido.

- Sobre los resultados obtenidos del cálculo de índices para la estación de Berlín se evidenció que ningún índice alcanzó el nivel de significancia permitido, esto puede suceder debido a que los datos recolectados en el periodo de estudio no fueron representativos para obtener un comportamiento confiable de las tendencias de los índices.

- Las diferencias que se dan en algunos resultados entre las estaciones seleccionadas o entre la estación de Berlín y estaciones ubicadas en pisos térmicos de paramo en otras partes de Colombia, a pesar de que todas estas cuentan con altitudes similares, puede presentarse debido a que cada estación abarca un área representativa con unas condiciones climáticas y meteorológicas propias de la región donde se encuentra ubicada.

- La información obtenida de la caracterización de las prácticas agrícolas en la zona de estudio permitió encontrar temas relevantes del socio-ecosistema paramuno para determinar puntos prioritarios sobre adaptación, diferentes a los relacionados con el análisis del cambio

climático, y al mismo tiempo, identificar elementos que puedan favorecer la implementación óptima de las estrategias de adaptación.

- Las estrategias planteadas sobre recolección y captación de agua proporcionan alternativas para el riego de cultivos sin tener que sobre-explotar las fuentes hídricas y previenen que el cultivo, de acuerdo con las futuras condiciones climáticas, llegue a sufrir de estrés hídrico. Estas estrategias pueden contribuir a que los cuerpos de agua se recuperen y aumente su caudal base, garantizando el abastecimiento de agua a las poblaciones.

- La implementación de las estrategias de adaptación propuestas por parte de actores claves puede contribuir al fomento de la recuperación del páramo y al aumento de su capacidad para enfrentar los efectos del cambio climático, disminuyendo de esta forma su vulnerabilidad. Además si el ecosistema paramuno se recupera, gracias a sus funciones ecosistémicas, contribuirá a la mitigación del cambio climático. Esta capacidad adaptativa está relacionada con el desarrollo socio-económico, por lo tanto, es importante el apoyo de sectores territoriales y entidades gubernamentales, para capacitar a la comunidad sobre el tema y brindar la infraestructura adecuada.

#### **4. Recomendaciones**

- Como continuación a este proyecto se podrían realizar investigaciones con diferentes escenarios climáticos en diferentes periodos futuros para complementar las estrategias presentadas en este artículo y que sean más sostenibles en el tiempo.

- Aunque en este proyecto para el análisis climático se evaluó solo la precipitación y sus resultados contribuyeron en la determinación de algunas estrategias de adaptación, es recomendable complementar las estrategias con el análisis de la temperatura, principalmente las relacionadas con los cultivos presentes en la zona de estudio, utilizando modelos de simulación de cultivos que permitan evaluar su comportamiento, teniendo en cuenta el clima futuro.

Los modelos de simulación posibilitan la evaluación de las estrategias antes de implementarlas, para disminuir pérdidas económicas y optimizar los resultados.

### Referencias Bibliográficas

- Afanador M. J. y Buitrago L. G. (2021). Análisis de factores que influyen en la contaminación difusa por nutrientes de origen agrícola en una unidad hidrográfica del Páramo de Berlín (Santander-Colombia) (tesis de pregrado). Universidad Industrial de Santander, Colombia.
- Álvarez Grueso, E., Florian Buitrago, M., Peñuela Zamudio, L., Cortés Ospina, E., Escobar, L., y López, K. (2018). *AbE. Guía de adaptación al cambio climático basada en ecosistemas en Colombia*.  
[https://www.minambiente.gov.co/images/cambioclimatico/pdf/ABE\\_/MADS\\_Guia\\_AbE\\_LIBRO\\_Digital-Cambio.pdf](https://www.minambiente.gov.co/images/cambioclimatico/pdf/ABE_/MADS_Guia_AbE_LIBRO_Digital-Cambio.pdf)
- Armenta, G. E., y Ruiz, J. F. (2012). Indicadores de eventos extremos en los escenarios de cambio climático para el periodo 2011-2040. Subdirección de meteorología. Insituto de hidrología, meteorología y estudios ambientales-IDEAM. Recuperado de:<http://www.ideam.gov.co/documents/21021/21138/Eventos+Extremos+2011-2040+%28Ruiz+y+Armenta%29.pdf/50244c83-7d5c-4e77-8fed-5df34f700189>
- Armenta, G. (2016). *Análisis De Tendencias Climáticas Y Eventos Climáticos Extremos Para Ecuador*. 48.
- Cardona, L. E., y Cardona, F. (2012). *Guía para el calculo de indices de extremos climaticos*. Grupo de investigación en Ingenieria de recursos hidricos y suelos (IREHISA). Universidad del Valle. Santiago de Cali.
- Corporación Autónoma Regional Para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga (CDMB). (2007). Plan de Acción Trienal 2007 - 2009. Bucaramanga.

- Chervenkov, H., Slavov, K., & Ivanov, V. (2019). STARDEX and ETCCDI Climate Indices Based on E-OBS and CARPATCLIM. In: Nikolov, G., Kolkovska, N., Georgiev, K. (eds) Numerical Methods and Applications. NMA 2018. Lecture Notes in Computer Science(), vol 11189. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-10692-8\\_40](https://doi.org/10.1007/978-3-030-10692-8_40)
- Conservación Internacional. (2018). *Adaptación al cambio climático en la alta montaña*. 12.
- Departamento Nacional de Planeación (DNP). (2012). *ABC: Adaptación Bases Conceptuales. Marco conceptual y lineamientos del Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático (PNACC)*. 80.  
[https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/DNP/PNACC\\_ABC%20Adaptaci%C3%B3n%20Bases%20Conceptuales.pdf](https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/DNP/PNACC_ABC%20Adaptaci%C3%B3n%20Bases%20Conceptuales.pdf)
- Díaz, I. (2000). Tratamiento estadístico de datos meteorológicos. Documento Online. Argentina. Recuperado el 6 de junio del 2021. URL: <http://www.umss.edu.bo/epubs/earts/downloads/35.pdf>.
- Fujisawa M., & Kobayashi K. (2013). *Shifting from apple to peach farming in Kazuno, Northern Japan: perceptions of and responses to climatic and non-climatic impacts*. Reg Environ Chang 13:1211–1222.
- Garavito, L. (2015). Los páramos en Colombia, un ecosistema en riesgo. *Ingeniare*, 19, 127–136. <http://www.unilibrebaq.edu.co/ojsinvestigacion/index.php/ingeniare/article/view/704>
- Grupo IREHISA y Corporación autónoma regional del valle del cauca (CVC) (2014). *Análisis de tendencias en las series históricas de precipitación diaria para determinar señales de variabilidad climática en la Cuenca del Río Cauca en su valle alto*. Convenio 001 del 2013, Asocars y Universidad del Valle. 35.

- Hofstede, R. G. M. (1995). "Effects of livestock farming and recommendations for management and conservation of paramo grasslands (Colombia)." *Land Degradation & Development*, vol. 6, no. 3, pp. 133–147.
- IDEAM. (n.d.). *Conceptos básicos de cambio climático*. Recuperado de <http://www.cambioclimatico.gov.co/otras-iniciativas>
- IDEAM, CI, INS, C. (2011). *Resultados del Proyecto INAP: Informe Final*. [http://corponarino.gov.co/expedientes/intervencion/PLAN DE ORDENAMIENTO DE CUENCA RIO BLANCO.pdf](http://corponarino.gov.co/expedientes/intervencion/PLAN_DE_ORDENAMIENTO_DE_CUENCA_RIO_BLANCO.pdf)
- Iizumi, T., Hirata, R., & Matsuda, R. (2019). Adaptation to climate change in agriculture: Research and practices. In *Adaptation to Climate Change in Agriculture: Research and Practices*. <https://doi.org/10.1007/978-981-13-9235-1>
- Isch López, E. (2012). El cambio climático y gestión de páramos. *Consortio Camaren*, 29.
- Izquierdo, J. (2007). Manual "buenas prácticas para la agricultura familiar". Food and Agriculture Organization (FAO). <https://www.fao.org/3/a1085s/a1085s.pdf>.
- Mateo-Sagasta, J., Zadeh, S. M., & Turrall, H. (2018). *More people, more food, worse water? a global review of water pollution from agriculture*. Food and Agriculture Organization and International Water Management Institute. <https://www.fao.org/3/CA0146EN/ca0146en.pdf>
- Mayorga, R., Hurtado, G., y Benavides, H. (2011). Evidencias de cambio climático en Colombia con base en información estadística. Subdirección de meteorología, Instituto de hidrología, meteorología y estudios ambientales-IDEAM. Recuperado de: <http://www.ideam.gov.co/documents/21021/21138/Evidencias+de+Cambio+Clim%C3>

- %A1tico+en+Colombia+con+base+en+informaci%C3%B3n+estad%C3%ADstica.pdf/1170efb4-65f7-4a12-8903-b3614351423f
- METTECH (siembra de nubes). (n.d.). Metodologías de operación. Valparaíso, Chile. Publicación de METTECH. Recuperado de: <https://mettech.cl/biblioteca/metodologias-de-operacion/>
- Minister of Agriculture, Forestry and Fisheries (MAFF). (2017). *No Title*. <http://www.maff.go.jp/j/seisan/kankyo/ondanka/attach/pdf/index-17.pdf>.
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2022). *Noticias Santurban*. <https://santurban.minambiente.gov.co/index.php/comunicaciones/noticias-santurban>
- Organización Mundial Meteorológica (OMM). (2011). Guía de Prácticas Climatológicas (Vols. OMM-No. 100). Ginebra, Suiza.
- Oviedo, B. E. (2010). Generación de escenarios de cambio climático regionales y locales a partir de modelos globales – Guía para tomadores de decisiones. Subdirección de meteorología (IDEAM). 17. Recuperado de: <http://www.ideam.gov.co/documents/21021/21138/Gu%C3%ADa+Escenarios+para+Tomadores+de+Decisiones.pdf/fa7abe38-43cc-49c8-96a3-f2b5c24ecce3>
- Peterson, T. C., Folland, C. C., Gruza, G., Hogg, W., Mokssit, A., & Plummer, N. (2001). Report on the activities of the Working Group on Climate Change Detection and Related Rapporteurs 1998–2001. *Rep. WCDMP-47, WMO-TD 1071, March*, 143. <http://etccdi.pacificclimate.org/docs/wgccd.2001.pdf>
- Restrepo, J. H., Ardila, E., & Gualdrón, J. A. (2008). Plan integral de manejo del Distrito de Manejo Integrado de los recursos naturales “Páramo de Berlín.” In *Corporación Autónoma Regional Para La Defensa De La Meseta De Bucaramanga*.
- Rivera, D. (2001). *Páramos de Colombia*. Banco de occidente.

- Robineau, O., Châtelet, M., Soulard, C., Michel-Dounias, I., & Posner, J. (2010). Integrating Farming and Páramo Conservation: A Case Study From Colombia. *Mountain Research and Development - MT RES DEV*, 30, 212-221. doi:10.1659/MRD-JOURNAL-D-10-00048.1.
- Ruiz, J. F. (2010). Cambio climático en temperatura, precipitación y humedad relativa para Colombia usando modelos meteorológicos de alta resolución (panorama 2011-2100). Grupo de Modelamiento de Tiempo, Clima y Escenarios de Cambio Climático (IDEAM). 91.  
<http://www.ideam.gov.co/documents/21021/21138/Nota+T%C3%A9cnica+sobre+Generaci%C3%B3n+de+Escenarios+Cambio+Climatico.pdf/f7e5d798-4228-4053-9773-46c759c32f04>
- Santana, D. Z. (2017). *La temperatura como indicador de cambio climático en la cuenca superior del río Lebrija, Santander*.
- Santos, J. L. (2004). *Manual del usuario, Rclimdex (1.0)*.
- Serie Técnica del CDB núm. 41. (2009). *Connecting Biodiversity and Climate Change Mitigation and Adaptation: Report of the Second Ad Hoc Technical Expert Group on Biodiversity and Climate Change*.
- Vásquez, K. B. (2014). Las Dinámicas De Las Actividades De Producción Y Consumo En El Sector Rural: Reflexiones a Partir Del Caso Del Centro Poblado (Cp) Del Corregimiento De Berlín, Santander. *Revista M*, 11(2), 46. <https://doi.org/10.15332/rev.m.v11i2.1724>
- Vignola, R., Harvey, C. A., Bautista-Solis, P., Avelino, J., Rapidel, B., Donatti, C., & Martinez, R. (2015). Ecosystem-based adaptation for smallholder farmers: Definitions, opportunities and constraints. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 211, 126–132. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.agee.2015.05.013>

World Meteorological Organization (WMO). (n.d.). *Climate change detection and indices*.

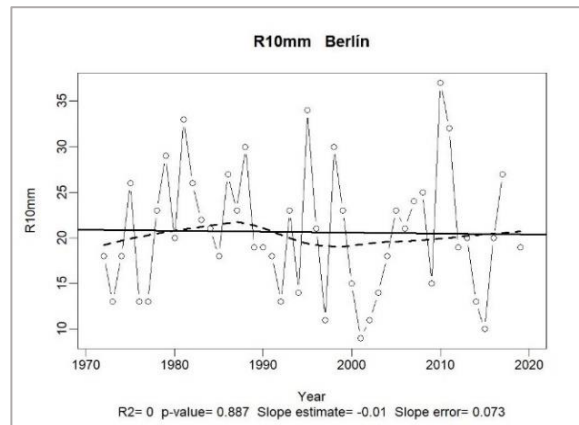
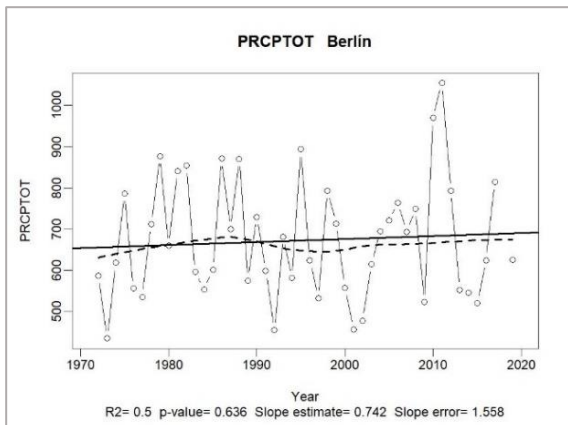
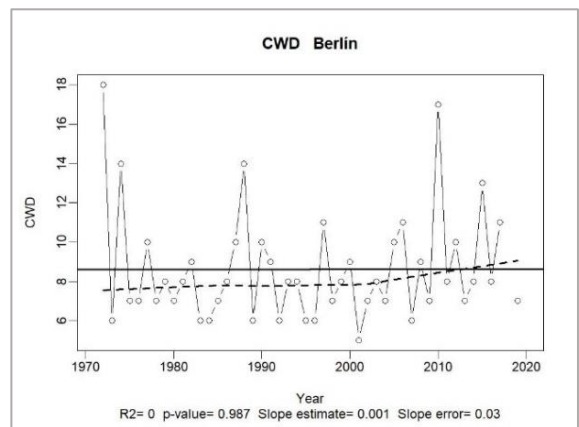
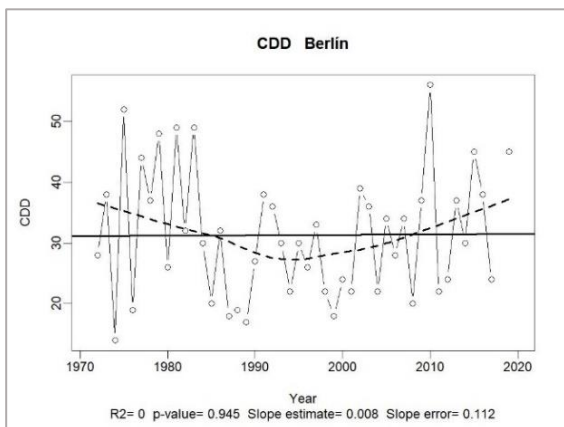
Retrieved November 24, 2020, from

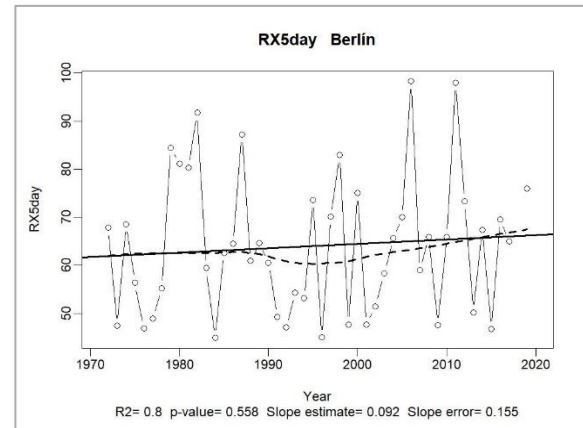
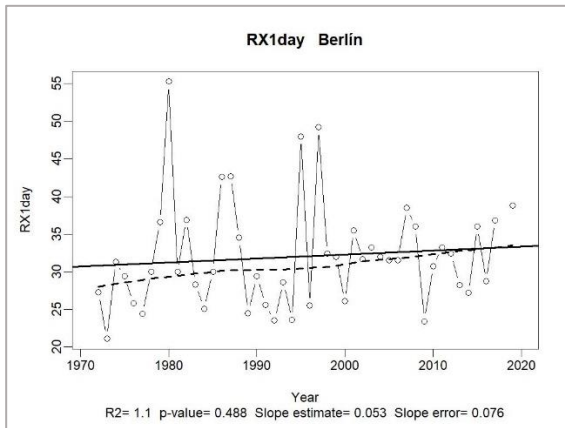
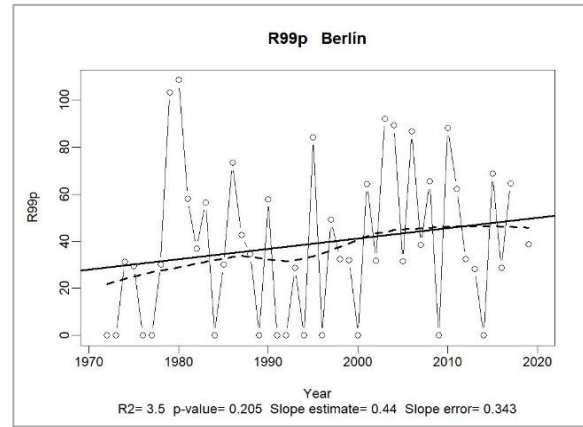
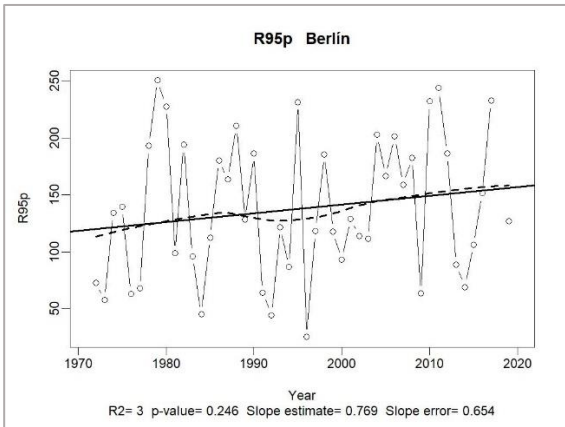
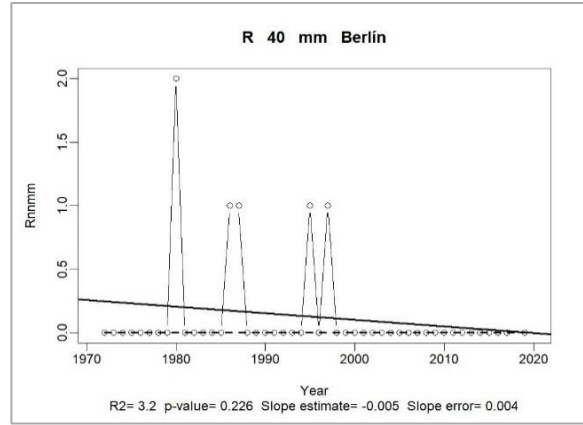
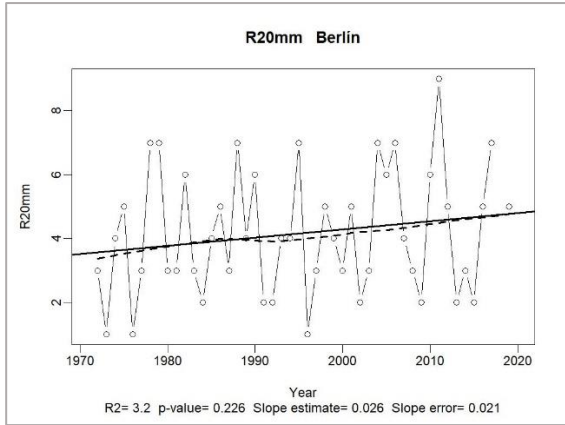
[https://www.wmo.int/pages/prog/wcp/wcdmp/CA\\_3.php](https://www.wmo.int/pages/prog/wcp/wcdmp/CA_3.php)

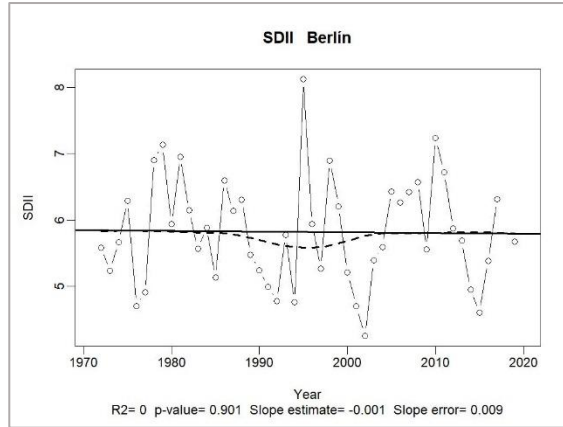
Apéndices

Apéndice A. Gráficas de series anuales de los índices seleccionados, obtenidas con Rclimdex para cada estación.

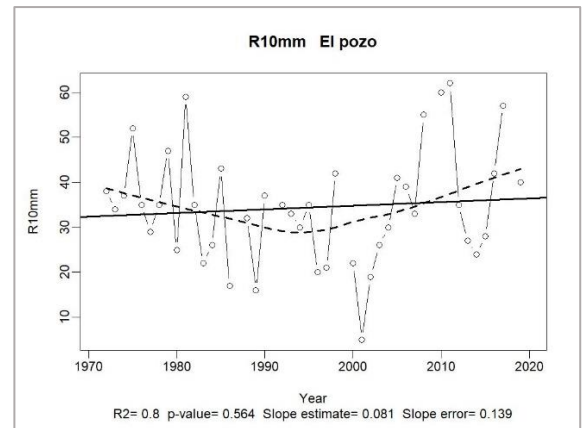
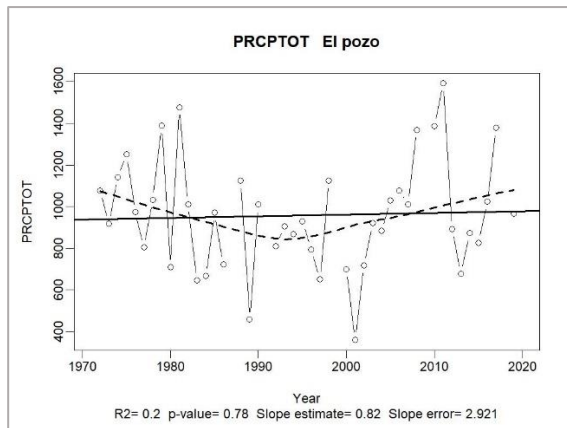
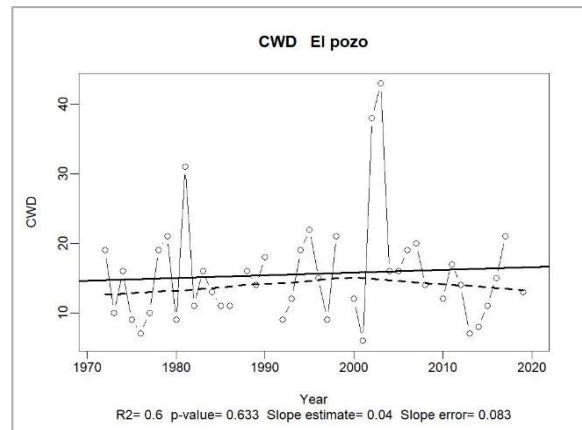
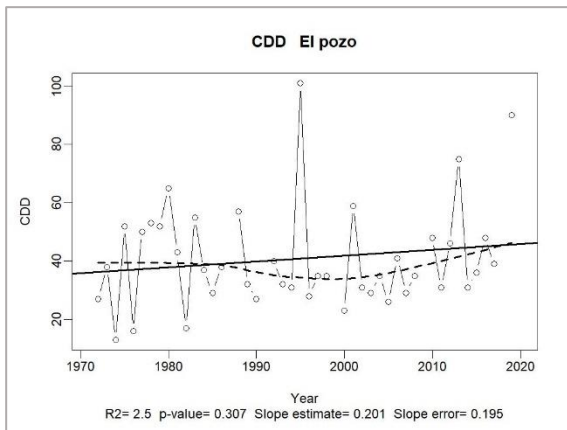
Estación Berlín

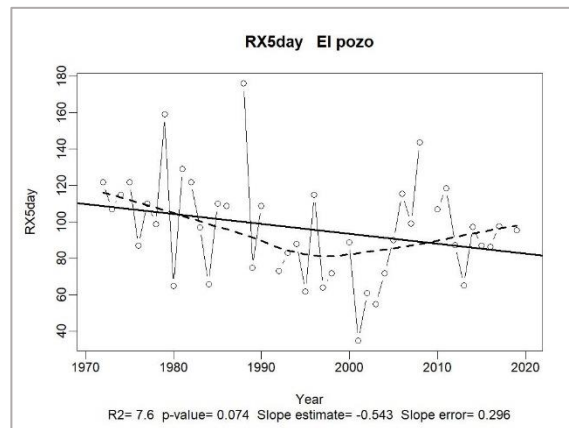
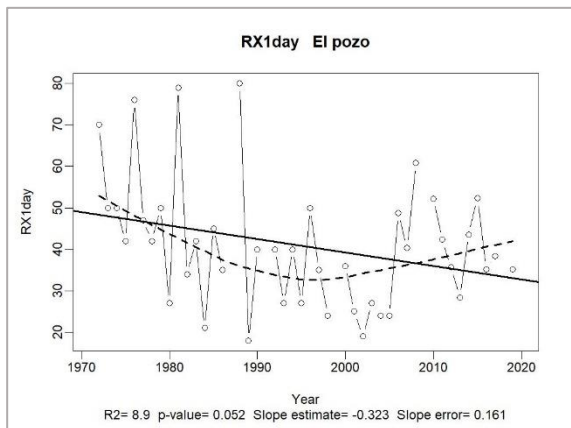
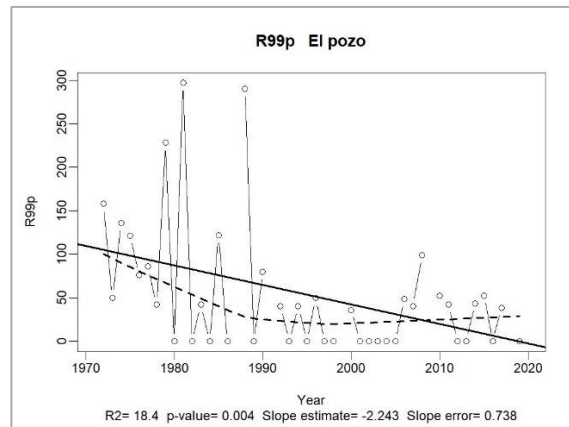
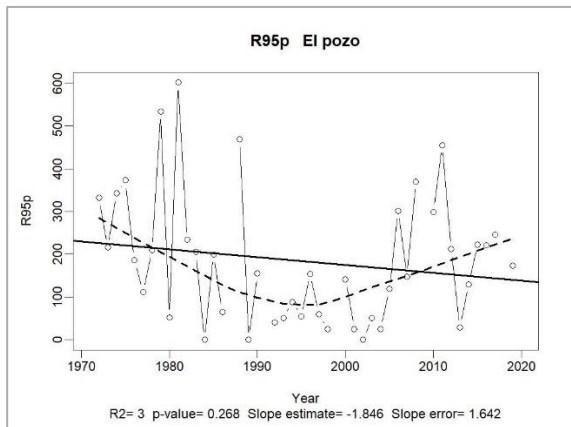
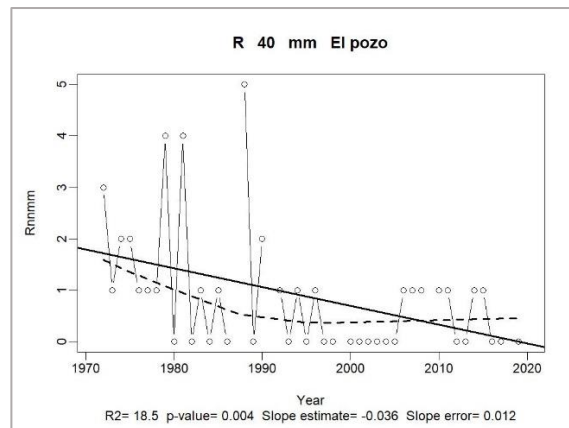
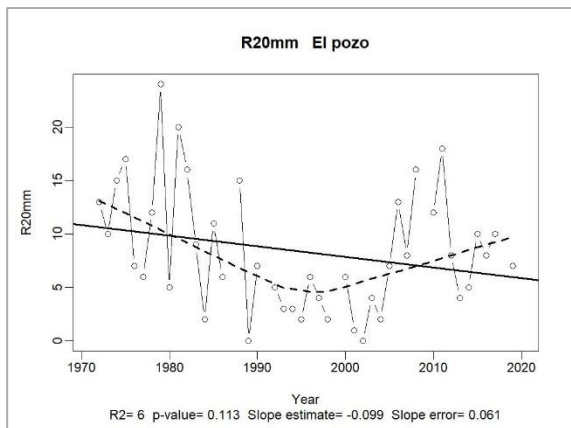


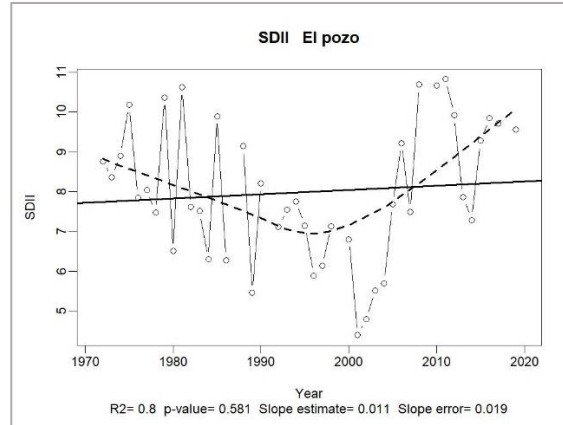




**Estación El pozo**







**Estación El picacho**

