Universidad de La Salle
Ciencia Unisalle

Ingeniería Civil | Facultad de Ingeniería

2017

Evaluación de la precipitación como indicador de la alteración del mesoclima en las zonas de influencia de los embalses Miel I y Porce II

Cristian Bernal Castillo
Universidad de La Salle, Bogotá

Diana Catalina Sandoval Avellaneda
Universidad de La Salle, Bogotá

Follow this and additional works at: https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_civil

Part of the Civil Engineering Commons

Citación recomendada

Bernal Castillo, C., & Sandoval Avellaneda, D. C. (2017). Evaluación de la precipitación como indicador de la alteración del mesoclima en las zonas de influencia de los embalses Miel I y Porce II. Retrieved from https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_civil/115

This Trabajo de grado - Pregrado is brought to you for free and open access by the Facultad de Ingeniería at Ciencia Unisalle. It has been accepted for inclusion in Ingeniería Civil by an authorized administrator of Ciencia Unisalle. For more information, please contact ciencia@lasalle.edu.co.

EVALUACIÓN DE LA PRECIPITACION COMO INDICADOR DE LA ALTERACION DEL MESOCLIMA EN LAS ZONAS DE INFLUENCIA DE LOS EMBALSES MIEL I Y PORCE II

CRISTIAN BERNAL CASTILLO

DIANA CATALINA SANDOVAL AVELLANEDA

UNIVERSIDAD DE LA SALLE

FACULTAD DE INGENIERIA

PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL

BOGOTÁ

2017

EVALUACIÓN DE LA PRECIPITACION COMO INDICADOR DE LA ALTERACION DEL MESOCLIMA EN LAS ZONAS DE INFLUENCIA DE LOS EMBALSES MIEL I Y PORCE II

CRISTIAN BERNAL CASTILLO

DIANA CATALINA SANDOVAL AVELLANEDA

Trabajo de grado para optar al título de Ingeniero Civil

Director

ALEJANDRO FRANCO ROJAS

Ing. Civil

UNIVERSIDAD DE LA SALLE

FACULTAD DE INGENIERIA

PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL

BOGOTÁ

2017

Nota de aceptación

_____ _____

_____ _____

_____ _____

Jurado

_____ _____

Jurado

_____ _____

Director

_____ _____

AGRADECIMIENTOS

A Dios por iluminar mi camino.
A mis padres por el apoyo incondicional en todo este proceso, por ser mis consejeros y amigos en cada etapa de mi vida.
Al Ingeniero Franco Rojas por ser nuestra guía en el desarrollo de esta investigación.

Diana Catalina Sandoval Avellaneda

A mis padres y mis hermanos por estar en cada etapa de mí vida acompañándome y guiándome para lograr ser cada día una mejor persona.

Cristian Bernal Castillo

CONTENIDO

1 INTRODUCCION 16

2 OBJETIVOS 18

2.1 OBJETIVO GENERAL 18

2.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS 18

3 MARCO DE REFERENCIA 19

3.1 ANTECEDENTES 19

3.2 MARCO TEORICO 24

3.2.1 EMBALSES Y CAMBIOS EN EL MESOCLIMA 24

3.2.1.1 Análisis de datos meteorológicos 27

3.2.1.2 Rechazo de datos 27

3.2.1.3 Estimación de datos faltantes 31

3.2.1.4 Correlación de estaciones 31

3.3 MARCO LEGAL 33

4 DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO 37

4.1 EMBALSE MIEL I 37

4.2 EMBALSE PORCE II 38

5 METODOLOGÍA 40

4.1 ETAPA 1: RECOLECCIÓN Y PROCESAMIENTO DE INFORMACIÓN 40

4.2 ETAPA 2: ANALISIS DE DATOS METEREOLOGICOS 44

4.3 ETAPA 3: ESTIMACION DE LA VARIACION DEL MESOCLIMA 44

4.4 ETAPA 4: IDENTIFICACION DEL AREA DE INFLUENCIA 45

4.5 ETAPA 5: VISITAS A CAMPO 45

4.5.1 Formato de encuestas 47

4.5.2. Muestra Poblacional 47

4.5.3. Registro fotográfico 49

5. RESULTADOS 50

5.1 PROCESAMIENTO DE REGISTROS METEOROLÓGICOS 50

5.2 CUANTIFICACIÓN DE LA EXTENSIÓN E INTENSIDAD DE LOS CAMBIOS EN EL MESOCLIMA DE LAS REGIÓNES ALEDAÑAS A LOS EMBALSE MIEL I Y PORCE II 52

5.3 EMBALSE MIEL I 52

5.3.2 Precipitación 52
5.3.3 Delimitación del área con alteración del mesoclima 65
5.3.4 Otras variables climatológicas 65
5.4 Embalse Porce II 69
5.4.3 Delimitación del área con alteración del mesoclima 82
5.4.4 Otras variables climatológicas 83
5.5 PERCEPCIÓN DE LA COMUNIDAD SOBRE ALTERACIÓN DEL MESOCLIMA 92
5.5.1 Embalse Miel I 92
5.5.2 Embalse Porce II 94
6. CONCLUSIONES 97
7. RECOMENDACIONES 99
BIBLIOGRAFIA 100
ANEXOS 102
Anexo 1 102
Anexo 2 103

LISTADO DE TABLAS

Tabla 1. Valores críticos para el test de Grubbs----------30
Tabla 2. Marco Legal ---------- 31
Tabla 3. Estaciones con registro antes y después de la conformación del embalse Miel I.----------38
Tabla 4. Estaciones con registros antes de la conformación del embalse Miel I----------39
Tabla 5. Estaciones con registro antes y después de la conformación del embalse Porce II----------
----------40

Tabla 6. Estaciones con registro antes de la conformacion del embalse Porce II----------40

Tabla 7. Registros faltantes de Precipitación Total Mensual dentro del periodo de análisis. ---------50
Tabla 8. Correlación de estaciones Embalse Porce II----------50

Tabla 9. Correlación de estaciones Embalse Miel I---------- 51

Tabla 10. Valores de precipitación antes y después de la conformación del embalse Miel I52
Tabla 11. Promedio precipitación total anual Embalse Miel I.----------63
Tabla 12. Área embalse Miel I ----------65
Tabla 13. Valores de evaporación antes y después de la conformación del embalse Miel I.65

Tabla 14. Valores de humedad relativa antes y después de la conformación del embalse Miel I. ---67
Tabla 15. Valores de temperatura antes y después de la conformación del embalse Miel I. ----------68
Tabla 16. Valores de precipitación antes y después de la conformación del embalse Porce II.---------
----------69

Tabla 17. Promedio precipitación Total Anual Embalse Porce II. ----------80
Tabla 18. Cálculo de área embalse Porce II.----------82
Tabla 19. Temperatura mínima, media y máxima línea base y año 2011 y 2012. Estación El Mango (°C)----------82

Tabla 20. Humedad relativa mínima, media y máxima línea base y año 2011 y 2012. Estación El Mango. (%)----------**¡Error! Marcador no definido.**
Tabla 21. Evaporación mínima, media y máxima línea base, año 2011 y 2012. Estación El Mango. (mm)----------87
Tabla 22. Cambios en el comportamiento del clima Norcasia - Caldas----------90
Tabla 23. Tiempo a partir del cual se presentaron cambios en el clima Norcasia – Caldas--91

Tabla 24. Opinión acerca de la relación entre el cambio del clima y la construcción del embalse Miel I. ----------92

LISTADO DE MAPAS

Mapa 1. Localización Central Hidroelectrica Miel I…….36
Mapa 2. Región de estudio y localización de las estaciones adquiridas embalse Miel I..... 41
Mapa 3. Región de estudio y localización de las estaciones adquiridas. Embalse Porce II….41
Mapa 4. Isoyetas del periodo anterior a la conformación del embalse Miel I. 57
Mapa 5. Isoyetas del periodo posterior a la conformación del embalse Miel I. ……55
Mapa 6. Deltas de precipitación entre el periodo posterior y el anterior a la conformación del embalse Miel I……...55
Mapa 7. Isoyetas del periodo anterior a la conformación del embalse Porce II. Fuente: Los Autores. 74
Mapa 8. Isoyetas del periodo posterior a la conformación del embalse Porce II…….72
Mapa 9. Deltas de precipitación entre el periodo posterior y el anterior a la conformación del embalse Porce II……....73

LISTADO DE GRAFICAS

Gráfica 1. Ocupación de la muestra poblacional……...46
Gráfica 2. Tiempo en la región de los encuestados. ……46
Gráfica 3. Precipitación promedio mensual estación Norcasia Radio……...53
Gráfica 4. Precipitación media mensual multianual antes y después de la conformación del embalse Miel I. Norcasia Radio. ……...53
Gráfica 5. Cambio de precipitación en la estación Samaná (3520895). ……55
Gráfica 6. Cambio de precipitación en la estación Norcasia Radio (23050250). ……..55
Gráfica 7. Cambio de precipitación en la estación San Felix (26285040)……..56
Gráfica 8. Cambio de precipitación en la estación Cañaveral (23040070)……56
Gráfica 9. Cambio de precipitación en la estación Marquetalia (23050080). ……...…57
Gráfica 10. Cambio de precipitación en la estación San Jose Pensilvan (23050230). ……...57
Gráfica 11. Cambio de precipitación en la estación Idema-Dorada (23040030)……...58
Gráfica 12. Cambio de precipitación en la estación Valle Alto (26180250). ……58
Gráfica 13. Cambio de precipitación en la estación Manzanares (23020080). …….59
Gráfica 14. Cambio de precipitación en la estación Marulanda (23020090). ……...59
Gráfica 15. Evaporación promedio mensual antes y después de la conformación del embalse Miel I, estación Samaná. ……...63
Gráfica 16. Evaporación estación Samaná. ……..64
Gráfica 17. Humedad relativa estación Samaná. ……..65
Gráfica 18. Temperatura estación Samaná. ……..65
Gráfica 19. Precipitación media mensual multianual antes y después de la conformación del embalse Porce II. Estación El Mango. ……...69
Gráfica 20. Precipitación media mensual multianual antes y después de la conformación del embalse Porce II. Estación Gomez Plata. ……..69
Gráfica 21. Cambio de precipitación en la estación El mango (2701514). ……....73

Gráfica 22. Cambio de precipitación en la estación Amalfi (2701525). ……...73
Gráfica 23. Cambio de precipitación en la estación El Silencio (2701102). ……74
Gráfica 24. Cambio de precipitación en la estación Guadalupe (2701032). ……74
Gráfica 25. Cambio de precipitación en la estación Llanos de Cuiba (27020220). ……...75
Gráfica 26. Cambio de precipitación en la estación Gomez Plata (2701060). ……75
Gráfica 27. Cambio de precipitación en la estación Versalles (2310011). ……76
Gráfica 28. Cambio de precipitación en la estación Cajamarca (2701100). ……76
Gráfica 29. Cambio de precipitación en la estación Gabino (2701736). ……...76
Gráfica 30. Variación de temperatura hasta el año 2011. Estación El Mango……83
Gráfica 31. Humedad relativa línea base y año 2012. Estación El Mango…….…….85
Gráfica 32. Variación de humedad relativa hasta el año 2012. Estación El Mango……...86
Gráfica 33. Evaporación línea base y año 2011. Estación El Mango.……...87
Gráfica 34. Variación de evaporación hasta el año 2011. Estación El Mango…….……..88
Gráfica 35. Evaporación línea base y año 2011. Estación El Mango.……....89
Gráfica 36. Consecuencias de la construcción del embalse Miel I …….……...91

GLOSARIO

Área de influencia: Según el decreto 2041 del 2014 se define como el área en la cual se manifiestan de manera objetiva y en lo posible cuantificable, los impactos ambientales significativos ocasionados por la ejecución de un proyecto, obra o actividad, sobre los medios abiótico, biótico y socioeconómico, en cada uno de los componentes de dichos medios. Debido a que las áreas de los impactos pueden variar dependiendo del componente que se analice, el área de influencia podrá corresponder a varios polígonos distintos que se entrecrucen entre sí.

Cambio climático: De acuerdo con la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático (CMNUCC), éste se entiende como un cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante períodos de tiempo comparables. (IDEAM)

Central Hidroeléctrica: Es una instalación que permite aprovechar las masas de agua en movimiento que circulan por los ríos para transformarlas en energía eléctrica, utilizando turbinas acopladas a los alternadores. (ENDESA, Embalses y medio ambiente, 2010)

Ciclo hidrológico: Movimiento general del agua: ascendente por evapotranspiración y descendente por las precipitaciones y después en forma de escorrentía superficial y subterránea, siendo un proceso de transporte re circulatorio. (Roman)

Embalse: Es un depósito de agua que se forma de manera artificial. El embalse permite graduar la cantidad de agua que pasa por las turbinas. Con el embalse puede producirse energía eléctrica durante todo el año aunque el río se seque completamente durante algunos meses. (ENDESA, Embalses y medio ambiente, 2010)

Evaporación: Es el proceso por el cual las moléculas en estado líquido se hacen gaseosas espontáneamente. Es lo opuesto a la condensación. Generalmente, la evaporación puede verse por la desaparición gradual del líquido cuando se expone a un volumen significativo de gas. (Hidrologico, s.f.)

Humedad: Se conoce como la cantidad de vapor de agua contenida en la atmósfera. (Astromia, 2016)

Impactos ambientales: Según el decreto 2820 del 2010, del ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial, es cualquier alteración en el sistema ambiental biótico, abiótico y socioeconómico, que sea adverso o beneficioso, total o parcial, que pueda ser atribuido al desarrollo de un proyecto, obra o actividad.

Mesoclima: Describe el clima de una región, también llamado como clima regional que encierra una área homogénea (Camuffo, 2002) que puede abarcar ciudades, pueblos, incluso países enteros; está definido por los grandes accidentes topográficos, océanos y mares, la altitud y la ubicación geográfica.

Meteorología: Es la ciencia encargada del estudio de la atmósfera, de sus propiedades y de los fenómenos que en ella tienen lugar. El estudio de la atmósfera se basa en el conocimiento de una serie de variables meteorológicas, como la temperatura, la presión atmosférica o la humedad. (Tecnologia, 2004)

Presa: Estructura artificial que, limitando en todo o en parte el contorno de un recinto enclavado en el terreno, esté destinada al almacenamiento de agua dentro del mismo. A efectos de seguridad también se entienden como presas los diques de cierre de las balsas de agua. (agricultura, 2016)

Temperatura: Se puede definir temperatura como el grado de energía térmica medida en una escala definida. La temperatura de un cuerpo es su intensidad de calor, es decir la cantidad de energía que puede ser transferida a otro cuerpo. Es una medida de la energía cinética de las partículas que componen el sistema. (Cortes)

Precipitación: Es el producto de la condensación del vapor de agua atmosférico, éste ocurre cuando la atmósfera se satura con el vapor de agua, el agua se condensa y cae depositándose en la superficie de la tierra. (Perez, 2016)

Precipitación orográfica: Ocurre cuando vientos cálidos y húmedos se encuentran con una barrera montañosa, de forma que el aire es obligado a ascender y se enfría hasta alcanzar la temperatura de saturación y vierte humedad. Al superarse el punto de rocío, el vapor de

agua se condensa en gotitas que, si la temperatura de la nube sigue descendiendo, aumentan de tamaño y caen en la superficie en forma de lluvia. Cuando se supera la barrera montañosa, el aire está más frío y ha perdido gran parte de su humedad, descendiendo a niveles más bajos. De nuevo en contacto con la superficie vuelve a aumentar su temperatura. Si no encuentra una nueva fuente de vapor, su humedad relativa desciende, convirtiéndose en un aire muy seco. Este tipo de aire suele originar zonas desérticas tras las cordilleras, llamándoseles desiertos orográficos o desiertos de sombra de lluvia. (Ambientum.com, s.f.)

Precipitación Convectiva: La precipitación por convección o lluvias convectivas se producen por fuertes corrientes ascendentes de aire húmedo en las llamadas células de convección. El aire se eleva súbitamente en la célula ya que tiene menos densidad que el aire que lo rodea, lo que eleva las burbujas de aire como si fueran globos. El aire al ascender se enfría hasta que su temperatura estará bajo el punto de rocío.

Sistema hidrológico: Es la representación de un sistema de depósitos del agua en un territorio de referencia así como las transferencias (entradas y salidas) entre ellos, o sea se puede representar como un conjunto de ecuaciones que conectan las entradas y las salidas de agua al sistema.

RESUMEN

La construcción de embalses es de importancia en proyectos de generación de energía hidroeléctrica, control de inundaciones, abastecimiento de aguas, distritos de riego, y refrigeración de centrales térmicas, sin embargo es necesario mencionar que la conformación de embalses genera modificaciones antrópicas al paisaje así como también impactos ambientales y socioeconómicos irreversibles, es por esta razón que es necesario estudiar adecuadamente los impactos, con el objetivo de generar medidas de mitigación de los problemas acarreados a la construcción de estos.

En Colombia se han construido 38 embalses de más de un millón de metros cúbicos, con una superficie total alrededor de 11000 ha, de los cuales el 47% se ubican en pisos térmicos templados, el 16% se encuentran en tierras cálidas y el resto en climas fríos, la mayoría para generación de energía. Para el 2014 la hidroelectricidad representaba el 63,9%[1] de la capacidad instalada (UPME, 2015) y adicionalmente se proyectan nuevos embalses. Siendo de gran importancia conocer el funcionamiento ecológico y el impacto ambiental de los embalses con el objetivo de mitigar sus efectos y potenciar los beneficios, este proyecto de investigación pretende identificar y cuantificar a nivel regional, la alteración del mesoclima teniendo como indicador base la alteración del régimen de precipitación a raíz de la construcción de los embalses Miel I y Porce II, ubicados en el departamento de Caldas y en el departamento de Antioquia respectivamente.

Los resultados de esta investigación muestran un aumento en la precipitación anual en la región más próxima a los embalses, donde los eventos lluviosos se hicieron más frecuentes, alcanzando para el embalse Miel I un valor máximo de incremento de precipitación de 24% en el área más próxima al sitio de presa y para el embalse Porce II un incremento de precipitación del 1% coincidiendo también con el área más próxima al sitio de presa.
Palabras claves: Embalse, Mesoclima, Precipitación, Humedad, Cambio climático.

[1] Según el Plan Energético Nacional Colombia: Ideario energético 2050, la capacidad instalada de generación eléctrica en Colombia para el año 2014 era del orden de 16000 MW, de los cuales el 63,9 % corresponde a hidroelectricidad.

ABSTRACT

The construction of reservoirs is important in hydropower generation projects, flood control, water supply, irrigation districts, and cooling of thermal power plants. However, it is necessary to mention that the formation of reservoirs generates anthropic modifications to the landscape as well as Also irreversible environmental and socioeconomic impacts, it is for this reason that it is necessary to study the impacts adequately, with the aim of generating measures to mitigate the problems caused to the construction of these.

In Colombia, 38 reservoirs with more than 1 million cubic meters have been built, with a total area of about 11,000 ha, of which 47% are located on temperate thermal floors, 16% are in warm lands and the rest in Cold climates, most for power generation. By 2014 hydroelectricity represented 63.9% of the installed capacity (UPME, 2015) and additional reservoirs are projected. Being of great importance to know the ecological functioning and the environmental impact of the reservoirs in order to mitigate its effects and enhance the benefits, this research project aims to identify and quantify at the regional level, the alteration of the mesoclima having as base indicator the alteration of the Precipitation regime following the construction of the Miel I and Porce II reservoirs, located in the department of Caldas and in the department of Antioquia respectively.

The results of this research show an increase in annual precipitation in the region closest to the reservoirs, where rainfall events became more frequent, reaching for the Miel I reservoir a maximum value of 24% increase in precipitation in the area Near the dam site and for the Porce II reservoir an increase of precipitation of 1% coinciding also with the area closest to the dam site.

KeyWords: Reservoir, Mesoclimate, Precipitation Humidity, Climate change.

1 INTRODUCCION

Los embalses son un ejemplo de las grandes transformaciones que el hombre hace a la naturaleza, con ellos se crean ecosistemas nuevos y se destruyen o modifican otros con efectos sobre el ambiente. Uno de los impactos ambientales que se presenta con las transformaciones radicales al medio, es el cambio en los patrones naturales de flujo del agua. Sin embargo, adicionalmente la construcción de un embalse genera una gran lamina de agua, lo cual significa una mayor superficie evaporante, que finalmente ocasiona un cambio en el mesoclima. No obstante lo anterior, aunque en Colombia el 63,9% de la capacidad instalada de generación corresponde a hidroelectricidad (UPME, 2015) y se tiene proyectado un incremento de 13630 MW a 34000MW para el año 2030 (CEPAL, 2013), no se tiene un conocimiento de como estos embalses han modificado el mesoclima, limitando las posibilidades de formular en los estudios de impacto ambiental las medidas de compensación y planes de manejo correspondientes.

El Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible Colombiano por medio del Decreto 2041 del 15 de octubre del 2014 reglamenta el Titulo VIII de la Ley 99 de 1993 sobre licencias ambientales, estableciendo en los artículos 8 y 9 los proyectos, obras y actividades que están sujetos a otorgamiento de licencias. Las hidroeléctricas son unos de los proyectos que la requieren, por ende para el desarrollo de estas se debe hacer un estudio de impacto ambiental que siga los términos de referencia estipulados por el Ministerio, siendo la evaluación ambiental, la zonificación de manejo ambiental del proyecto y el plan de manejo ambiental, requisitos obligatorios. Las autoridades ambientales están en el derecho de reclamar por investigaciones y validaciones de los impactos reales que pueden generarse con estos proyectos, ya que hoy en día aún existen muchos vacíos sobres como la interacción de un embalse con el medio puede ocasionar alteraciones sociales y ambientales, por tanto las medidas adoptadas en los planes de manejo ambiental de estos proyectos, podrían no ser compensatorias.

Entre las consecuencias a largo plazo se encuentra, una posible variación del mesoclima, que puede incluir el aumento de la humedad, el aumento de la precipitación y el

amortiguamiento de la oscilación térmica, tal como se registró en el embalse La Esmeralda donde hubo aumento de la precipitación respecto a la condición sin embalse, de hasta un 30% en la media multianual abarcando una extensión de 278.8 km^2, especialmente hacia la cola del embalse, contrastando con las regiones aledañas en donde la tendencia es a la disminución en la precipitación (Álvarez y Avellaneda, 2015).

Este proyecto busca determinar la extensión e intensidad de los cambios en el mesoclima asociados a la conformación de los embalses Miel I y Porce II, utilizando como indicador la variación histórica y espacial de la precipitación según los registros de estaciones del IDEAM (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales), lo anterior con el fin de identificar la necesidad de posibles medidas de mitigacion de problemas asociados a la construccion de embalses.

Se utilizaron los registros de precipitación previos y posteriores a la conformación de los embalses, 12 estaciones para Miel I y 12 estaciones para Porce II. Adicionalmente se utilizó 1 estación climatológica para valorar posibles cambios en la temperatura, humedad relativa y evaporación en inmediaciones al embalse Miel I.

Como resultado se construyeron mapas de isoyetas de precipitación media multianual antes y después de la conformación del embalse, y mapas de delta de precipitación, este último utilizado como insumo para delimitar el área de influencia del cambio en el mesoclima, obteniendo como resultado un incremento de la precipitacion de 1,76% posterior al embalse Porce II y para el caso de Miel I un incremento maximo del 24% en esta misma variable.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

Determinar la alteración del mesoclima en las zonas aledañas a los embalses MIEL I y PORCE II, a partir de la variación histórica y espacial de la precipitación presentada por los registros de estaciones del IDEAM y grupo EPM.

2.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Analizar las condiciones físicas de la región y los parámetros meteorológicos registrados por las estaciones del IDEAM y del grupo EPM próximas a los embalses MIEL I y PORCE II, con una extensión mínima de registros de 10 años previos (1990-2001 y 1986-2000 respectivamente) al llenado de estos embalses, para la formulación de una línea base.
- Evaluar la variación histórica y espacial en el mesoclima a partir del análisis de los datos de precipitación registrados por las estaciones del IDEAM y grupo EPM en un período mínimo de 10 años posteriores (2002-2015 y 2001-2013) al llenado de los embalses MIEL I y PORCE II.
- Definir el área de influencia en la cual se presenta variación del mesoclima posterior al llenado de los embalses, estableciendo la extensión e intensidad del impacto evaluado.
- Establecer un análisis de los cambios en el mesoclima obtenidos entre los embalses MIEL I y PORCE II.
- Realizar visitas de campo al área de influencia, con el fin de obtener información por parte de la población directamente afectada por el embalse Miel I y Porce II.

3 MARCO DE REFERENCIA

3.1 ANTECEDENTES

Investigadores han basado sus estudios en determinar la influencia de la formación de lagos superficiales y los impactos positivos y negativos que traen al medio ambiente. Respecto a este tema los autores colombianos María Avellaneda y Ricardo Álvarez en su investigación de proyecto de grado basado en la identificación de impactos en el sector agrícola y en la energía disponible de central hidroeléctrica AES Chivor, asociados a la variación en el mesoclima producto de la formación antrópica de la lámina de agua del embalse La Esmeralda buscaron determinar los cambios en el mesoclima que se originaron a raíz de la formación antrópica de la lámina de agua del Embalse La Esmeralda e identificar cuáles fueron los impactos que esto produjo sobre el sector agrícola de los municipios colindantes al mismo embalse y sobre la producción de energía en la central hidroeléctrica AES Chivor. Los resultados indican que se presentaron cambios significativos en la precipitación en la región al norte del embalse, donde los eventos lluviosos se hicieron más frecuentes, incrementando el promedio de precipitación total anual hasta en un 30%, además la humedad aumentó y la temperatura media disminuyó por lo que la evaporación potencial se redujo. (Álvarez & Avellaneda, 2015)

Previamente el ingeniero Carlos Arturo Bustamante trató los efectos ambientales generados por la construcción y operación de un embalse donde se revisó el estado de conocimiento y se sistematizó información básica sobre las estructuras que conforman los embalses y los efectos ambientales potenciales debido a la construcción y operación de los mismos. Se partió de una revisión general de bibliografía sobre embalses a nivel mundial y de revisión más específica de lo hecho en el país; el propósito fue ubicar el problema dentro del contexto más amplio, con el fin de dar a conocer los impactos de los embalses que deben manejarse o controlarse para lograr un desarrollo sustentable en el uso de los recursos naturales y en la relación con los asentamientos humanos. Se concluyó que es un fenómeno común que se produzca degradación ambiental durante la construcción y operación de una presa, que es visto desde el deterioro de la calidad del agua y aumento de

las tasas de sedimentación del reservorio, hasta problemas de carácter social. (Bustamante, 2008)

El ingeniero Johannys ShirlleysVidal Daza en el año 2009 realizó una investigación sobre estudios de impacto ambiental para proyectos de embalse de agua donde se realizó una evaluación acerca de los impactos asociados con algunos de los embalses construidos y operados en diferentes regiones, para poder así generar conclusiones útiles en la determinación básica de este tipo de problemas, que permita ilustrar los efectos negativos del proyecto desde la concepción del mismo hasta las etapas que constituyen su totalidad. Para esto se aplicaron modelos y procedimientos para la evaluación de impactos ambientales en embalses ya construidos, en proceso y por construir, igualmente se realizó una valoración ambiental de las zonas de actuación de proyectos de embalses existentes que incluyó en el análisis los aspectos de situación geográfica, clima, geología, edafología, riesgos naturales, vegetación, fauna, espacios naturales y paisaje; incluyó también el punto de vista socioeconómico: demografía, actividad económica y patrimonio cultural. Se presentó una información integrada de los impactos sobre el medio ambiente, que una vez introducida en un modelo numérico de valoración, permitió determinar un índice de impacto. Entre otras, una de las conclusiones a las que se llegó con esta investigación es que las consecuencias de la construcción de un solo embalse traen la exterminación de numerosas especies de animales y cualquier medida que se adopte para extraer muestras de cada especie y luego pensar en una repoblación para mitigar el impacto, jamás va a compensar las innumerables pérdidas y las escenas en las que esos animales se desesperan por tratar de mantenerse con vida. (Vidal, 2009)

Por otra parte Leila Limberger y Sandra Elisa Contri Pitton, autoras de la publicación "Mudanças climáticas globais e alterações climáticas: a participação dos grandes reservatórios de usinas hidrelétricas", tuvieron como objetivo difundir información acerca del estado actual del clima a nivel mundial y además de una discusión sobre el cambio climático pretendieron comprender la participación de las acciones humanas locales sobre los diferentes cambios del paisaje que modifican el clima local y como la interconexión de estos afecta el clima global. Para realizar esta investigación se basaron en

zonas afectadas por embalses con centrales hidroeléctricas. Se realizó la comparación entre dos estaciones con una distancia entre sí de 75 kilómetros, allí se analizaron datos de temperatura media, máxima y mínima así como también precipitación y humedad relativa. Se observó un aumento en los índices de temperatura media y una disminución en el volumen de precipitación registrado cada año. Se pudo concluir que las acciones humanas cambian los diferentes climas del mundo, inicialmente en escalas locales pero también logran interferir en escalas regionales y globales. (Limberger L. &., 2008)

En Brasil a lo largo de las décadas se ha presentado un gran interés en la evaluación del cambio climático producido por la construcción de embalses con el fin de ser utilizados como parte de centrales hidroeléctricas, es por esto que Marcos Barros de Souza y Emerson Galvani basaron su investigación Formação de reservatórios e influências no microclima: estudo da cidade de presidente epitácio, estado de Sao Paulo, Brasil, en la verificacion de posibles cambios en el microclima de la ciudad de Epitacio situada en el estado de Sao Paulo, debido a la construcción de un embalse artificial para la planta hidroeléctrica del ingeniero Sérgio Motta (Porto Primavera), utilizando los registros de temperatura del aire y la humedad relativa en una margen de transepto del depósito al medio rural circundante. Los objetivos específicos fueron evaluar un perfil longitudinal de la temperatura del aire y la humedad relativa del aire procedente de las orillas de la presa; y comprobar la variación de la temperatura del aire y la humedad relativa en la región central del área de estudio, en diferentes épocas del año (primavera, verano, otoño e invierno).

Se desarrollaron una serie de pruebas estadísticas sobre un conjunto de elementos climáticos a lo largo de la central hidroeléctrica de Itaipú análizando dos períodos diferentes (antes y después de la formación de la presa) con el objetivo de informar si hubo un cambio en los elementos del tiempo en función de formación de la profundidad del agua. Los resultados mostraron un aumento en la temperatura mínima y la disminución de la temperatura máxima en el mes de agosto. El golpe de calor no ha sufrido cambios significativos, asi como tampoco la precipitación mensual y la precipitación maxima, sin embargo, se produjo un cambio en la evaporación.. (Barros de Souza & Galvani, 2010)

En el trabajo de Carpio acerca del análisis de los estudios de impacto ambiental del complejo hidroeléctrico del río Madera hidrología y sedimentos, se muestra un considerable avance con respecto a los estudios de factibilidad. El estudio evidencia la gran importancia de los sedimentos en la evaluación de los niveles de agua, vida útil, impactos ambientales e incluso costo de la energía generada. Allí se concluye que la construcción de una represa provoca la elevación de los niveles de agua con respecto a los niveles naturales. Esa sobreelevación no se limita al área próxima a la represa. Además, los esquemas y figuras que acompañan a muchos proyectos inducen a creer que el nivel de agua en el embalse se mantiene horizontal, lo que no es real. Además de crear el embalse e inundar temporal o permanentemente áreas próximas al río, la elevación de niveles tiene múltiples efectos e impactos sobre el medio físico y biológico. (Carpio, 2005)

En el trabajo de Retamal acerca de la identificación y análisis de los impactos generados en el area de influencia directa del embalse Puntilla del Viento en el valle de Aconcagua, donde se quiso identificar los impactos potenciales que se generarían en el territorio como efecto de la presencia del embalse Puntilla del Viento, en su área directa del embalse a partir de la descripción del área de estudios con las principales carcaterísticas y unidades de los componentes ambientales del área de influencia del embalse, igualmente se elaboraron mapas con los impactos potenciales en el área de influencia directa a través de la superposición de cartografía. La metodología utilizada estuvo basada en cinco fases: descripción del embalse, visitas a terreno, producción de material fotográfico, observación y analisis del sector, descripción y analisis de las variables ambientales, identificación de impactos que generaría la presencia del embalse Puntilla del Viento en el área de influencia directa y por último el uso de métodos de sobreposición de mapas. Se concluyó que la construcción del embalse generará más impactos negativos que positivos en el área de influencia directa, ya que la mayoría de los impactos positivos sólo tienen una duración temporal, no así los impactos negativos, los cuales quedarán incluso después de terminada la vida útil de la presa. Sin embargo, se podrían realizar las gestiones territoriales necesarias para generar un impacto positivo, puesto que el sector tendría un potencial turístico. (Retamal, 2011)

En Colombia Juan Guillermo Aguirre (1995) estudiante de la Universidad Nacional de Medellin, en su tesis de grado realizo un estudio del efecto en el mircroclima generado por la construccion del embalse el Peñon. Usando datos correspondientes a los valores mensuales de la precipitacion, humedad y temperatura en el periodo 1958-1992 de la estacion Santa Rita, la cual estaba cerca al embalse el Peñon que inicio su operación en 1970, se concluyó que la precipitacion aumentaba de 4900 mm a 6000 mm por la conformacion del embalse, es decir, el embalse genero un aumento en la preipitación de la zona aproximadamente del 22%, respecto de los valores registrados antes de la construcción; asi mismo comparando el periodo anterior y posterios al embalse se podia observar una disminucion en la humedad relativa, que no necesariamente estaba asociada con la construcción del embalse; finalmente, la temperatura fue el unico parametro que no presento un cambio en la media multianual.

Estudios anteriores ya han involucrado a la poblacion para demostrar la alteración de clima producidos por la costrucción de un embalse, un ejemplo claro es la investigación realizada por Leila Limberger, la cual tenía como objetivo demostrar como la población lindera al lago Itaipu percibia las caracteristicas climaticas de esta región; tuvieron en cuenta que la percepcion ambiental es un proceso cognitivo, pues las personas procesan la información del medio a traves de sus particularidades biologicas, historicas y culturales, por esta razon la investigación la dirigieron hacia los campesinos que tenian entre 20 y 30 años de residencia en la región. La metodologia consistió en la realización de encuestas en las cuales en la primera etapa evaluaban si la persona observaba el clima, y como habia sido esa observacion a lo largo de los años y en una segunda etapa preguntaban directamente por la influencia del lago Itaipu. En la primera etapa se demostró que la mayoria de personas habian notado una alteracion a traves del tiempo, en su mayoria la observacion fue el aumento de temperatura, el aumento de la humedad relativa y la disminucion de la precipitación, ademas de otras observaciones como disminución en la frecuencia de formación de heladas, mayor velocidad del viento, mayor frecuencia del viento. En la segunda etapa, la investigación afirma que una minoria de las personas entrevistadas respondieron que el lago no es responsable de la alteración del clima, la

mayoria respondieron que los cambios mencionados en la primera etapa era atribuidos a la construcción del lago. (Limberger L. , 2012)

Se llego a la conclusion que la construccion del lago Itaipu si trajo consecuencias en la variacion del clima y que estos cambios fueron evidenciados por los habitantes de las zonas mas proximas los cuales tenian un amplio conocimiento sobre el clima en la región.

3.2 MARCO TEORICO

3.2.1 EMBALSES Y CAMBIOS EN EL MESOCLIMA

Dado el carácter modelador del clima que posee el agua, pueden verse afectadas las condiciones climatológicas locales e incluso regionales, razón por la cual los impactos originados por el embalsamiento deben ser analizados considerando la respuesta del ecosistema principalmente durante la fase de operación. El embalse actúa como un gran regulador térmico y humidificador, en el que la evaporación es muy alta por lo que suele hacer una mayor incidencia de nubosidad y nieblas, las temperaturas extremas se suavizan y aumenta la exposición a los vientos, además de las alteraciones de tipo paisajístico, geomorfológico y ecológico, que suceden a la desaparición de la vegetación riparia original.

El área de influencia de una represa se extiende desde los límites superiores del reservorio hasta los esteros y las zonas costaneras y costa afuera, e incluyen el reservorio, la represa y la cuenca del río, aguas abajo de la represa. Hay impactos ambientales directos asociados con la construcción de la represa, pero los impactos más importantes son el resultado del embalse del agua, la inundación de la tierra para formar el reservorio, y la alteración del caudal líquido y sólido hacia aguas abajo. Estos efectos ejercen impactos directos en los suelos, la vegetación, la fauna y las tierras silvestres, la pesca, el clima y la población humana del área. Los efectos indirectos de la represa incluyen los que se asocian con la construcción, el mantenimiento y el funcionamiento de la presa y el desarrollo de las actividades agrícolas, industriales o municipales que posibilita la represa.

Los principales factores ambientales que afectan el funcionamiento y la vida de la represa son aquellos que se relacionan con el uso de la tierra, el agua y los otros recursos en las áreas de captación aguas arriba del reservorio que pueden causar una mayor acumulación de limos, y cambios en la cantidad y calidad del agua del reservorio y del río.

La composición de las aguas en cuanto a características físico-químicas y biológicas en los embalses y lagos, no es homogénea, de forma que en el cuerpo de agua de los embalses se produce un flujo térmico, en uno u otro sentido, que se invierte en modificar la temperatura de la masa de agua además de almacenarse en forma de energía química. Como consecuencia de la radiación solar se produce un calentamiento de la masa de agua durante el día y un enfriamiento durante la noche. Así, las masas de agua de los embalses estarán sometidas a unas ganancias netas de calor durante el verano y unas pérdidas netas en invierno. (ENDESA, Embalses y medio ambiente, 2010)

Estudios han demostrado que los cambios en las características del suelo, tales como el albedo, la rugosidad superficial, las características de la vegetación, y las propiedades del suelo, tienen una importante influencia en la caracterización del sistema climático, en parámetros como la temperatura, evapotranspiración, precipitación y presión atmosférica (Xiangzheng Deng, 2013), además se ha comprobado que estos cambios en las variables climáticas, ocasionados por la lámina de agua formada en un embalse, son cuantificables y se relacionan en forma lógica cuando se analizan en conjunto. Entre los cambios que ocasiona el embalse pueden considerarse la reducción en la frecuencia de heladas y el aumento de la nubosidad, la humedad, la temperatura promedio anual y la precipitación. Estos cambios están interrelacionados entre sí por la inercia térmica que es introducida por la masa de agua, la cual modifica el balance energético en su conjunto, base de toda la dinámica atmosférica.

La configuración del relieve y la altura del terreno modifican significativamente las condiciones climáticas de un territorio respecto a su entorno más inmediato y esto tiene repercusiones en el resto del medio natural, tales como la disponibilidad de agua y la presencia de unas determinadas comunidades vegetales y animales adaptadas a las condiciones del medio (temperatura y pluviometría). Así, una zona rodeada de montañas se

caracteriza por tener unas temperaturas elevadas y una precipitación exigua, lo que no facilita la presencia de importantes masas boscosas. Por el contrario, el hecho de encontrarse en una zona deprimida genera importantes episodios de inversión térmica en invierno, con períodos largos de estabilidad atmosférica que propicia la aparición de nieblas con una baja o nula dispersión de los contaminantes atmosféricos que se puedan emitir. (Saladié, 2012)

En el caso del viento, cerca de la superficie la velocidad del viento se incrementa rápidamente después de la salida del Sol, alcanzando su máximo al mediodía y disminuye sensiblemente durante la noche. Este incremento en la velocidad del viento se debe a un aumento de la inestabilidad atmosférica. A mayor altura la velocidad del viento se incrementa como consecuencia de la disminución de la rugosidad.

Otra de las razones por la cual se puede concluir que la construcción de un embalse genera un cambio en el clima, se basó en una investigación realizada por la facultad de ingeniería de la Universidad Nacional de Colombia donde se evaluó la emisión de gases de invernadero del embalse Calima. Según lo mencionado en la investigación "Cuantificación de gases de invernadero generados en represa y embalses tropicales: Caso Calima", todos los sistemas producen emisiones de forma natural. Los bosques sin intervenir se consideran autorreguladores, es decir emiten y capturan el carbono. Sin embargo, "cuando el bosque es inundado para construir un embalse, cambia la dinámica del ecosistema y pasa de procesos aeróbicos, donde había suficiente presencia de oxígeno, a anaeróbicos (con deficiencia de aire)". Cuando hay una inundación del bosque, este sufre una transformación de la materia orgánica a la que se le añade la carga de sedimentos que traen los afluentes. Además, disminuye el oxígeno y aumentan los gases de efecto invernadero. Esta investigación permito concluir que para reducir las emisiones es necesario mejorar las condiciones de los afluentes, por ejemplo, disminuir la deforestación en las zonas aledañas a las represas, ya que toda la materia orgánica terminará en el embalse y disminuirá la presencia de oxígeno. Es entonces esta una razón más para poder determinar que los embalses efectivamente generan un cambio importante en el clima. (Loaiza, 2016)

3.2.1.1 Análisis de datos meteorológicos

Para determinar cambios en el mesoclima es necesario realizar análisis meteorológicos que permitan trazar una línea base y sumado a esto análisis estadísticos que permitan rescatar la mayor cantidad de datos confiables de las estaciones. Cuando se trabaja con registros hidrológicos, es común que existan algunos errores en estos ya sea por falta de datos o por datos atípicos, es por esto que antes de realizar cualquier estudio estadístico o matemático se debe analizar la consistencia y homogeneidad y en caso que sea necesario se eliminan los datos erróneos o completan los faltantes.

Realizar un adecuado análisis estadístico de datos requiere su previa validación, teniendo en cuenta que estos deben tener el mismo origen y deben ser de la misma naturaleza y además de esto se debe contar con un registro de datos suficiente para realizar cualquier tipo de análisis.

3.2.1.2 Rechazo de datos

La homogeneización consiste en la detección de valores discordantes para luego completar esos vacíos con alguna metodología para completar datos. La detección de valores atípicos ha sido ampliamente investigada y tiene considerable uso en una extensa variedad de dominios como lo es la predicción meteorológica, además existen diversas técnicas para la detección de valores atípicos.

El método de análisis intercuartilico considera que el 50% de los datos se encuentran inmersos entre el primer y el tercer cuartil, y son poco sensibles a la presencia de datos marcadamente separados del resto. Según el método pueden considerarse como datos dudosos, aquellos que sobrepasen los límites interiores y sobre todo aquellos que sobrepasen los límites superiores descritos a continuación.

Los límites inferiores y superiores están dados por las siguientes ecuaciones:

$$f_1 = q_1 - 1{,}5_{iqr}$$
$$f_2 = q_3 + 1{,}5_{iqr}$$

$$F_1 = q_1 - 3_{iqr}$$

$$F_2 = q_1 + 3_{iqr}$$

$$iqr = q_3 - q_1$$

Dónde:

$f_{1,2}$: Límites inferiores

$F_{1,2}$: Límites superiores

$q_{1,3}$: Primer y tercer cuartil

iqr : Recorrido intercuartilico

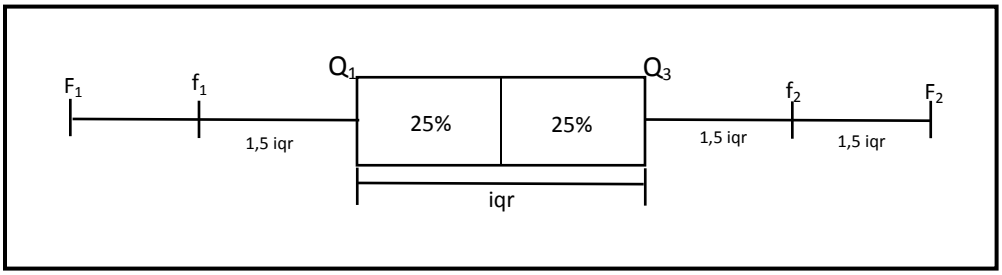


Figura 1. Método análisis intercuartilico

El método de Grubbs fue planteado por Frank E. Grubbs desde el año 1969 también es conocido como el método ESD (Extreme Studentized Deviated). La prueba de Grubbs se utiliza para detectar valores |atípicos en un conjunto de datos univariante y se basa en el supuesto de normalidad. Primero debe verificarse que sus datos pueden aproximarse razonablemente a una distribución normal antes de aplicar la prueba. Es especialmente fácil de seguir y sirve para detectar un valor atípico a la vez.

Para aplicar la prueba es importante tener claros los conceptos de valor crítico y nivel de significancia. El procedimiento de la prueba de Grubbs es el siguiente:

Paso 1: Ordenar los datos ascendentemente X1< X2<X3< XR

Paso 2: decidir si X1 o Xn es un valor sospechoso.

Paso 3: calcular el promedio Ẋ y la desviación estándar S del conjunto de datos.

Paso 4: Se calcula T si se considera sospechoso el primer valor o el último valor.

Si Xn es sospechoso:

$$T = \frac{X_1 - X}{S}$$

Paso 5: Escoger el nivel de confianza para la prueba y calcular T y compararlo con el valor correspondiente de acuerdo con una tabla de valores críticos, (Ver tabla 1).

Si el valor de T es mayor que el valor crítico, se dice que el dato es un valor extremo.

Tabla 1. Valores críticos para el test de Grubbs

P	Uno más grande o uno más pequeño		Dos más grandes o dos más pequeños	
	Superior a 1%	Superior a 5%	Inferior a 1%	Inferior a 5%
3	1,155	1,155	-------	--------
4	1,49	1,481	0,0000	0,0002
5	1,764	1,715	0,0018	0,0090
6	1,973	1,887	0,0116	0,0349
7	2,139	2,02	0,0308	0,0708
8	2,274	2,126	0,0563	0,1101
9	2,387	2,215	0,0851	0,1492
10	2,482	2,29	0,1150	0,1864
11	2,564	2,355	0,1448	0,2213
12	2,636	2,412	0,1738	0,2537
13	2,699	2,462	0,2016	0,2836
14	2,755	2,507	0,2260	0,3112
15	2,806	2,549	0,2530	0,3367
16	2,852	2,585	0,2767	0,3603
17	2,894	2,62	0,2990	0,3822
18	2,932	2,651	0,3200	0,4025
19	2,968	2,681	0,3398	0,4214
20	3,001	2,709	0,3585	0,4391
21	3,031	2,733	0,3761	0,4556
22	3,06	2,758	0,3927	0,4711
23	3,087	2,781	0,4085	0,4857
24	0,112	2,802	0,4234	0,4994
25	3,135	2,822	0,4376	0,5123
26	3,157	2,841	0,4510	0,5245
27	3,178	2,859	0,4638	0,5360
28	3,199	2,876	0,4759	0,5470
29	3,218	2,893	0,4875	0,5574
30	3,236	2,908	0,4985	0,5672
31	3,253	2,924	0,5091	0,5766
32	3,27	2,938	0,5192	0,5856
33	3,286	2,952	0,5288	0,5941
34	3,301	2,965	0,5381	0,6023
35	3,315	2,979	0,5469	0,6101
36	3,33	2,991	0,5554	0,6175
37	3,343	3,003	0,5636	0,6247
38	3,356	3,014	0,5714	0,6316
39	3,369	3,025	0,5789	0,6382
40	3,381	3,036	0,5862	0,6445

Fuente: (SEQC, 2007)

3.2.1.3 Estimación de datos faltantes

Una vez se realiza la homogeneización de datos, es necesario completar los vacíos de información en los meses o años que sean necesarios. Este proceso se puede realizar por diversas metodologías, en este caso, se utilizará la metodología de Razón de Valores.

Cuando se desconoce el valor de la precipitación de un determinado mes o año en una estación, pero se conoce el valor registrado este mismo mes o año en algunas otras estaciones que por sus características fisiográficas y climatológicas se consideran como representativas de la primera, pueden estimarse dichas cantidades en función de los valores medios mensuales o anuales mediante la Razón de Valores, que plantea la siguiente relación:

$$P_x = \frac{1}{n}\left(+\frac{N_x}{N_A} * P_A + \frac{N_x}{N_B} * P_B + \frac{N_x}{N_c} * P_c\right)$$

Donde n es igual al número de estaciones de referencia.

N_X es el valor medio del mes o año en la estación con el dato faltante

$\boldsymbol{P}_X$ es el valor de precipitación a estimar en el mes o año en análisis

$N_A, N_B \ldots N_i$es el valor medio del mes o año en las estaciones vecinas que si registran el dato faltante

$\boldsymbol{P}_A, \boldsymbol{P} \ldots \boldsymbol{P}_i$es el valor de precipitación registrado en el mes o año analizado en las estaciones vecinas que si registran el dato faltante

Fácilmente se puede apreciar que el valor de la precipitación faltante (P_X), es estimado como la media aritmética de los valores registrados en las estaciones A, B, C (P_A, P_B, P_C) corregidos por el factor N_X/N_A,N_X/N_B y N_X/N_C respectivamente donde N se refiere al valor medio del mes o año faltante y los subíndices corresponden a las estaciones en mención.

3.2.1.4 Correlación de estaciones

Para determinar que estaciones pueden ser representativas unas de otras, se tienen en cuenta dos criterios esenciales: la proximidad entre las estaciones aledañas y la similitud en el régimen de las estaciones o en la serie de registros de precipitación.

Por tanto, se realiza un compilado donde se identifican las estaciones más próximas, y se desarrolla una regresión lineal (Matriz de correlación), que permite determinar el coeficiente de correlación que existe entre las estaciones.

La Matriz de correlación se utiliza cuando se tiene muchas variables y no se conoce cuál de ellas se puede expresar en términos de las demás; es decir cual puede actuar como variable dependiente. La matriz está constituida por los coeficientes de correlación de cada pareja de datos de precipitación; de manera que tendrá unos (1) en su diagonal principal y en los elementos no diagonales (i,j) los correspondientes coeficientes de correlación r_{ij}.

Los elementos de la matriz de correlación se determinan con la expresión:

$$r_{ij} = \frac{\sum_{i=1}^{n}\left(f_{ik} - \overline{f_i}\right)\cdot\left(f_{jk} - \overline{f}_j\right)}{\left(\sum_{i=1}^{n}\left(f_{ik} - \overline{f_i}\right)^2\right)^{1/2}\cdot\left(\sum_{i=1}^{n}\left(f_{jk} - \overline{f_j}\right)^2\right)^{1/2}}$$

Dónde:

rij = Correlación entre los valores de las estaciones i y j.

$\frac{f_{ik}}{f_j}$= Valor del parámetro del periodo k de la estación i / Valor promedio del parámetro en la estación i.

Estos coeficientes pueden evaluarse a partir de la siguiente clasificación, que establece la calidad de la información:

1) Perfecta r = 1
2) Excelente 0,9 < = r < 1
3) Buena 0,8 < = r < 0,9
4) Regular 0,5 < = r < 0,8
5) Mala r < 0,5 (Martínez, 1978)

Una vez determinados los coeficientes de correlación se comparan con los análisis de cercanía de las estaciones y se determinan las estaciones que mejor se complementan unas a otras.

3.3 MARCO LEGAL

Las normas, leyes, decretos y demás información legal se encuentran en la siguiente tabla.

Tabla 2. Marco legal. Fuente: Los Autores

Norma	Descripción	Relación con el proyecto
Constitución Política de Colombia de 1991 Artículo 79 (Nacional, 2016)	"Es deber del Estado proteger la diversidad e integridad del ambiente, conservar las áreas de especial importancia ecológica y fomentar la educación para el logro de estos."	Concierne a los derechos colectivos y del ambiente. En el artículo 79 se decreta el derecho de las personas a gozar de un ambiente sano y se garantiza la participación de la comunidad en las decisiones que puedan afectarlo; En al artículo 82 se expone el deber del estado de velar por la protección de la integridad del espacio público y por su destinación al uso común, el cual prevalece sobre el interés particular.
Código Nacional de los Recursos Naturales Decreto-Ley 2811 de 1974	"El ambiente es patrimonio común. El Estado y los particulares deben participar en su preservación y manejo, que son de utilidad pública	El artículo 1 legaliza que el ambiente es patrimonio común, por eso uno de los objetos del código es lograr la preservación y restauración

Norma	Descripción	Relación con el proyecto
Artículo 1 (Michelsen, 2016)	e interés social. La preservación y manejo de los recursos naturales renovables también son de utilidad pública e interés social.”	del ambiente y la conservación, mejoramiento y utilización, racional de los recursos naturales renovables, según criterios de equidad que aseguran el desarrollo armónico del hombre y de dichos recursos, la disponibilidad permanente de estos y la máxima participación social para beneficio de la salud y el bienestar de los presentes y futuros habitantes del territorio nacional.
Decreto 2041 del 2014 Artículo 3 (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible MADS, 2014)	“El uso aprovechamiento y/o afectación de los recursos naturales renovables, deberán ser claramente identificados en el respectivo estudio de impacto ambiental.”	En el artículo 3 se estipula que dentro de la licencia ambiental esta que el beneficiario esta sujeto al cumplimiento de los requisitos, términos, condiciones y obligaciones que la misma establezca en relación con la prevención, mitigación, corrección, compensación y manejo de los efectos ambientales del proyecto, obra o actividad

Norma	Descripción	Relación con el proyecto
		autorizada. El estudio tiene por objeto identificar factores que se creen que son de gran importancia estudiar previamente a la ejecución de grandes proyectos como la construcción de un embalse.
Decreto 2041 del 2014 Artículo 8 MADS, 2014)	"Los interesados en los proyectos, obras o actividades de construcción de presas, represas o embalses deberán solicitar pronunciamiento a la autoridad ambiental competente sobre la necesidad de presentar el Diagnóstico Ambiental de Alternativas (DAA)"	En el artículo 8 del decreto se estipula que proyectos obras o actividades dentro del sector eléctrico deben solicitar licencia ambiental al ANLA y en el artículo 9 los que deben ser solicitados a las corporaciones autónomas regionales. Se desarrolla el presente estudio con el fin de determinar factores importantes que se creen indispensables en los parámetros de un Diagnóstico Ambiental de Alternativas sobre los proyectos de embalses.

Norma	Descripción	Relación con el proyecto
Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible Decreto 1076 de 2015 Título 3. Aguas no Marítimas (Sostenible, 2015)	"Instrumentos para la planificación, ordenación y manejo de las cuencas hidrográficas y acuíferos.	Se dan lineamientos para la formulación de Planes de Ordenación y Manejo de las Cuencas –POMCA- que han sido intervenidas al interior de la macrocuenca, sus Planes de Manejo Ambiental – PMA- y las concesiones que se deben adquirir.
Ley 388 de 1997 ("LEY 388 DE 1997," 2016)	Planes de Ordenamiento Territorial-Municipal POT	Planes de Ordenamiento Territorial-Municipal POT

Fuente. Los Autores

4 DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

4.1 EMBALSE MIEL I

Este Proyecto Hidroeléctrico está localizado en el municipio de Norcasia, oriente del departamento de Caldas. Cuenta con una presa, de concreto compactado con rodillo, la cual tiene una altura de 188m, es de tipo gravedad, con rebosadero. Está situada sobre el río La Miel, aguas abajo de la desembocadura del río Moro. Forma el embalse Amaní de 1220 ha y con una capacidad de almacenamiento de 571Mm^3. La corona de la presa tiene 340 m de longitud, corresponde a la cota 454 m.s.n.m. y el nivel máximo normal del embalse está a la cota 445,5 m.s.n.m. La presa tiene un volumen de 1,73 Mm^3. Cuenta con un área inundada 1220 ha con una generación de energía anual de 1460 Gwh. Inicio operaciones comerciales en diciembre del año 2002. Actualmente esta operado por la empresa ISAGEN S.A.

Se complementa de tres unidades de generación impulsadas por turbinas tipo Francis de eje vertical, las cuales generan una potencia nominal de 132 MW cada una, dos transformadores trifásicos de 150 MVA, incluyendo una unidad de reserva, un pozo de compuertas con sección circular de 9,80 m de diámetro y 67 m de profundidad, un pozo de carga con sección circular de 7,55 m de diámetro y 119,20 m de profundidad, dos túneles de descarga de fondo: Longitud 350 m, sección rectangular con bóveda semicircular de 4,50 m. El caudal promedio diseñado sin trasvases es de 84,3m^3/s y el caudal que llega al embalse con la creciente máxima probable es de 12800m^3/s.

Norcasia se encuentra a 45 Km del municipio de La Dorada y dista de tres importantes ciudades del país (Medellín, Bogotá y Manizales) entre 174 y 180Km, en promedio, por vía terrestre. La cercanía con La Dorada le facilita el acceso al río Magdalena. (Ver Mapa 1).

Mapa 1. Localización Central Hidroeléctrica Miel I

Fuente. ISAGEN S.A

4.2 EMBALSE PORCE II

La central hidroeléctrica Porce II, "Juan Guillermo Penagos Estrada", se encuentra ubicada al Noroeste del departamento de Antioquia, en jurisdicción de los municipios de Gómez Plata, Yolombo y Amalfi, a una distancia aproximada de 120 kilómetros de la ciudad de Medellín, por la carretera que de esta ciudad conduce a las poblaciones de Amalfi y Anorí. La principal fuente de alimentación del embalse es el río Porce, el cual nace con el nombre de río Medellín en el alto de San Miguel, al sur de la ciudad de Medellín.

La central hidroeléctrica Porce II se compone de un embalse con una capacidad total de 225,16 millones de metros cúbicos (embalse útil de 95,26 millones de metros cúbicos), el cual inunda un área de 890 hectáreas. El caudal afluente al embalse es de 113,6 m^3/s y la potencia total es de 405 Mw.

La cuenca del Río Porce es una de las más importantes a nivel nacional, allí se genera cerca del 16% de la energía eléctrica para Colombia, además es una subzona

hidrográfica prioritaria por su riqueza ambiental, social y económica por la ubicación de sus embalses generadores de energía hidroeléctrica y abastecimiento a su población; a su vez se encuentra gran diversidad agrícola, y producción pecuaria, además posee los tres municipios con mayor índice de densidad industrial de Colombia, solo por mencionar algunas de sus grandes características como región (WWF Colombia, 2013).

Posee además una casa subterránea de máquinas con tres generadores sincrónicos de 142 MW, con turbinas tipo Francis de eje vertical y una subestación a 230 kV con tres campos de generación y tres campos de transmisión.

5 METODOLOGÍA

4.1 ETAPA 1: RECOLECCIÓN Y PROCESAMIENTO DE INFORMACIÓN

Inicialmente se solicitó al Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) información de precipitación media mensual de 12 estaciones meteorológicas que cuentan con registro de por lo menos 10 años previos y 10 años posteriores al llenado del embalse Miel I y 3 estaciones adicionales que cuentan únicamente con registro de años anteriores al llenado del embalse. (Ver tabla 3 y 4)

Todas estas estaciones se encuentran ubicadas en zonas aledañas al embalse Miel I, lo que quiere decir que se encuentran dentro de la cuenca hidrográfica. (Ver mapa 2)

Tabla 3. Estaciones con registro antes y después de la conformación del embalse Miel I.

ESTACIONES CON REGISTRO ANTES Y DESPUÉS DE LA CONFORMACIÓN DEL EMBALSE MIEL I			
CODIGO	**NOMBRE**	**AÑO DE INSTALACIÓN**	**AÑO DE ULTIMO REGISTRO**
23050250	Norcasia Radio	1979	2015
23055040	Samaná	1974	2015
26185040	San Félix	1970	2014
26180250	Valle Alto	1994	2016
23040070	Cañaveral	1974	2015
23020100	Victoria La	1974	2015
23050230	San José Pensilvan	1974	2015
23040030	Idema Dorada	1964	2015
23050080	Marquetalia	1963	2015
26180260	Miranda La	1999	2016
23020080	Manzanares	1970	2014
23020090	Marulanda	1974	2016

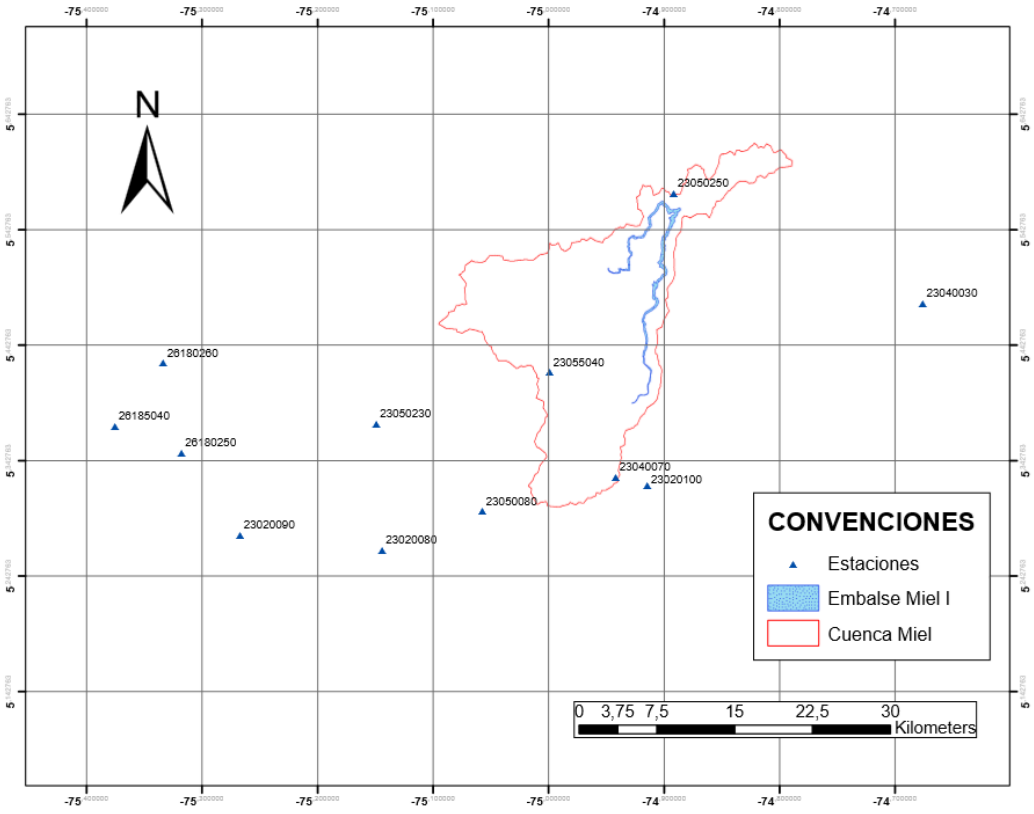
Fuente. Los Autores

Tabla 4. Estaciones con registro antes de la conformación del embalse Miel I.

ESTACIONES CON REGISTRO ANTES DE LA CONFORMACIÓN DEL EMBALSE MIEL I			
CODIGO	**NOMBRE**	**AÑO DE INSTALACION**	**AÑO DE ULTIMO REGISTRO**
27025010	Montefrio	1970	1973
27015200	Normandía HDA	1981	1988
23055080	Florencia	1977	1988

Fuente. Los Autores.

Mapa 2. Región de estudio y localización de las estaciones adquiridas embalse Miel I. Fuente: Los Autores



Fuente. Los Autores.

Por otra parte se solicitó a la Empresa Pública de Medellín E.S.P (EPM) información de precipitación media mensual de 12 estaciones meteorológicas que cuentan con registro de por lo menos 10 años previos y 10 años posteriores al llenado del embalse

Porce II y 1 estación adicional que cuenta con registro únicamente de años anteriores al llenado del embalse. (Ver tabla 5 y 6)

Todas estas estaciones se encuentran ubicadas en zonas aledañas al embalse Porce II, lo que quiere decir que se encuentras dentro de la cuenca hidrográfica. (Ver mapa 3)

Tabla 5. Estaciones con registro antes y después de la conformación del embalse Porce II.

ESTACIONES CON REGISTRO ANTES Y DESPUÉS DE LA CONFORMACIÓN DEL EMBALSE PORCE II			
CODIGO	**NOMBRE**	**AÑO DE INSTALACIÓN**	**AÑO DE ULTIMO REGISTRO**
2701501	El Roble	1974	2011
2701514	El Mango	1980	2014
2701518	Troneras	1970	2014
2701525	Amalfi	1980	2014
2310011	Versalles	1974	2013
2701100	Cajamarca	1980	2014
2701032	Guadalupe Bocatoma	1970	2014
2701070	Haiton	1974	2014
2701102	El Silencio	1980	2014
2701736	Gabino	1980	2014
2701060	Gomez Plata	1970	2014
2702022	Llanos de Cuiba	1970	2014

Fuente. Los Autores.

Tabla 6. Estaciones con registro antes de la conformación del embalse Porce II.

ESTACIONES CON REGISTRO ANTES DE LA CONFORMACIÓN DEL EMBALSE PORCE II			
CÓDIGO	**NOMBRE**	**AÑO DE INSTALACIÓN**	**AÑO DE ULTIMO REGISTRO**
2701103	Mina La Viborita	1974	1988

Fuente. Los Autores.

Mapa 3. Región de estudio y localización de las estaciones adquiridas. Embalse Porce II

Junto con la información de las estaciones pluviográficas se adquirió en el IDEAM, información de temperatura, humedad relativa y evaporación de dos estaciones (Samaná y San Félix) cercanas al embalse Miel I ya que estas contaban con información de 10 años previos y posteriores al llenado de este embalse y además de esto teniendo en cuenta que son cercanas y se encuentran dentro de la cuenca hidrográfica. En el caso del embalse Porce

II, ni el IDEAM ni EPM disponen de estaciones cercanas que contaran con información de temperatura, humedad relativa y evaporación, por lo tanto no fue posible tener esta información.

4.2 ETAPA 2: ANALISIS DE DATOS METEREOLOGICOS

Se realizó un estudio de la correlación de los datos de las estaciones evaluando la proximidad entre las estaciones y la similitud en la serie de registros de precipitación. Para ello se conformó una matriz por cada embalse donde se evaluaban todas las estaciones.

Una vez hallados los coeficientes de correlación se agruparon las estaciones que tenían coeficientes similares y además estaban próximas unas a otras, encontrando entonces las estaciones compatibles entre sí. A partir del análisis anterior se completaron los datos faltantes de precipitación entre las estaciones pluviométricas compatibles, por medio del método "razón de valores normales".

4.3 ETAPA 3: ESTIMACION DE LA VARIACION DEL MESOCLIMA

En esta etapa se calculó la precipitación total anual, la media multianual y la media mensual multianual para cada una de las estaciones que presentan información tanto antes como después de la conformación del embalse Miel I y Porce II y posteriormente se estimó la variación porcentual de estos datos respecto a la condición previa a la conformación del embalse.

A continuación, fue calculado el promedio multianual y mensual multianual de las variables meteorológicas (temperatura, humedad relativa y evaporación) antes y después de la conformación del embalse en la estación 23055040 - Samaná para el embalse Miel I; En el caso del embalse Porce II se revisó el expediente LAM 3823 en la Autoridad Nacional de Legislación Ambiental (ANLA) donde se encontraba información de todo el proceso de estudio del proyecto hasta los monitores y seguimientos finales, allí se encontró análisis acerca de la variación de temperatura, humedad relativa y evaporación de los años 2011 y 2012 en la estación el Mango, de esta manera fueron analizadas estas variables meteorológicas.

Estos cálculos fueron utilizados para la elaboración de gráficas que exponen la variación mensual multianual y total anual de la variable precipitación y de graficas que exponen la variación mensual multianual de las variables: temperatura, humedad relativa y evaporación.

Para determinar la distribución espacial de los cambios, se empezó por elaborar mapas de Isoyetas con las medias multianuales antes y después de la conformación de los embalses Miel I y Porce II por medio del software ArcGis en conjunto con un análisis meteorológico y climatológico. Una vez desarrollados los mapas de isoyetas se realizaron los mapas de deltas teniendo en cuenta la información extraída de los mapas anteriormente mencionados y los porcentajes de variación de las estaciones completas.

4.4 ETAPA 4: IDENTIFICACION DEL AREA DE INFLUENCIA

A partir de los mapas de isoyetas de las medias multianuales antes y después de la conformación de los embalses Miel I y Porce II y de los mapas de deltas, se delimito el área de influencia del cambio en el mesoclima.

4.5 ETAPA 5: VISITAS A CAMPO

El 31 de marzo de 2017 se desarrolló una visita al área de influencia del embalse Miel I, específicamente al municipio de Norcasia, en cuanto es la región que evidenció mayor alteración en el régimen de precipitación.

Durante la visita se realizó un recorrido por el embalse y se aplicaron 32 encuestas a habitantes de la región que pudieran aportar referencias sobre las alteraciones en el mesoclima, sus posibles causas asociadas, así como consecuencia o impactos derivados.

La encuesta incluyó datos generales de identificación, validación del encuestado según: el tiempo en la región, actividad socioeconómica y edad, siendo preferible personas nativas o con más de 40 años en la región dedicados a actividades agrícolas. Igualmente se indagó sobre la observación de cambios históricos en el clima, sus causas y consecuencias.

La encuestas solo fueron aplicadas a las comunidades debido a que estas son las directamente afectadas en cuanto a un posible cambio en el mesoclima gracias a la

construcción del embalses Miel I, alrededor del 70% de las personas encuestadas se ubicaban en zonas rurales y como se muestra en la gráfica 2 el 34,4% se dedicaba a actividades agrícolas es decir tenían un influencia directa del embalse y por esta razón nos permitían tener una información más veraz respecto a los datos que deseábamos obtener.

Las encuestas se realizaron de forma aleatoria, un día viernes aproximadamente a las 9:00 am en la plazoleta central del pueblo cuando los habitantes salían de eucaristía, esto nos permitió acceder con más facilidad a personas de mayor edad las cuales eran nuestro principal objetivo. Además de esto, recurrimos a los carros camperos que traían campesinos al pueblo a ofrecer sus productos agrícolas, estas personas nos dieron información clara sobre el cambio en sus cultivos a raíz de la construcción del embalse Miel I.

En el embalse Porce II no fue posible realizar la encuesta debido a que las autoridades municipales nos informaron que en el área de influencia más cercana al embalse es decir el municipio de Amalfi y sus respectivas veredas tenían problemas de orden público por todo el proceso de diálogos y ordenamiento de las FARC y al tener nosotros condición de estudiantes no era aconsejable realizar la visita.

Sin embargo, aunque el municipio de Amalfi es el más cercano al embalse Porce II, existe una gran distancia entre ellos, lo cual suponemos que dificultaría que en el caso de un entrevista, la población de este municipio relacione los cambios en el clima con la construcción del embalse, esto también con base a 6 llamadas telefónicas realizadas a la alcaldía municipal de Amalfi donde se realizó una encuesta básica (Ver Anexo 2) pero no fue posible obtener la información solicitada debido a que estas personas al estar ubicadas en las cabeceras municipales no tenían conocimiento alguno sobre impactos en temas relacionados con agricultura y otros parámetros que nos permitían llegar a concluir si efectivamente había existido a cambios a nivel de mesoclima o si por el contrario no se presentó ninguno, esto concuerda con la investigación realizada por Leila Limberger en el año 2012 donde se obtuvo información únicamente de la población rural.

Todo esto nos obligó a realizar investigaciones en entidades como el Ministerio de Agricultura y la Agencia Nacional de Legislación Ambiental (ANLA), con el objetivo de encontrar información sobre los cambios registrados respecto a la variación del mesoclima

y también sobre los usos del suelo y sus respectivas características. La información encontrada allí fue registrada desde el momento en el que se planteó el proyecto hasta la actualidad, lo que nos permitió tener una información veraz y completa acerca de los mismos temas para los cuales se realizaron las encuestas mencionadas anteriormente.

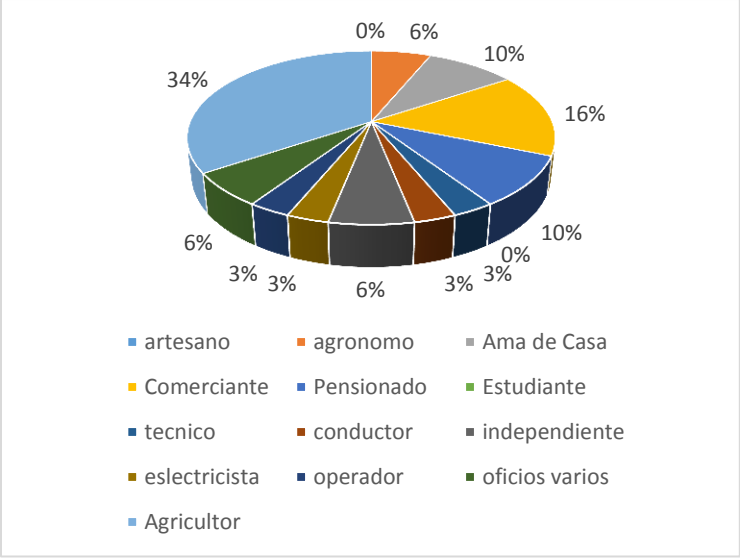
4.5.1 Formato de encuestas

En el Anexo 1 se presenta el formato de encuesta que se realizó personalmente a los habitantes del municipio de Norcasia- Caldas, respecto a lo relacionado con el embalse Miel I.

En el Anexo 2 se presenta el formato de encuesta realizado de forma telefónica a algunos trabajadores de la alcaldía del municipio de Amalfi, respecto a lo relacionado con el embalse Porce II.

4.5.2. Muestra Poblacional

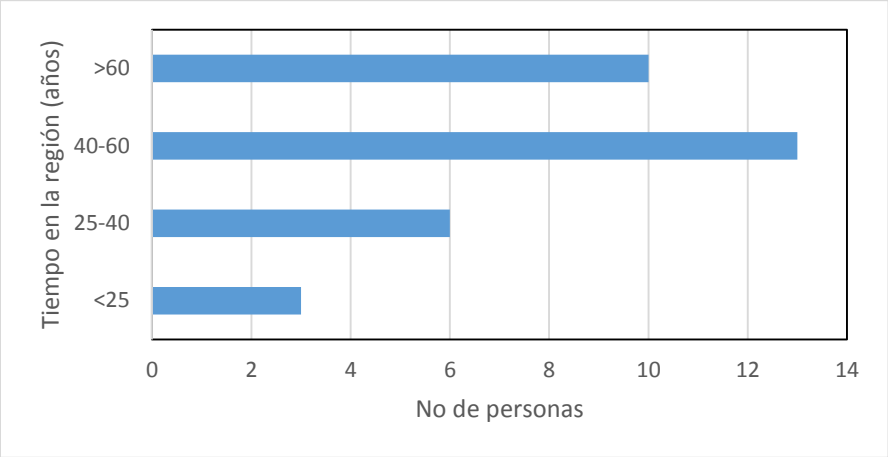
Se aplicó la encuesta a 32 habitantes de Norcasia – Caldas, con una edad mínima de 34 años y máxima de 96 años.



Gráfica 37. Ocupación de la muestra poblacional. Fuente: Los Autores

Se pudo observar que el 34,4% de la muestra poblacional tiene como ocupación la agricultura, lo cual incide positivamente en la observación del clima. A continuación se evidencia las diferentes actividades a las que se dedican los encuestados:

Además de esto se pudo identificar que 23 de los 32 encuestados llevan más de 40 años en la región lo que representa un 68,8%. Lo anterior sumado a la labor agrícola de la mayor parte de la muestra es indicador de la calidad de la información suministrada, en cuanto han sido testigos del comportamiento del clima antes y después del proyecto. (Ver gráfica 2)



Gráfica 38. Tiempo en la región de los encuestados. Fuente: Los Autores

4.5.3. Registro fotográfico

A continuación, se presenta el registro fotográfico de la visita realizada al municipio de Norcasia – Caldas así como también al embalse Miel I.

Foto 1. Breve descripción

Foto 2. Embalse Miel I

Foto 3. Sitio de presa embalse Miel I

Foto 4. Aplicación de las encuestas

Foto 5. Habitantes de Norcasia – Caldas

5. RESULTADOS

5.1 PROCESAMIENTO DE REGISTROS METEOROLÓGICOS

En primer lugar se seleccionó un periodo de análisis correspondiente a 25 años para el embalse Miel I y 29 años para el embalse Porce II.

Las estaciones seleccionadas dentro de la ventana de tiempo descrita tienen un porcentaje de datos faltantes inferior al 8,5%, excepto en la estación Valle Alto que tiene un 27% de datos faltantes, condición aceptable para el análisis hidrológico a escala regional. (Ver tabla 7).

Tabla 7. Registros faltantes de Precipitación Total Mensual dentro del periodo de análisis.

Periodo de análisis: 1990-2015				Periodo de análisis: 1986-2013			
Embalse Miel I				**Embalse Porce II**			
Nombre	**Código**	**No meses faltantes**	**% faltantes en período común**	**Nombre**	**Código**	**No meses faltantes**	**% faltantes en período común**
Norcasia Radio	23050250	24	7,69	El Roble	2701501	0	0
Samana	23055040	2	0,64	El Mango	2701514	1	0,30
San Felix	26185040	1	0,33	Troneras	2701518	1	0,30
Valle Alto	26180250	72	27,2	Amalfi	2701525	8	2,38
Cañaveral	23040070	20	6,41	Versalles	2310011	17	5,06
Victoria La	23020100	5	1,60	Cajamarca	2701100	5	1,49
San Jose Pensilvan	23050230	9	2,88	Guadalupe	2701032	3	0,89
Idema - Dorada	23040030	14	4,49	Haiton	2701070	0	0
Marquetalia	23050080	10	3,21	El Silencio	2701102	5	1,49
Miranda La	26180260	12	8,33	Gabino	2701736	1	0,30
Manzanares	23020080	1	0,33	Gomez Plata	2701060	0	0
Marulanda	23020090	2	0,64	Llanos de Cuiba	2702022	13	3,87

Fuente. Los Autores

La matriz de correlación permitió identificar para cada caso las tres estaciones con mayor similitud, estas son utilizadas tanto para la identificación de datos atípicos como para el llenado de datos faltantes. En las tablas 8 y 9 se resaltan las estaciones con mayor correlación.

Tabla 8. Correlación de estaciones Embalse Porce II

	El roble	*El mango*	*Troneras*	*Amalfi*	*Versalles*	*Cajamarca*	*Guadalupe*	*Haiton*	*El silencio*	*Gabino*	*Gomez Plata*	*Llanos de Cuiba*
El roble	1	0,81	0,79	0,77	0,75	0,80	0,80	0,78	0,80	0,76	0,78	0,75
El mango	0,81	1	0,78	0,76	0,78	0,83	0,82	0,82	0,78	0,78	0,82	0,53
Troneras	0,79	0,78	1	0,66	0,72	0,68	0,88	0,79	0,71	0,75	0,82	0,49
Amalfi	0,77	0,76	0,66	1	0,71	0,75	0,71	0,72	0,84	0,67	0,70	0,45
Versalles	0,75	0,78	0,72	0,71	1	0,74	0,75	0,77	0,70	0,72	0,76	0,53
Cajamarca	0,80	0,83	0,68	0,75	0,74	1	0,73	0,75	0,76	0,73	0,75	0,51
Guadalupe	0,80	0,82	0,88	0,71	0,75	0,73	1	0,81	0,75	0,75	0,82	0,45
Haiton	0,78	0,82	0,79	0,72	0,77	0,75	0,81	1	0,77	0,89	0,85	0,50
El silencio	0,80	0,78	0,71	0,84	0,70	0,76	0,75	0,77	1	0,73	0,72	0,47
Gabino	0,76	0,78	0,75	0,67	0,72	0,73	0,75	0,89	0,73	1	0,80	0,51
Gomez Plata	0,78	0,82	0,82	0,70	0,76	0,75	0,82	0,85	0,72	0,80	1	0,58
Llanos de Cuiba	0,54	0,53	0,49	0,45	0,53	0,51	0,45	0,50	0,47	0,51	0,58	1

Fuente. Los Autores

Tabla 9. Correlación de estaciones Embalse Miel I

	Norcasia Radio	*Samana*	*San Felix*	*Valle Alto*	*Cañaveral*	*Victoria La*	*San Jose Pensilvan*	*Idema-Dorada*	*Marquetalia*	*Miranda La*	*Manzanares*	*Marulanda*
Norcasia Radio	1	0,63	0,63	0,53	0,68	0,68	0,60	0,64	0,54	0,63	0,63	0,44
Samana	0,63	1	0,61	0,46	0,83	0,72	0,55	0,47	0,66	0,45	0,70	0,24
San Felix	0,63	0,61	1	0,74	0,65	0,63	0,67	0,64	0,58	0,72	0,75	0,52
Valle Alto	0,53	0,46	0,74	1	0,52	0,48	0,59	0,58	0,49	0,57	0,64	0,57
Cañaveral	0,68	0,83	0,65	0,52	1	0,87	0,59	0,57	0,66	0,51	0,73	0,34
Victoria La	0,68	0,72	0,63	0,48	0,87	1	0,56	0,60	0,58	0,52	0,68	0,34
San Jose Pensilvan	0,60	0,55	0,67	0,59	0,59	0,56	1	0,57	0,71	0,71	0,82	0,68
Idema-Dorada	0,64	0,47	0,64	0,58	0,57	0,60	0,57	1	0,48	0,69	0,60	0,50
Marquetalia	0,54	0,66	0,58	0,49	0,66	0,58	0,71	0,48	1	0,60	0,76	0,45
Miranda La	0,63	0,45	0,72	0,57	0,51	0,52	0,71	0,69	0,60	1	0,69	0,71
Manzanares	0,63	0,70	0,75	0,64	0,73	0,68	0,82	0,60	0,76	0,69	1	0,57
Marulanda	0,44	0,24	0,52	0,57	0,34	0,34	0,68	0,50	0,45	0,71	0,57	1

Fuente. Los Autores

Se complementaron los datos faltantes, tanto aquellos que originalmente no fueron reportados por IDEAM y EPM, como aquellos descartados al aplicar el método intercuartilico.

5.2 CUANTIFICACIÓN DE LA EXTENSIÓN E INTENSIDAD DE LOS CAMBIOS EN EL MESOCLIMA DE LAS REGIÓNES ALEDAÑAS A LOS EMBALSE MIEL I Y PORCE II

Cuando hablamos de mesoclima la cantidad de variables que lo pueden afectar son innumerables. Diferentes factores pueden influir en los regímenes climáticos, por eso es importante hacer un correcto análisis de los datos y esclarecer las posibles influencias de otros factores ajenos a lo que se desea estudiar, en este caso en particular la conformación de los Embalses Miel I y Porce II.

Este capítulo comprende un análisis de la precipitación promedio anual, como indicador de la alteración del mesoclima e involucrando los resultados obtenidos de los datos previamente mencionados sobre las otras variables meteorológicas (temperatura, humedad relativa y evaporación) que se relacionan directamente con el comportamiento de la precipitación, en miras de esclarecer el verdadero efecto sobre las zonas de influencia de los embalses.

5.3 EMBALSE MIEL I

5.3.2 Precipitación

Esta región está ubicada en el nororiente del Departamento de Caldas, limita al norte con el Departamento de Antioquia, al oriente con los municipios de La Dorada y Victoria, y al occidente, sur y suroriente con el municipio de Samaná. El clima es tropical con una humedad relativamente alta. La precipitación es significativa, con precipitaciones incluso durante el mes más seco.

Los valores promedio de precipitación antes y después de la conformación del embalse Miel I se muestran en la tabla 10 donde adicionalmente se evidencia la variación entre estos.

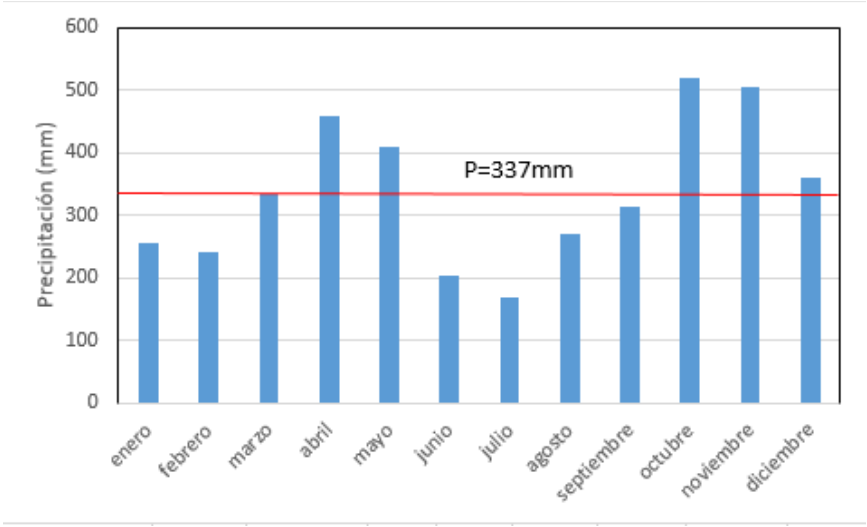
Tabla 10. Valores precipitación antes y después de la conformación del embalse Miel I.

RESUMEN DE LOS VALORES DE PRECIPITACION ANTES Y DESPUES DE LA CONFORMACIÓN DEL EMBALSE													
		Enero	**Febrero**	**Marzo**	**Abril**	**Mayo**	**Junio**	**Julio**	**Agosto**	**Septiembre**	**Octubre**	**Noviembre**	**Diciembre**
Norcasia Radio	**PROM. ANTES**	207,2	247,4	280,9	410,2	335,3	174,0	167,8	212,6	313,7	444,7	447,3	325,8
	PROM. DESPUÉS	298,8	234,6	381,0	499,8	474,1	231,8	171,7	319,2	311,9	585,8	553,6	387,4
	VARIACIÓN	44,2	-5,2	35,6	21,8	41,4	33,3	2,4	50,2	-0,6	31,7	23,8	18,9
Samana	**PROM. ANTES**	560,8	508,3	628,5	650,8	616,3	325,4	271,8	291,1	496,9	682,4	865,6	845,3
	PROM. DESPUÉS	728,6	548,2	621,5	657,3	694,7	361,3	250,6	307,9	527,3	815,4	942,9	973,7
	VARIACIÓN	29,9	7,9	-1,1	1,0	12,7	11,0	-7,8	5,8	6,1	19,5	8,9	15,2
San Felix	**PROM. ANTES**	80,4	95,4	134,0	167,9	142,4	76,0	63,0	68,3	138,8	197,5	203,2	114,8
	PROM. DESPUÉS	88,7	86,8	144,4	210,3	179,4	97,9	69,6	70,9	112,5	253,1	240,5	145,4
	VARIACIÓN	10,2	-9,0	7,8	25,2	25,9	28,8	10,4	3,9	-18,9	28,2	18,4	26,7
Valle Alto	**PROM. ANTES**	55,8	89,5	130,5	147,1	178,1	86,6	79,7	81,6	139,4	184,6	206,6	97,3
	PROM. DESPUÉS	71,5	78,0	138,5	157,1	171,7	85,6	73,5	93,1	85,3	197,2	189,2	111,5
	VARIACIÓN	28,3	-12,8	6,1	6,8	-3,6	-1,2	-7,8	14,0	-38,8	6,8	-8,4	14,6
Cañaveral	**PROM. ANTES**	299,3	321,6	383,6	445,5	472,7	164,4	140,8	241,4	374,7	467,4	642,7	546,4
	PROM. DESPUÉS	416,4	326,7	417,3	428,6	409,3	212,9	136,9	214,1	278,4	607,2	722,2	554,1
	VARIACIÓN	39,1	1,6	8,8	-3,8	-13,4	29,5	-2,8	-11,3	-25,7	29,9	12,4	1,4
Victoria La	**PROM. ANTES**	191,9	239,8	295,8	355,5	330,3	154,5	132,6	200,8	308,4	417,5	527,9	402,7
	PROM. DESPUÉS	307,7	219,9	344,0	363,1	354,7	174,9	121,1	199,1	238,3	569,3	589,4	400,9
	VARIACIÓN	60,4	-8,3	16,3	2,1	7,4	13,2	-8,7	-0,9	-22,7	36,4	11,6	-0,4
San Jose Pensilvan	**PROM. ANTES**	138,4	229,5	318,7	320,1	318,5	164,4	163,1	153,4	296,0	311,9	266,6	209,4
	PROM. DESPUÉS	205,5	236,8	338,7	374,4	353,1	213,1	149,4	191,7	250,3	360,4	320,0	226,0
	VARIACIÓN	48,5	3,2	6,3	17,0	10,9	29,6	-8,4	25,0	-15,5	15,5	20,0	7,9
Idema - Dorada	**PROM. ANTES**	101,6	119,3	161,6	226,6	250,5	113,2	94,4	108,1	168,8	275,9	224,8	172,0
	PROM. DESPUÉS	87,9	84,9	184,6	248,7	246,8	117,1	93,5	139,1	145,7	253,2	285,7	159,1
	VARIACIÓN	-13,5	-28,8	14,2	9,8	-1,5	3,5	-0,9	28,6	-13,7	-8,2	27,1	-7,5
Marquetalia	**PROM. ANTES**	231,2	283,0	320,3	303,9	333,7	155,0	134,5	140,5	263,2	282,2	314,0	258,7

	PROM. DESPUÉS	264,3	288,9	329,8	338,8	328,8	201,8	148,1	183,3	253,2	355,8	332,2	293,5
	VARIACIÓN	14,3	2,1	3,0	11,5	-1,5	30,2	10,1	30,4	-3,8	26,1	5,8	13,4
Miranda La	**PROM. ANTES**	72,0	139,4	145,1	203,8	202,7	99,4	99,8	101,3	133,3	207,2	174,9	111,3
	PROM. DESPUÉS	87,2	131,4	149,2	214,9	200,8	114,8	88,0	107,2	122,8	264,4	196,2	114,7
	VARIACIÓN	21,0	-5,8	2,8	5,4	-0,9	15,4	-11,8	5,8	-7,9	27,6	12,2	3,0
Manzanares	**PROM. ANTES**	170,4	254,4	328,2	332,7	361,2	157,0	140,7	163,3	300,7	308,1	359,2	273,7
	PROM. DESPUÉS	211,0	240,1	346,3	380,0	342,6	177,8	126,9	177,5	230,0	411,1	385,1	278,3
	VARIACIÓN	23,8	-5,6	5,5	14,2	-5,1	13,2	-9,8	8,7	-23,5	33,4	7,2	1,7
Marulanda	**PROM. ANTES**	58,4	100,2	150,2	186,4	250,2	163,8	165,1	129,3	219,2	149,1	130,5	98,2
	PROM. DESPUÉS	77,2	97,0	170,4	203,6	239,9	182,6	135,5	131,3	166,6	208,4	163,1	108,0
	VARIACIÓN	32,2	-3,2	13,5	9,2	-4,1	11,4	-17,9	1,6	-24,0	39,8	25,0	10,0

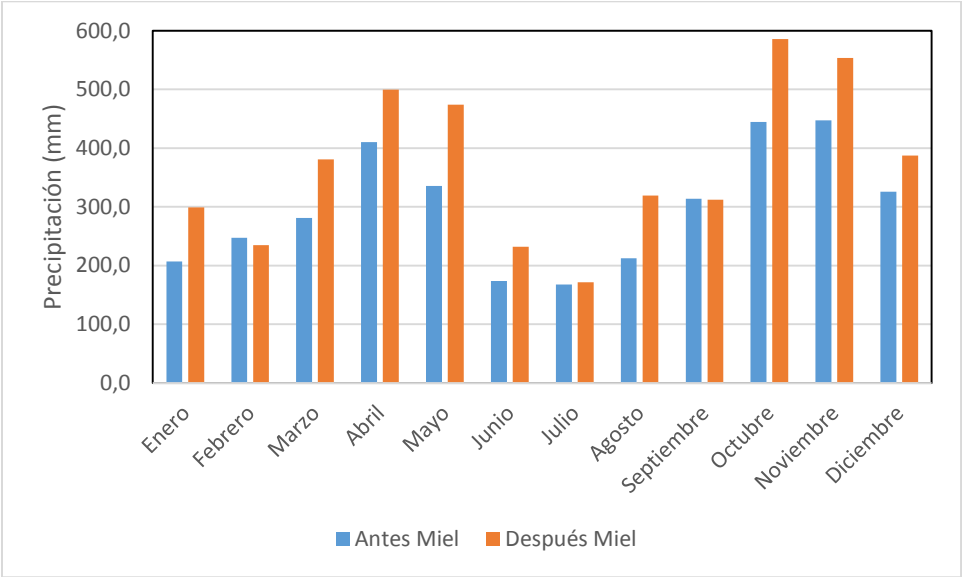
Fuente. Los Autores

Se evidencia que en la estación Norcasia Radio el régimen de precipitación es bimodal teniendo como temporadas más lluviosas de abril a mayo y de octubre a diciembre y temporadas secas de enero a marzo y de junio a septiembre. (Ver gráfica 3)



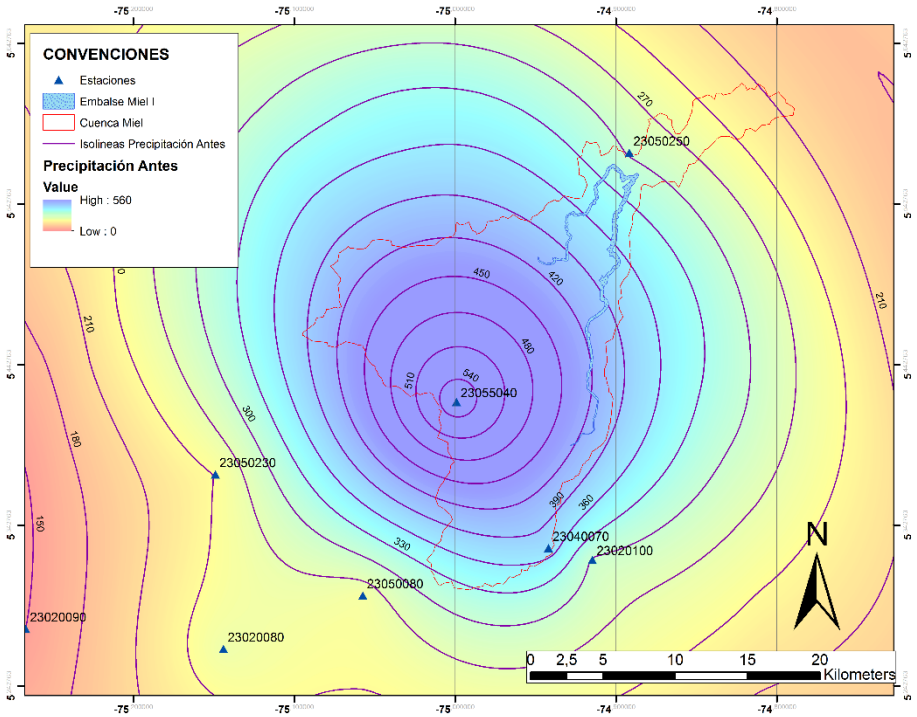
Gráfica 39. Precipitación promedio mensual estación Norcasia Radio. Fuente: Los Autores

A nivel mensual, en la estación Norcasia Radio se identifica una variación en la precipitación posterior a la construcción del embalse. Los meses donde se evidencia mayor variación son mayo, junio, octubre, noviembre y diciembre. (Grafica 4).

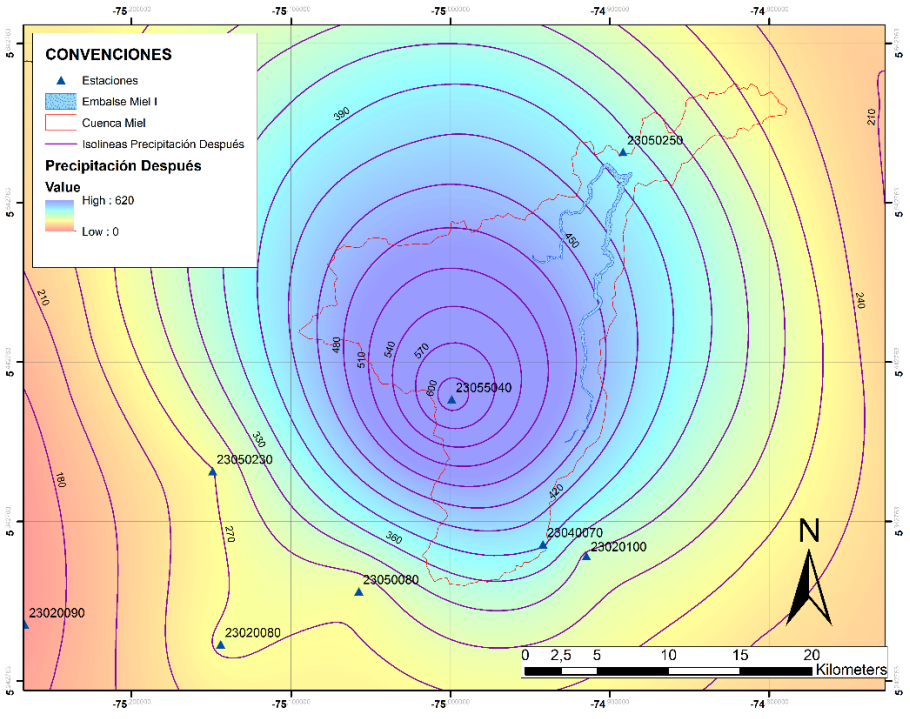


Gráfica 40. Precipitación media mensual multianual antes y después de la conformación del embalse Miel I. Norcasia Radio. Fuente: Los Autores

Las isoyetas de precipitación antes y después de la construcción del embalse muestran los máximos valores de precipitación en la estación Samaná (23055040), con un valor de 540 mm para antes y 600 mm para después. En los dos periodos la precipitación tiene una distribución radial respecto a la estación Samaná, disminuyendo progresivamente en dirección al valle del Río Magdalena y hacia las estribaciones de la cordillera central.



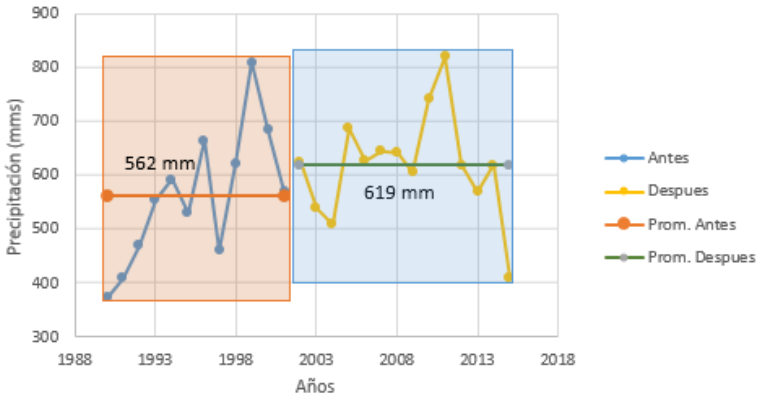
Mapa 4. Isoyetas del periodo anterior a la conformación del embalse Miel I. Fuente. Los Autores



Mapa 5. Isoyetas del periodo posterior a la conformación del embalse Miel I. Fuente: Los Autore

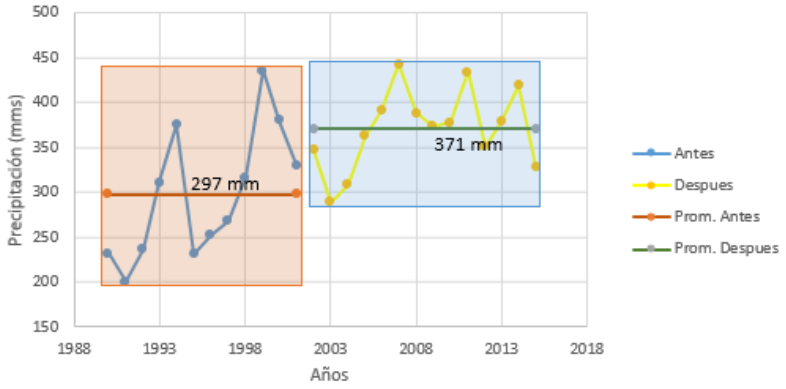
A continuación se detalla la variación de la precipitación anual en las estaciones más representativas.

En la estación Samaná (23055040) se registró una precipitación de 561,9 mm antes de la construcción del embalse Miel I, la cual incrementó después de la construcción un 10,17% hasta 619,1 mm (ver grafica 5).



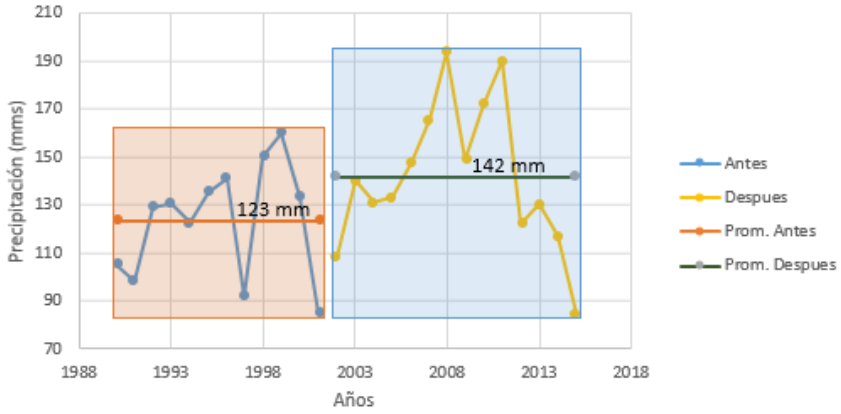
Gráfica 41. Cambio de precipitación en la estación Samaná (3520895). Fuente: Los Autores

En la estación Norcasia Radio (23050250) se registró una precipitación de 297,2 mm antes de la construcción del embalse Miel I, la cual incremento después de la construcción un 24,76% hasta 370,8 mm. Por otra parte, los valores mínimos de precipitación posteriores a la construcción del embalse aumentaron significativamente y los valores máximos se mantuvieron relativamente igual.



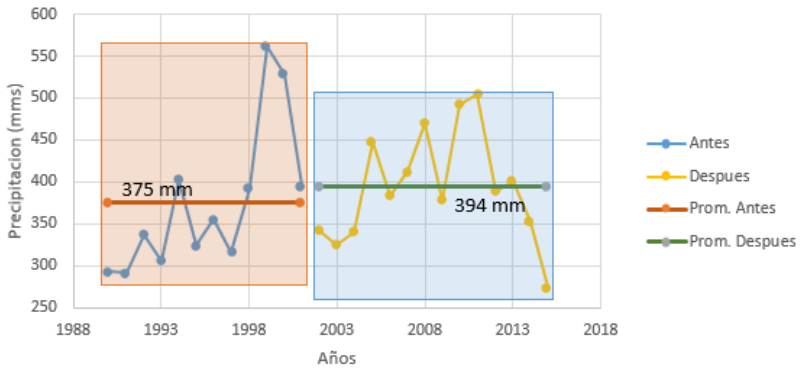
Gráfica 42. Cambio de precipitación en la estación Norcasia Radio (23050250). Fuente: Los Autores

En la estación San Felix (26285040) se registró una precipitación de 123,5 mm antes de la construcción del embalse Miel I, la cual incremento después de la construcción un 14,70% hasta 141,6mm. Por otra parte, los valores máximos de precipitación posteriores a la construcción del embalse aumentaron significativamente y los valores mínimos se mantuvieron relativamente igual.



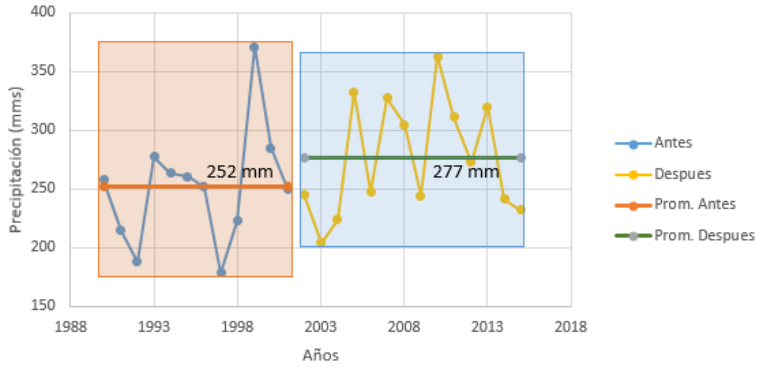
Gráfica 43. Cambio de precipitación en la estación San Felix (26285040). Fuente: Los Autores

En la estación Cañaveral (23040070) se registró una precipitación de 375,0 mm antes de la construcción del embalse Miel I, la cual incremento después de la construcción un 4,97% hasta 393,7 mm. Por otra parte, a pesar de que no hubo un cambio significativo en el promedio, los valores máximos de precipitación posteriores a la construcción del embalse disminuyeron altamente y los valores mínimos se mantuvieron relativamente igual.



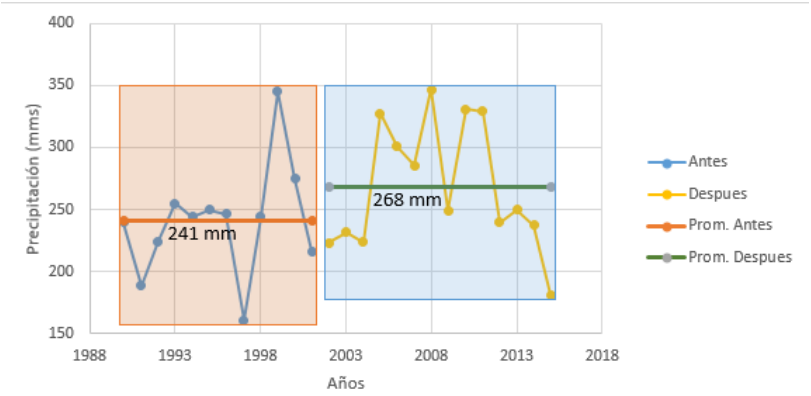
Gráfica 44. Cambio de precipitación en la estación Cañaveral (23040070). Fuente: Los Autores

En la estación Marquetalia (23050080) se registró una precipitación de 251,7 mm antes de la construcción del embalse Miel I, la cual incremento después de la construcción un 9,88% hasta 276,5 mm. Por otra parte, los valores máximos de precipitación posteriores a la construcción del embalse disminuyeron y los valores mínimos aumentaron respecto a los valores anteriores a la construcción del embalse.



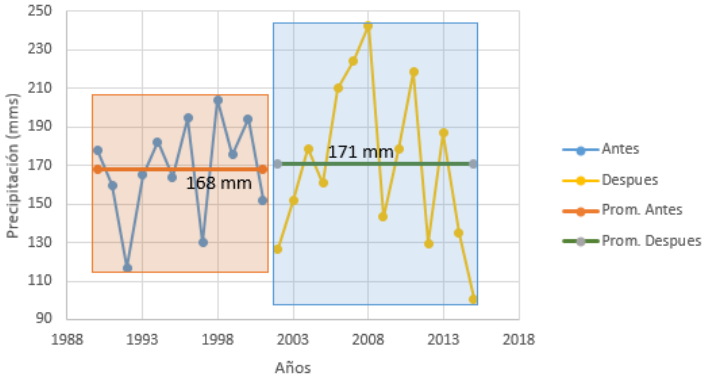
Gráfica 45. Cambio de precipitación en la estación Marquetalia (23050080). Fuente: Los Autores

En la estación San Jose Pensilvan (23050230) se registró una precipitación de 240,8 mm antes de la construcción del embalse Miel I, la cual incremento después de la construcción un 11,39% hasta 268,3 mm. Por otra parte, los valores máximos de precipitación se mantuvieron exactamente iguales antes y después de la construcción del embalse y los valores mínimos aumentaron respecto a los valores anteriores a la construcción del embalse.



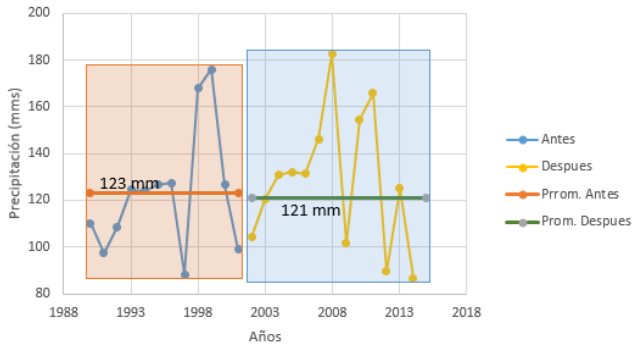
Gráfica 46. Cambio de precipitación en la estación San Jose Pensilvan (23050230). Fuente: Los Autores

En contraste, en las zonas más distantes, la estación Idema- Dorada (23040030) registro una precipitación de 168,1 mm antes de la construcción del embalse Miel I y el incremento después de la construcción fue de 1,46% hasta 170,5 mm, este incremento no fue muy alto comparado con otras estaciones más cercanas al embalse. Sin embargo, los valores máximos de precipitación después de la construcción del embalse aumentaron significativamente y los valores mínimos disminuyeron.

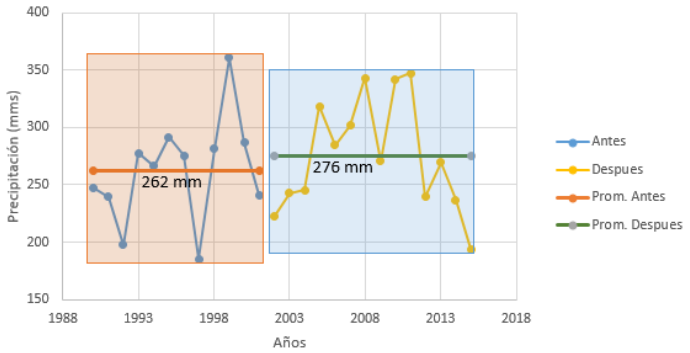


Gráfica 47. Cambio de precipitación en la estación Idema-Dorada (23040030). Fuente: Los Autores

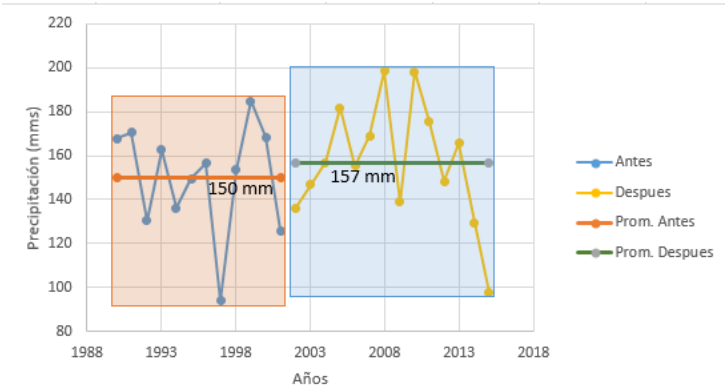
Las estaciones más lejanas al embalse presentaron un comportamiento similar, aumentando la precipitación respecto a los valores antes y después de la construcción del embalse. Algunas de las estaciones que presentaron este comportamiento fueron: Valle Alto (26180250), Manzanares (23020080), Marulanda (23020090).



Gráfica 48. Cambio de precipitación en la estación Valle Alto (26180250). Fuente: Los Autores



Gráfica 49. Cambio de precipitación en la estación Manzanares (23020080). Fuente: Los Autores



Gráfica 50. Cambio de precipitación en la estación Marulanda (23020090). Fuente: Los Autores

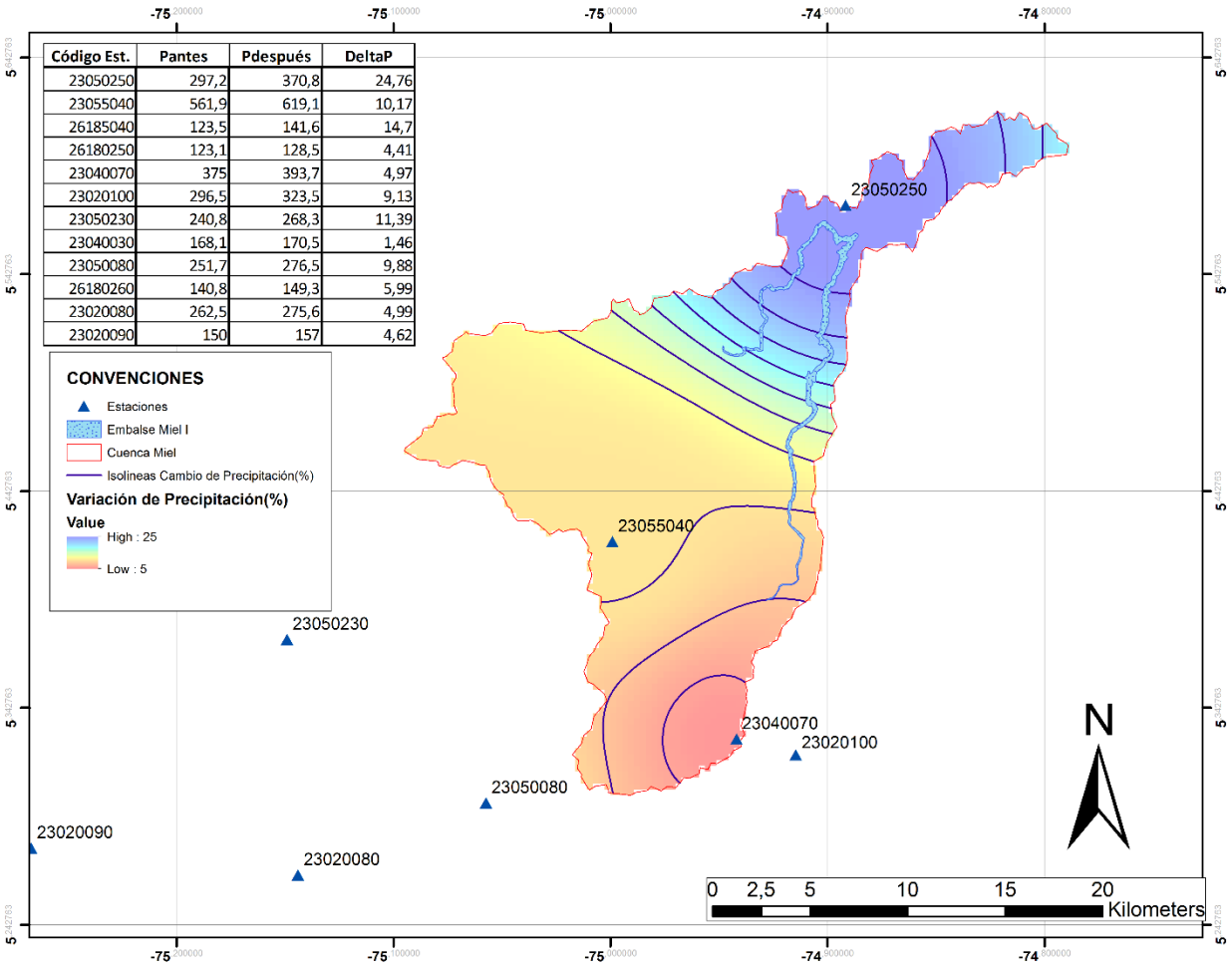
Al restar la precipitación antes y después de la construcción del embalse en cada una de las estaciones se obtiene el delta de precipitación o la variación (Ver tabla 11), con los

resultados se construyó el mapa de isolineas mostrado en el mapa 7. Se puede concluir que en toda la región hay una tendencia al aumento de la precipitación, sin embargo, se debe resaltar que este incremento es mucho más significativo en las regiones próximas al sitio de presa, donde la variación registro incrementos entre el 10% y el 24% respecto a la condición sin embalse, es así que el mayor aumento de precipitación se presentó en la estación Norcasia Radio con una distribución concéntrica alrededor del sitio de presa.

Tabla 11. Promedio precipitación total anual Embalse Miel I.

EMBALSE MIEL I			
Estaciones	Promedio Precipitación Total		
	Antes de la construcción del embalse (mm)	Después de la construcción del embalse (mm)	Variación (%)
Norcasia Radio	297,2	370,8	24,76
Samaná	561,9	619,1	10,17
San Felix	123,5	141,6	14,7
Valle Alto	123,1	128,5	4,41
Cañaveral	375,0	393,7	4,97
Victoria La	296,5	323,5	9,13
San Jose Pensilvan	240,8	268,3	11,39
Idema-Dorada	168,1	170,5	1,46
Marquetalia	251,7	276,5	9,88
Miranda La	140,8	149,3	5,99
Manzanares	262,5	275,6	4,99
Marulanda	150,0	157,0	4,62

Fuente. Los Autores



Mapa 6. Deltas de precipitación entre el periodo posterior y el anterior a la conformación del embalse Miel I. Fuente: Los Autores

5.3.3 Delimitación del área con alteración del mesoclima

Tabla 12. Área embalse Miel I

AREA EMBALSE		
Delta P	**Área Según Delta P**	**Área acumulada**
<20	1,50	1,50
20-22	5,03	6,53
22-24	10,34	16,87
24	**34,27**	51,14
24-22	12,00	63,14
22-20	9,55	72,70
20-18	9,65	82,35
18-16	11,19	93,54
16-14	14,94	108,48
14-12	23,05	**131,52**
12-10	144,34	275,80
10-8	52,16	328,02
8-6	37,99	366,01
<6	16,61	382,62
<8	4,44	387,06

Fuente. Los Autores

Reconociendo que a nivel regional la tendencia ha sido el incremento de la precipitación, el criterio para la selección del área con impacto por alteración del mesoclima asociada a la construcción de Miel I fue el incremento en la precipitación dentro de la cuenca afluente en un porcentaje superior al 12% y adicionalmente que la forma de las isolineas de deltaP evidencian estar asociadas al embalse, es decir una distribución concéntrica al rededor del mismo, resultando en un área con impacto de 131,52 km^2 (Ver tabla 12).

La zona que presenta mayor impacto de la precipitación corresponde al 34,27 km^2 con un porcentaje superior al 24% de aumento de precipitación.

5.3.4 Otras variables climatológicas

Se evaluaron parámetros como Temperatura, Humedad Relativa y Evaporación en la estación Samaná (23055040) debido a que era la estación meteorológica más cercana al embalse y se encontraba activa. En el momento de hacer la evaluación de diferentes

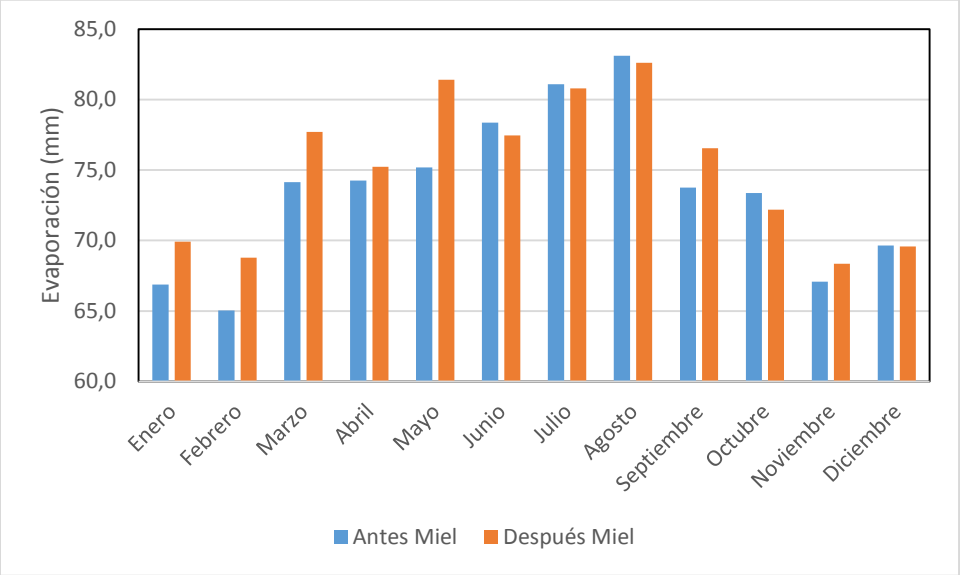
parámetros se observó que existe una falta inminente de estaciones meteorológicas activas cercanas al embalse Miel I, por lo tanto solo se pudo evaluar los diferentes parámetros en una estación.

A pesar que en el promedio anual no se evidencia un cambio significativo en la evaporación, a nivel mensual se observa que en el periodo posterior a la conformación del embalse algunos meses como enero, febrero, marzo, mayo y septiembre presentaron aumento. (Ver tabla 13 y gráfica 15).

Tabla 13. Valores de evaporación antes y después de la conformación del embalse Miel I.

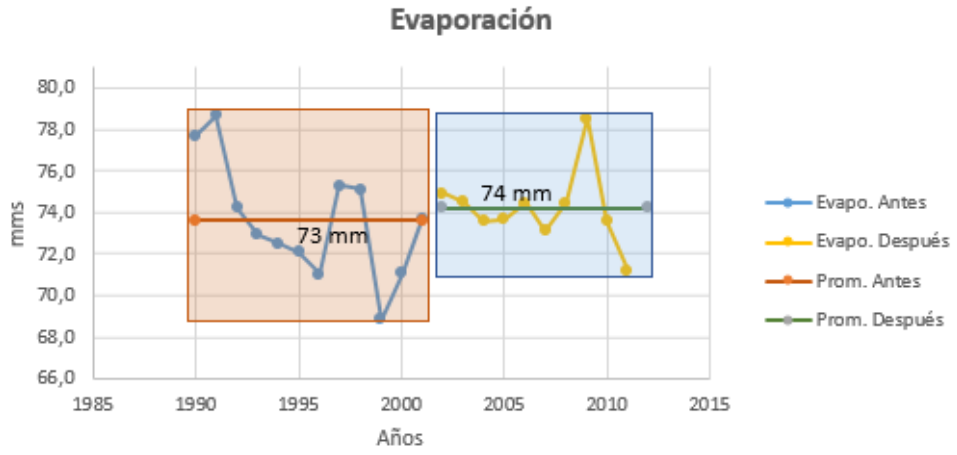
RESUMEN DE LOS VALORES DE EVAPORACIÓN ANTES Y DESPUES DE LA CONFORMACIÓN DEL EMBALSE													
		Ene	**Feb**	**Mar**	**Abr**	**May**	**Jun**	**Jul**	**Ago**	**Sept**	**Oct**	**Nov**	**Dic**
Samaná	PROM. ANTES	66,9	65,0	74,1	74,3	75,2	78,4	81,1	83,1	73,7	73,4	67,1	69,6
	PROM. DESPUÉS	69,9	68,8	77,7	75,2	81,4	77,5	80,8	82,6	76,5	72,2	68,3	69,6
	VARIACIÓN	4,6	5,8	4,8	1,3	8,3	-1,2	-0,4	-0,6	3,8	-1,6	1,9	-0,1

Fuente. Los Autores



Gráfica 51. Evaporación promedio mensual antes y después de la conformación del embalse Miel I, estación Samaná. Fuente. Los Autores.

Al estar la atmosfera en un estado a punto de saturación no es posible realizar un proceso de evaporación adecuado debido a la alta cantidad de humedad presente en el ambiente, es por esta razón que la evaporación tuvo un aumento de 0,82% es decir que no fue significativo. (Ver gráfica 16)



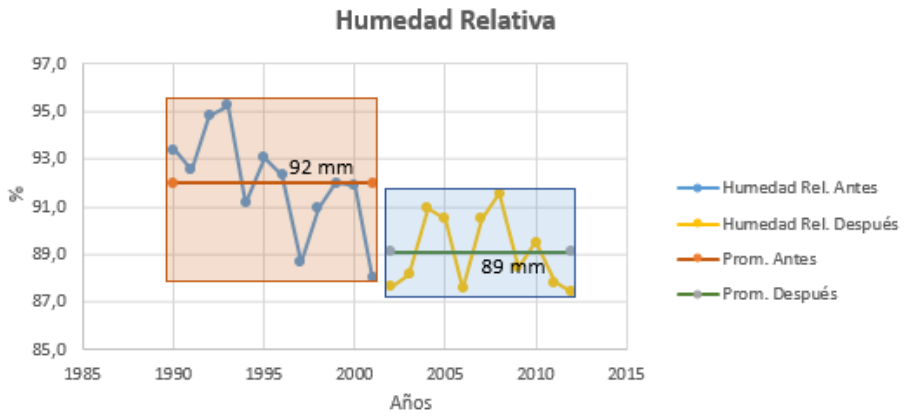
Gráfica 52. Evaporación estación Samaná. Fuente: Los Autores

Tabla 14. Valores de humedad relativa antes y después de la conformación del embalse Miel I.

RESUMEN DE LOS VALORES DE HUMEDAD RELATIVA ANTES Y DESPUES DE LA CONFORMACIÓN DEL EMBALSE													
Samaná		Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sept	Oct	Nov	Dic
	PROM. ANTES	94,2	93,1	94,1	94,0	93,2	91,2	85,8	84,1	90,3	93,0	95,5	95,6
	PROM. DESPUÉS	91,7	91,4	90,7	91,0	90,0	86,9	83,2	81,0	86,6	90,8	92,3	93,1
	VARIACIÓN	-2,6	-1,9	-3,6	-3,2	-3,4	-4,7	-3,0	-3,7	-4,1	-2,4	-3,4	-2,6

Fuente. Los Autores

La humedad relativa promedio anual presento una disminución del 3% que se puede considerar como constante, esto considerando que la zona antes de la construcción del embalse se caracterizaba por tener una alta humedad relativa promedio de 92%, se puede afirmar que el gradiente de flujo de vapor es menor que si fuese una zona seca, es decir por ser un medio más saturado, la unión entre partículas genera una presión tal que dificulta la entrada de vapor de agua al medio. En la investigación realizada por Mohamed Degu y otros autores, titulada "La influencia de grandes presas en los patrones del clima y precipitación colindantes a las mismas" se plantea que los grandes embalses es decir aquellos que exceden los 3 millones de metros cúbicos, influencian más en climas semiáridos y mediterráneos que en climas húmedos, explicado físicamente por los flujos de calor latente y calor sensible de un cuerpo de agua abierto a superficies con cobertura vegetal, lo que quiere decir, que las regiones húmedas son forestales y presentan flujos de humedad comparables a los cuerpos de agua abiertos y por tanto no hay trasferencia de un medio al otro, esto si se tiene en cuenta la traspiración como la evaporación (ver gráfica 17).



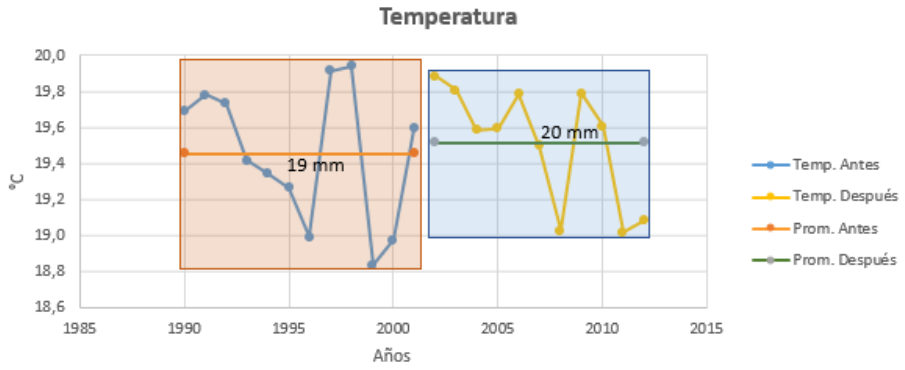
Gráfica 53. Humedad relativa estación Samaná. Fuente: Los Autores

Tabla 15. Valores de temperatura antes y después de la conformación del embalse Miel I.

RESUMEN DE LOS VALORES DE TEMPERATURA ANTES Y DESPUES DE LA CONFORMACIÓN DEL EMBALSE													
		Ene	**Feb**	**Mar**	**Abr**	**May**	**Jun**	**Jul**	**Ag**	**Sept**	**Oct**	**Nov**	**Dic**
Samaná	PROM. ANTES	19,1	19,2	19,3	19,6	19,7	19,9	19,9	20,3	19,5	19,3	18,8	19,0
	PROM. DESPUÉS	19,2	19,5	19,5	19,4	19,7	19,8	20,0	20,3	19,9	19,2	19,1	19,0
	VARIACIÓN	0,8	1,3	1,0	-0,7	0,4	-0,3	0,0	0,3	2,0	-0,5	1,2	0,2

Fuente. Los Autores

La humedad relativa y la temperatura son directamente proporcionales es decir que en el caso en que la humedad relativa aumente la temperatura deber tener el mismo comportamiento, en el caso del embalse Miel I la temperatura tuvo un aumento tan solo del 0,30%, esto es coherente debido a que como no hubo aumento de humedad relativa y la temperatura se mantuvo constante. (Ver gráfica 18).



Gráfica 54. Temperatura estación Samaná. Fuente: Los Autores

No obstante lo anterior, es posible que en las regiones más próximas al embalse, en el municipio de Norcasia si se hayan presentado variaciones más importantes, pero ante la inexistencia de estaciones climatológicas no es posible la verificación de esta condición.

5.4 Embalse Porce II

5.4.2 Precipitación

Los valores promedio de precipitación antes y después de la conformación del embalse Porce II se muestran en la tabla 16 donde adicionalmente se evidencia la variación entre estos.

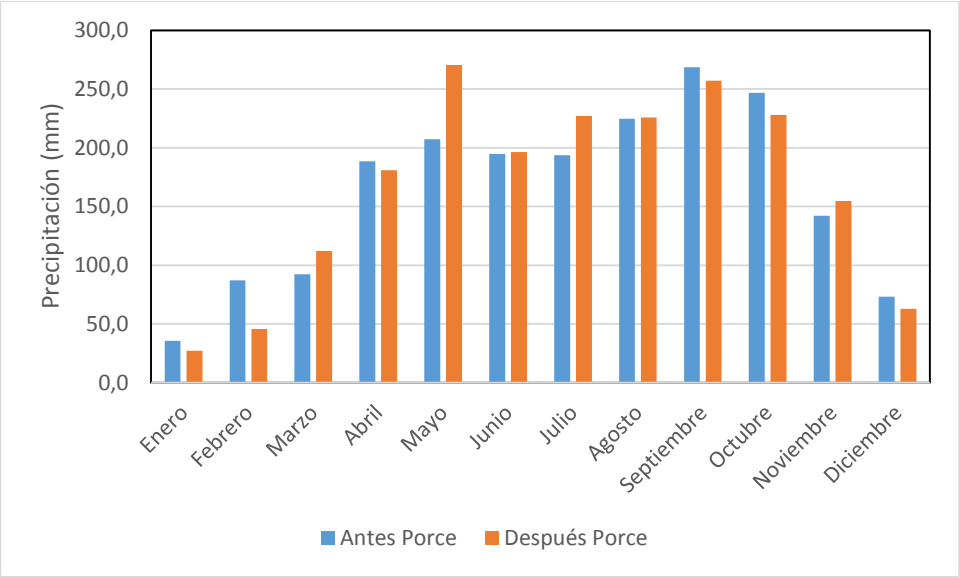
Tabla 16. Valores de precipitación antes y después de la conformación del embalse Porce II.

RESUMEN DE LOS VALORES DE PRECIPITACION ANTES Y DESPUES DE LA CONFORMACIÓN DEL EMBALSE													
		Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
El Roble	PROM. ANTES	51,6	105,9	106,7	244,1	291,5	246,6	235,9	285,8	283,8	306,1	213,2	106,4
	PROM. DESPUÉS	42,2	63,8	169,4	234,2	281,7	262,1	230,2	234,3	297,5	257,1	233,5	94,8
	VARIACIÓN	-18,2	-39,8	58,8	-4,1	-3,4	6,3	-2,4	-18,0	4,8	-16,0	9,5	-10,9
EL Mango	PROM. ANTES	35,5	87,1	92,2	188,6	207,2	194,9	193,6	224,6	268,6	246,8	142,1	73,3
	PROM. DESPUÉS	27,3	45,7	112,2	180,7	270,5	196,5	227,1	225,9	257,3	228,0	154,7	62,9
	VARIACIÓN	-23,2	-47,5	21,7	-4,2	30,5	0,8	17,3	0,6	-4,2	-7,6	8,8	-14,1
Troneras	PROM. ANTES	76,5	105,1	128,6	311,3	420,3	379,7	347,1	366,3	368,0	350,8	204,8	119,7
	PROM. DESPUÉS	45,3	74,2	161,3	265,7	460,5	374,5	312,2	281,1	344,3	280,4	256,2	122,5
	VARIACIÓN	-40,8	-29,4	25,4	-14,7	9,5	-1,4	-10,1	-23,3	-6,4	-20,1	25,1	2,4
Amalfi	PROM. ANTES	47,3	103,5	114,6	259,9	270,5	228,1	205,3	234,2	274,3	294,9	216,7	107,0
	PROM. DESPUÉS	47,8	91,8	221,2	281,9	336,8	243,6	265,3	288,1	281,6	324,7	263,1	120,3
	VARIACIÓN	0,9	-11,3	93,0	8,5	24,5	6,8	29,2	23,0	2,7	10,1	21,4	12,5
Versalles	PROM. ANTES	41,5	67,8	89,9	208,7	208,1	180,0	173,3	208,5	267,1	230,0	153,8	84,6
	PROM. DESPUÉS	31,3	49,1	130,8	191,1	259,8	211,0	170,6	214,0	215,1	193,0	118,3	87,9
	VARIACIÓN	-24,7	-27,6	45,5	-8,4	24,8	17,2	-1,5	2,6	-19,5	-16,1	-23,1	4,0
Cajamarca	PROM. ANTES	69,3	105,3	96,3	221,8	225,1	203,0	196,4	249,7	294,2	302,1	233,7	121,4
	PROM. DESPUÉS	56,5	68,8	152,5	232,1	275,2	201,7	215,8	220,9	265,3	257,8	248,4	118,7
	VARIACIÓN	-18,6	-34,6	58,4	4,7	22,3	-0,6	9,9	-11,5	-9,9	-14,7	6,3	-2,2
Guadalupe	PROM. ANTES	83,7	104,1	135,0	296,4	405,1	336,1	299,5	327,0	350,8	371,9	236,4	126,5
	PROM. DESPUÉS	57,7	64,8	190,4	333,6	518,2	428,8	343,3	374,6	384,9	333,0	263,1	118,8
	VARIACIÓN	-31,1	-37,8	41,0	12,5	27,9	27,6	14,6	14,6	9,7	-10,5	11,3	-6,1
Haiton	PROM. ANTES	84,8	123,3	150,3	265,4	346,0	311,6	328,1	334,3	372,9	355,0	210,3	133,7
	PROM. DESPUÉS	68,6	105,6	179,5	352,9	447,7	335,1	315,8	315,9	330,6	368,7	298,3	144,9
	VARIACIÓN	-19,1	-14,4	19,5	32,9	29,4	7,5	-3,8	-5,5	-11,4	3,9	41,8	8,4
El Silencio	PROM. ANTES	50,6	109,7	116,6	300,3	306,2	256,7	251,0	267,5	300,1	311,1	209,3	117,2

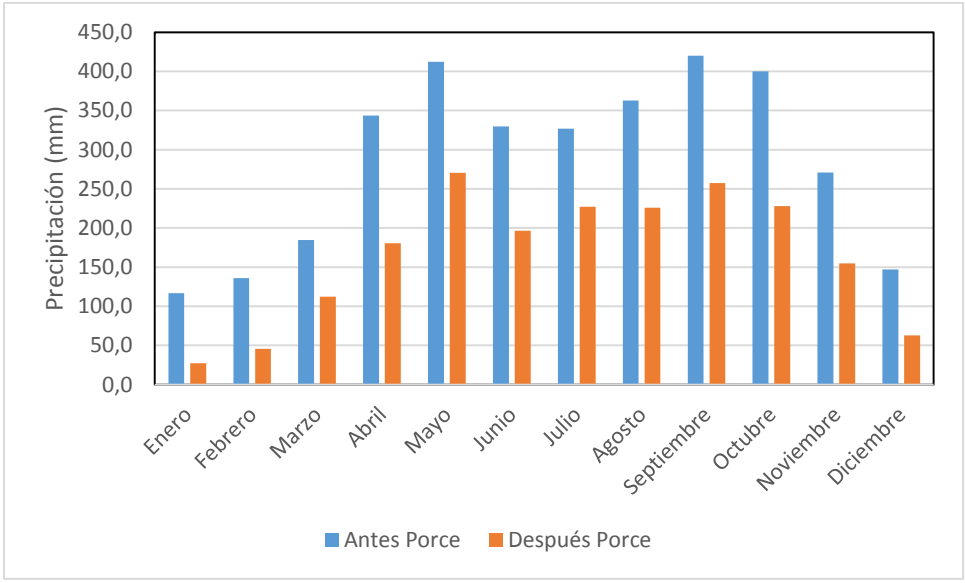
	PROM. DESPUÉS	51,3	89,5	222,4	317,6	337,5	272,5	282,0	296,5	342,7	367,5	278,7	117,8
	VARIACIÓN	1,5	-18,4	90,7	5,8	10,2	6,1	12,3	10,8	14,2	18,1	33,1	0,5
Gabino	**PROM. ANTES**	76,7	121,9	138,3	280,6	370,3	321,3	357,8	365,7	424,1	383,0	193,2	135,3
	PROM. DESPUÉS	77,8	90,0	240,3	347,3	451,8	296,4	303,5	311,8	321,0	338,9	256,7	126,1
	VARIACIÓN	1,5	-26,2	73,7	23,8	22,0	-7,7	-15,2	-14,8	-24,3	-11,5	32,9	-6,8
Gomez Plata	**PROM. ANTES**	116,9	136,1	184,6	343,5	412,1	329,8	326,9	362,8	420,2	400,1	271,0	146,9
	PROM. DESPUÉS	63,9	83,2	203,5	320,9	460,7	340,7	267,8	315,8	352,2	336,1	255,5	128,6
	VARIACIÓN	-45,4	-38,9	10,2	-6,6	11,8	3,3	-18,1	-13,0	-16,2	-16,0	-5,7	-12,5
Llanos de Cuiba	**PROM. ANTES**	100,7	125,4	172,7	271,5	286,5	270,7	307,1	259,7	306,9	294,9	202,8	104,4
	PROM. DESPUÉS	52,8	59,4	148,4	226,4	293,3	239,7	220,1	213,5	204,5	241,7	202,6	88,3
	VARIACIÓN	-47,5	-52,6	-14,1	-16,6	2,4	-11,5	-28,3	-17,8	-33,4	-18,0	-0,1	-15,5

Fuente. Los Autores

A pesar que en la estación El Mango se presentó un aumento de precipitación, esto contrasta con el comportamiento general de la cuenca en la cual la precipitación tienda a disminuir como se muestra en la gráfica 20 de la estación Gomez Plata.

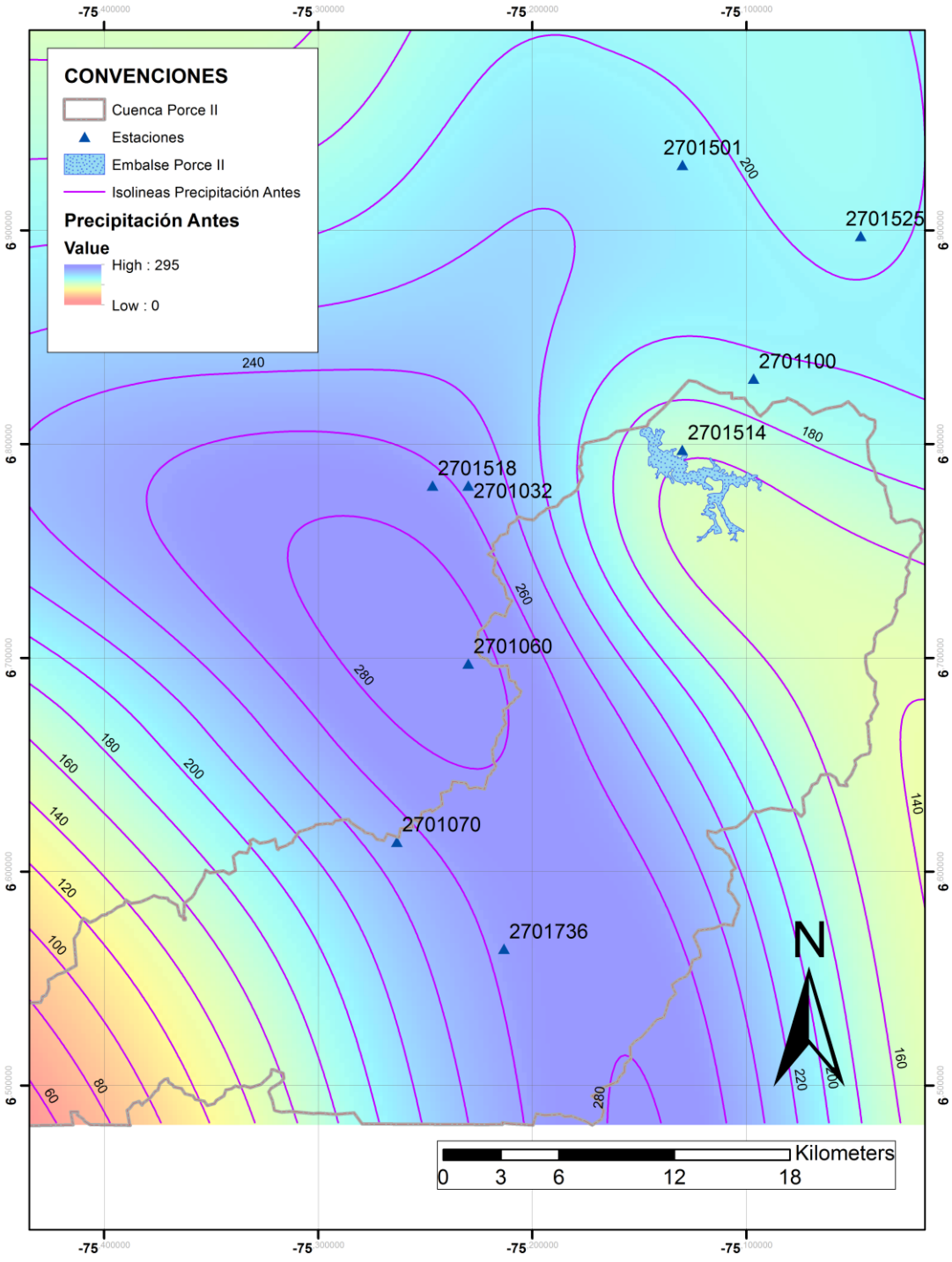


Gráfica 55. Precipitación media mensual multianual antes y después de la conformación del embalse Porce II. Estación El Mango. Fuente: Los Autores

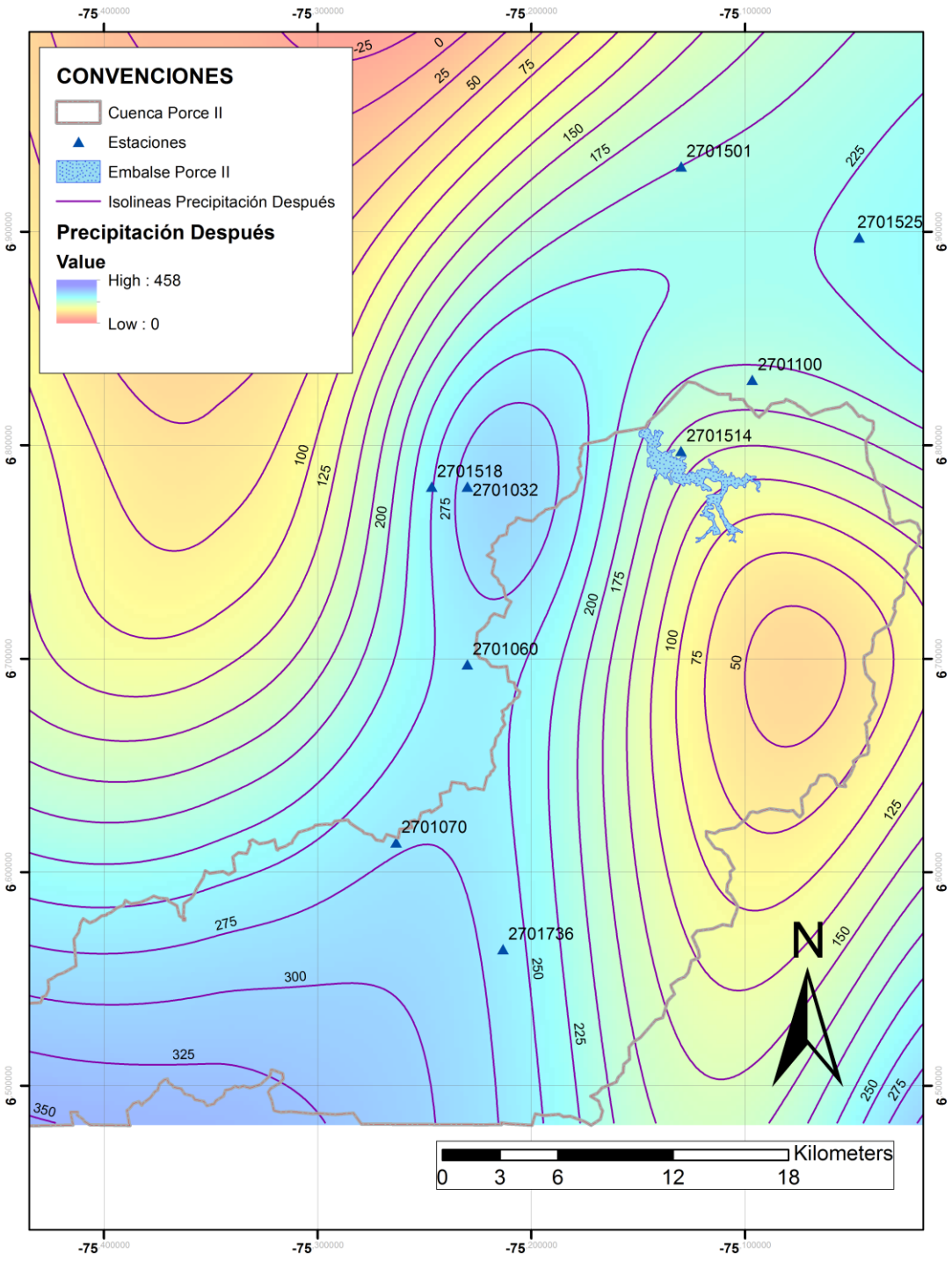


Gráfica 56. Precipitación media mensual multianual antes y después de la conformación del embalse Porce II. Estación Gomez Plata. Fuente: Los Autores

Las isoyetas de precipitación antes y después de la conformación del embalse, muestran una tendencia de reducción de la precipitación media anual. En el mapa de isoyetas de precipitación antes de la construcción del embalse se muestra que los valores máximos de precipitación se presentan alrededor de la estación Guadalupe, donde se encuentra ubicado el embalse Guadalupe. En el caso de las isoyetas que representan la precipitación después de la construcción del embalse se puede observar que existe cierta similitud en la zona de alta precipitación respecto al mapa de precipitación antes, pero con valores menores a la línea base.



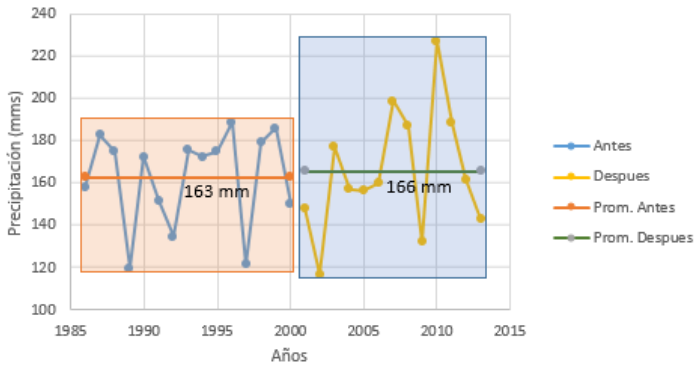
Mapa 7. Isoyetas del periodo anterior a la conformación del embalse Porce II. Fuente: Los Autores.



Mapa 8. Isoyetas del periodo posterior a la conformación del embalse Porce II. Fuente: Los Autores

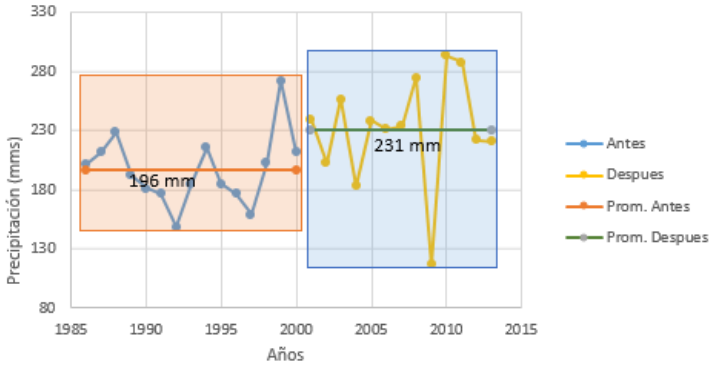
A continuación se detalla la variación de la precipitación anual en las estaciones más representativas.

En la estación El mango (2701514) se registró una precipitación de 162,9 mm antes de la construcción del embalse Porce II, la cual incrementó después de la construcción un 1,76% hasta 165,7 mm. Sin embargo, a pesar de ser poco el aumento del promedio, los valores máximos de precipitación después de la construcción del embalse aumentaron significativamente mientras que los valores mínimos se mantuvieron igual.



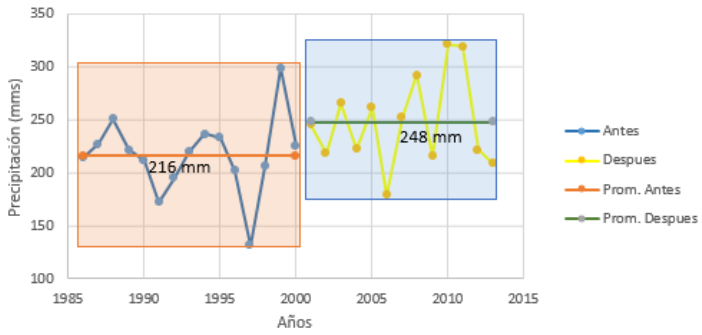
Gráfica 57. Cambio de precipitación en la estación El mango (2701514). Fuente: Los Autores

En la estación Amalfi (2701525) se registró una precipitación de 196,4 mm antes de la construcción del embalse Porce II, la cual incrementó después de la construcción un 17,40% hasta 230,5 mm. En este caso los valores mínimos de precipitación después de la construcción del embalse disminuyeron significativamente mientras que los valores máximos aumentaron pero en pequeñas proporciones.



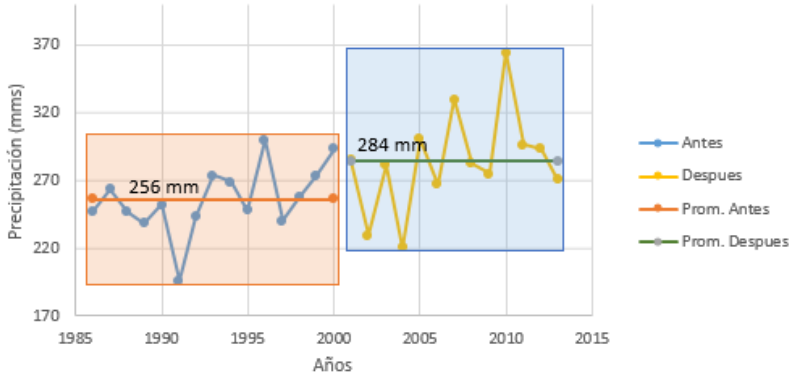
Gráfica 58. Cambio de precipitación en la estación Amalfi (2701525). Fuente: Los Autores

En la estación El Silencio (2701102) se registró una precipitación de 216,4 mm antes de la construcción del embalse Porce II, la cual incrementó después de la construcción un 14,62% hasta 248 mm. En este caso los valores máximos de precipitación después de la construcción del embalse aumentaron así como también aumentaron significativamente los valores mínimos de precipitación.



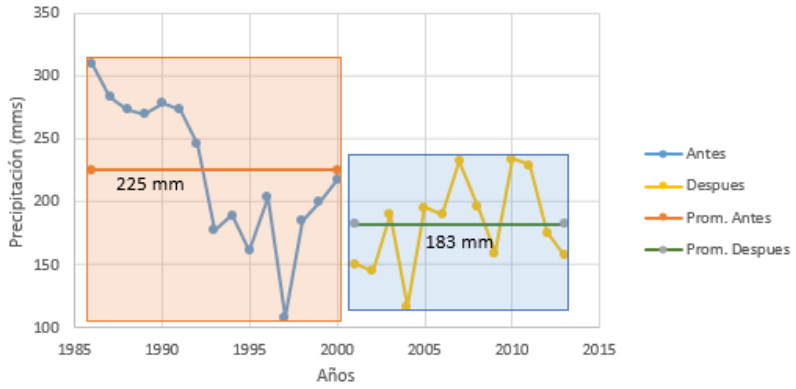
Gráfica 59. Cambio de precipitación en la estación El Silencio (2701102). Fuente: Los Autores

En la estación Guadalupe (2701032) se registró una precipitación de 256 mm antes de la construcción del embalse Porce II, la cual incrementó después de la construcción un 11,02% hasta 284,3 mm. En este caso, los valores máximos de precipitación después de la construcción del embalse aumentaron significativamente así como también los valores mínimos.



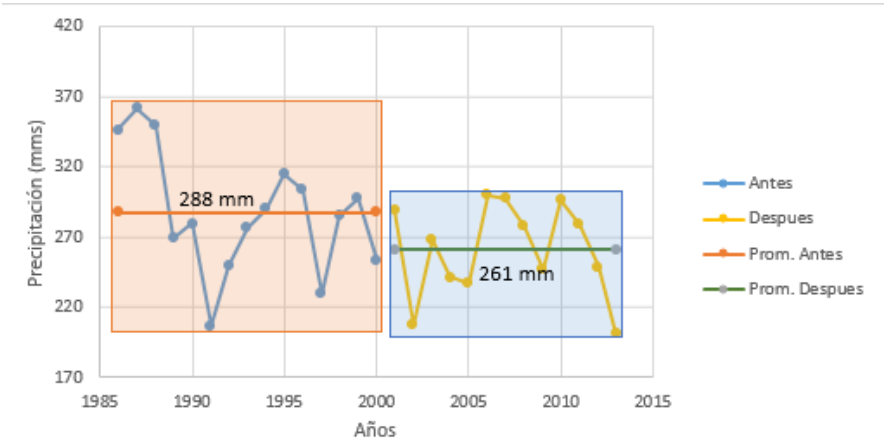
Gráfica 60. Cambio de precipitación en la estación Guadalupe (2701032). Fuente: Los Autores

En contraste, en las zonas más distantes, en la estación Llanos de Cuiba (27020220), se registró una precipitación antes de la construcción del embalse Porce II de 225,3 mm la cual disminuyo un 18,95% hasta 182,6 mm. En este caso los valores máximos de precipitación después del embalse disminuyeron significativamente y los valores mínimos se mantuvieron relativamente igual.



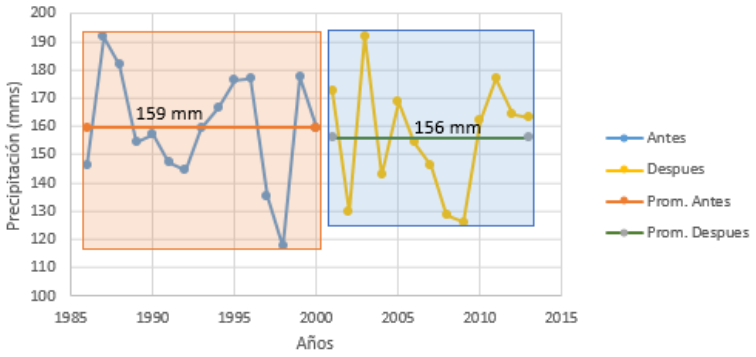
Gráfica 61. Cambio de precipitación en la estación Llanos de Cuiba (27020220). Fuente: Los Autores

En la estación Gomez Plata (2701060), se registró una precipitación antes de la construcción del embalse Porce II de 287,6 mm la cual disminuyo un 9,34% hasta 260,7 mm. En este caso los valores máximos de precipitación después del embalse disminuyeron significativamente y los valores mínimos se mantuvieron relativamente igual.

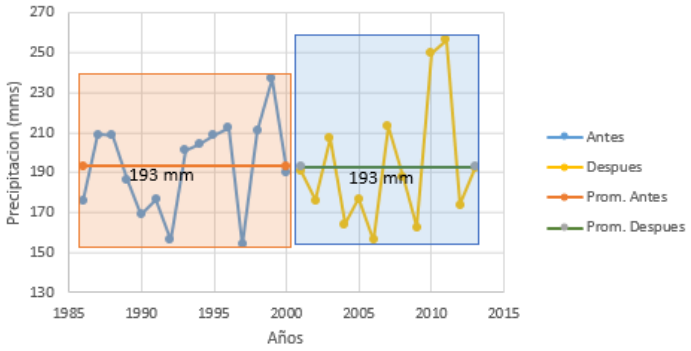


Gráfica 62. Cambio de precipitación en la estación Gomez Plata (2701060). Fuente: Los Autores

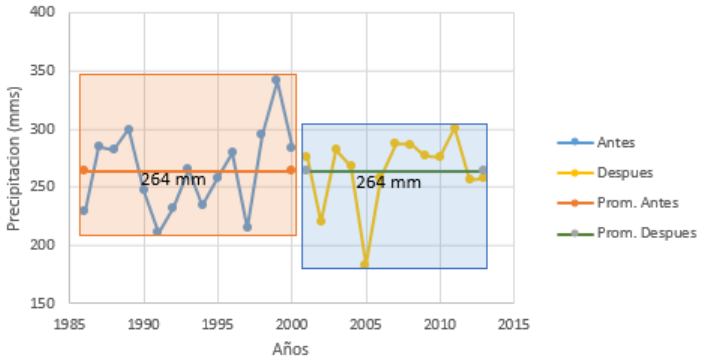
Las estaciones Versalles (2310011), Cajamarca (2701100) y Gabino (2701736) presentaron un comportamiento similar con una disminución de precipitación después de la construcción del embalse Porce II.



Gráfica 63. Cambio de precipitación en la estación Versalles (2310011). Fuente: Los Autores



Gráfica 64. Cambio de precipitación en la estación Cajamarca (2701100). Fuente: Los Autores



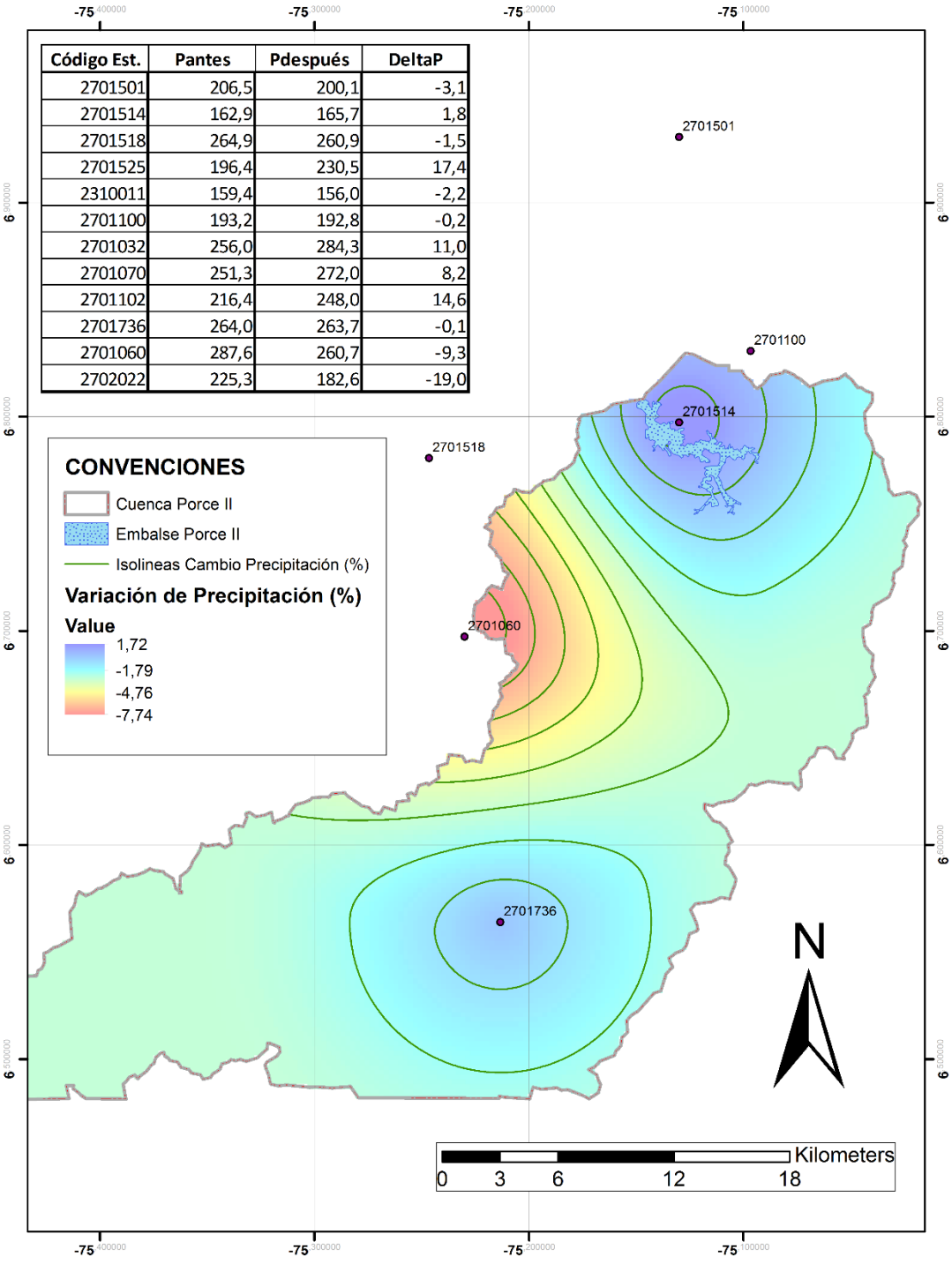
Gráfica 65. Cambio de precipitación en la estación Gabino (2701736). Fuente: Los Autores

Al restar la precipitación antes y después de la construcción del embalse en cada una de las estaciones se obtiene el delta de precipitación o la variación (Ver tabla 17), con los resultados se construyó el mapa de isolineas mostrado en el mapa 10. Se puede concluir que en la zona más cercana al sitio de presa exactamente en la estación El Mango se observa un aumento de precipitación del 1,76% en una extensión de 38,29 km^2. Sin embargo en el resto de la cuenca evaluada se evidencia una notoria disminución en la precipitación.

Tabla 17. Promedio precipitación Total Anual Embalse Porce II.

EMBALSE PORCE II			
Estaciones	Promedio Precipitación Total		
	Antes de la construcción del embalse (mm)	Después de la construcción del embalse (mm)	Variación (%)
El Roble	206,5	200,1	-3,1
El Mango	162,9	165,7	1,76
Troneras	264,9	260,9	-1,51
Amalfi	196,4	230,5	17,4
Versalles	159,4	156,0	-2,16
Cajamarca	193,2	192,8	-0,2
Guadalupe	256,0	284,3	11,02
Haiton	251,3	272,0	8,21
El Silencio	216,4	248,0	14,62
Gabino	264,0	263,7	-0,12
Gomez Plata	287,6	260,7	-9,34
Llanos de Cuiba	225,3	182,6	-18,95

Fuente. Los Autores.



Código Est.	Pantes	Pdespués	DeltaP
2701501	206,5	200,1	-3,1
2701514	162,9	165,7	1,8
2701518	264,9	260,9	-1,5
2701525	196,4	230,5	17,4
2310011	159,4	156,0	-2,2
2701100	193,2	192,8	-0,2
2701032	256,0	284,3	11,0
2701070	251,3	272,0	8,2
2701102	216,4	248,0	14,6
2701736	264,0	263,7	-0,1
2701060	287,6	260,7	-9,3
2702022	225,3	182,6	-19,0

Mapa 9. Deltas de precipitación entre el periodo posterior y el anterior a la conformación del embalse Porce II. Fuente: Los Autores

5.4.3 Delimitación del área con alteración del mesoclima

Tabla 18. Cálculo de área embalse Porce II.

AREA EMBALSE		
Delta P	**Área Según Delta P**	**Área acumulada**
>1	9,17	9,17
0-1	29,12	**38,29**
-1-0	36,71	75,01
-2-2	55,48	130,48
-2-3	393,53	524,01
-1-2	147,51	671,52
-1-0	29,75	701,27
-3-4	69,30	770,56
-4-5	36,19	806,75
-5-6	23,84	830,60
-6-7	16,39	846,99
-7-8	6,76	853,75
>-8	2,82	856,57

Fuente. Los Autores.

Considerando que la tendencia regional es a la reducción de la precipitación, se adoptó como criterio para la selección del área con impacto por alteración del mesoclima asociada a la construcción de Porce II aquella con incremento de precipitación (delta P $\geq$0) dentro de la cuenca afluente al embalse. (Ver tabla 18).

Se presentó un aumento de precipitación entre 0 – 1,76% en un área de 38,29 km^2, corresponde al área con impacto por alteración del mesoclima.

5.4.4 Otras variables climatológicas

Se realizó la consulta y solicitud de los registros climatológicos de la estación El Mango a la entidad EPM, debido a que esta era la única cercana al embalse Porce II y de tipo climatológica ordinaria, pero no fue posible obtener la información y todos los correos enviados fueron devueltos con una respuesta negativa, debido a que según ellos la información era confidencial y no era posible suministrarla para este tipo de investigación. Esto nos obligó a buscar por otros medios información donde pudiéramos obtener registros de humedad relativa, evaporación y temperatura, con el fin de evaluar si la construcción del embalse Porce II había tenido efecto sobre estas variables.

Esto nos llevó a consultar en la base de datos de la Autoridad Nacional de Legislación Ambiental (ANLA), ya que esta entidad tenía información acerca del proceso y monitoreo ambiental de los años 2011 y 2012 y nos sería útil para realizar parte del análisis objeto de esta investigación.

Se revisó el expediente LAM 3823 correspondiente a la Central Hidroeléctrica Porce II, el cual contenía 8 Folios con toda la información desde el proceso de estudio del proyecto hasta los monitoreo y seguimientos finales y 2 anexos (4120-E1-12774 y 4120-E1-27633) con información de planes de manejo ambiental de los años 2011 y 2012 respectivamente. La información específica encontrada puntualmente para el desarrollo de esta investigación se analiza a continuación:

- ***Temperatura***

La temperatura media mensual para el año 2011 presento un aumento entre el 6% y el 10% del valor medio registrado en la línea base, lo cual obedece al fenómeno de La Niña que tuvo consecuencias en el clima desde el segundo semestre de 2010 hasta el mes de mayo de 2011 y durante el segundo semestre de 2011 desde el mes de septiembre hasta el mes de diciembre. Como se observa en la tabla 19 el valor promedio de temperatura registrada en el año 2011 fue de 21,1°C que es inferior en 8% al registrado en la línea base (23°C), que es el valor más bajo de temperatura media registrada en la estación. (ANLA)

Tabla 19. Temperatura mínima, media y máxima línea base y año 2011 y 2012. Estación El Mango (°C).

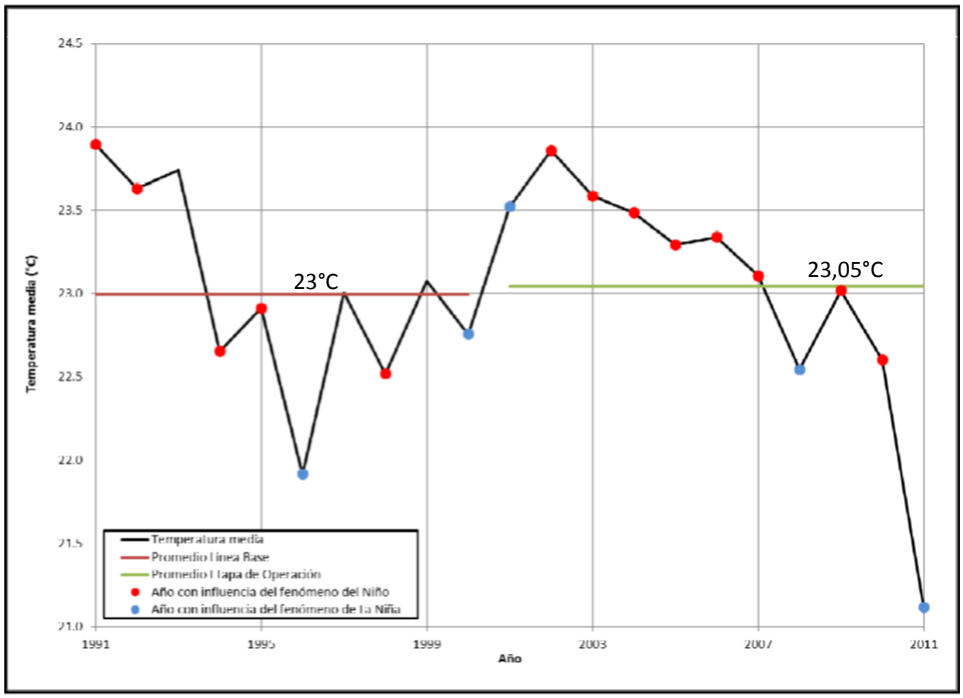
TEMPERATURA (°C)							
Mes	Linea Base (1991-2000)			2011		2012	
	Mín	Med	Máx	Med	Variación	Med	Variación
Ene	15	23,1	34,9	21	-2,1	21,4	-1,7
Feb	14,7	23,9	35	21,2	-2,7	22,2	-1,7
Mar	14,9	23,1	36,1	20,7	-2,4	22,1	-1
Abr	16,1	22,9	34,8	20,6	-2,3	21	-1,9
May	15,5	23	34,4	21,2	-1,8	20,8	-2,2
Jun	15,4	23,3	34,3	21,7	-1,6	19,8	-3,5
Jul	15,1	23,6	35,2	21,6	-2,0	22,4	-1,2
Ago	15,7	23,3	35,1	21,7	-1,6	21,3	-2
Sep	15,9	22,7	32,9	21,4	-1,3	22,3	-0,4
Oct	15,9	22,5	32,8	20,5	-2,0	20,7	-1,8
Nov	14	22,2	32,1	20,6	-1,6	21,3	-0,9
Dic	15,3	23	33,2	21,2	-1,8	21,1	-1,9
Media	15,3	23	34,2	21,1	-1,9	21,4	-1,68
Máx	16,1	23,6	36,1	21,7	-1,3	22,4	-0,4
Min	14	22,2	32,1	20,5	-2,7	19,8	-3,5

Fuente. Anexo 4120-E1-12774. ANLA.

Adicional a lo anterior, se analizó la variación de la temperatura en el periodo de la línea base y en el periodo luego de entrar en operación el embalse, como se observa en la gráfica 30.

Teniendo en cuenta que la línea base de información de temperatura media está comprendida entre el año 1991 y el año 2001, donde la temperatura es de 23°C, la temperatura para el periodo de operación comprendido entre el año 2001 hasta el año 2011 ha aumentado 0,05°C que es menor al 1,1%, lo cual no es significativo.

Gráfica 66. Variación de temperatura hasta el año 2011. Estación El Mango.



Fuente. Anexo 4120-E1-12774. ANLA.

Según los episodios históricos del niño y la Niña reportados por la NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) en la presentación "ENSO Cycle: Recent Evaluation, Current Status and Predictions" actualizado el 23 de enero de 2012, se presenta alguna relación entre los fenómenos del Niño y las temperaturas media máximas registradas en la estación El mango, como en los años 1992 y 2010, y una relación entre las temperaturas media mínimas del semestre y el fenómeno de la Niña dado que las temperaturas mínimas se presentan en los años 1996 y 2011.

Sin emabargo en el año 2012, la temperatura media registra una de las mas bajas en la estacion con un valor de 21,4 °C que es inferior en 2,2°C respecto al promedio multianual de la linea base (23,6°C), indicando una reduccion en la temperatura posiblemente asociado a la construccion del embalse, especialmente si se tiene en cuenta los registros del fenomeno de Niño y Niña presentados por la NOAA, en los cuales el año 2012 no fue influenciado por el fenomeno climatico de la Niña. Esto indica que efectivamente la entrada en operación del embalse Porce II sí influyó en la variacion de temperatura registrada en la estación El Mango y que los cambios en la temperatura no se pueden atribuir solamente a cambios climaticos globales.

- ***Humedad relativa***

Para el año 2011, los meses que presentaron mayor incremento de la humedad relativa fueron enero, mayo y julio. En estos casos, la humedad relativa media fue 4% mayor a lo presentado por los mismos meses en la línea base. En todos los meses el valor promedio mensual de la humedad relativa fue superior al valor medio mensual respectivo de la línea base entre el 2% y el 4%. (ANLA) (Ver tabla 20).

Para el año 2012, en cuanto a la humedad relativa los valores mínimos en general estuvieron por encima de los valores mínimos de sus líneas bases, presentando una humedad mínima relativa de 11,8% en el mes de septiembre por debajo de la línea base en este mes. Los valores promedios: en los meses de julio, septiembre, octubre, noviembre y diciembre estuvieron por debajo de la línea base, los demás superaron la línea base. Los valores de humedad relativa máxima en la estación presentaron valores similares a los de la línea base. (ANLA)

Tabla 200. Humedad relativa mínima, media y máxima línea base y año 2011 y 2012. Estación El Mango. (%)

HUMEDAD RELATIVA (%)							
Mes	Linea Base (1991-2000)			2011		2012	
	Mín	Med	Máx	Med	Variación	Med	Variación
Ene	22	77,5	100	80,6	3,1	82	4,5
Feb	20,3	77	100	79,6	2,6	77	0
Mar	23	78,4	100	80,8	2,4	81,5	3,1
Abr	29,2	81,1	100	84	2,9	83,7	2,6
May	29,1	81,6	100	85	3,4	83,8	2,2
Jun	26	80,6	100	82,6	2,0	79,8	-0,8
Jul	22,9	77,9	100	81,1	3,2	78	0,1
Ago	23	78,5	100	80,5	2,0	80,6	2,1
Sep	27	80,9	100	81,5	0,6	77,2	-3,7
Oct	27,5	82,4	100	85,1	2,7	83,1	0,7
Nov	36	83,8	100	86,5	2,7	83,6	-0,2
Dic	34	83,1	100	85,6	2,5	82,2	-0,9
Media	26,7	80,2	100	82,7	2,5	81	0,81
Máx	36	83,8	100	86,5	3,4	83,8	4,5
Min	20,3	77	100	79,6	0,6	77	-3,7

Fuente. Anexo 4120-E1-12774. ANLA.

La humedad relativa presenta un comportamiento similar a la registrada en la línea base, con valores medios mensuales superiores al promedio histórico de la línea base (entre 2 y 4%). Los valores máximos instantáneos registrados durante el 2011, se encuentran dentro del rango de valores históricos de la línea base (ningún valor máximo instantáneo

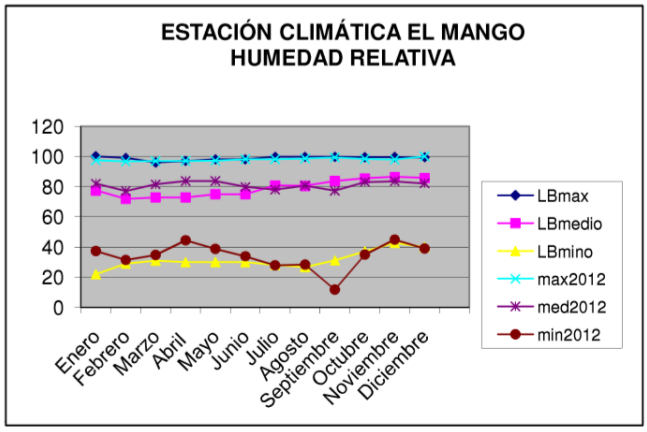
registra por encima de la línea base máxima histórica y ningún valor mínimo registrado se encuentra por debajo de la línea base a excepción del mes de abril). Para el año 2012, la humedad relativa presenta un comportamiento similar a la registrada en la línea base con valores medio mensuales superiores al promedio histórico de la línea base (entre el 1 y el 2,5%). Los valores máximos instantáneos registrados durante el año de 2012, se encuentran dentro del rango de valores históricos de la línea base. (ANLA)

Teniendo en cuenta la línea base de información de humedad relativa está comprendida entre el año 1991 y el año 2000, donde presenta un valor medio de 79,8%, la humedad relativa media para el periodo de operación comprendido entre el año 2001 hasta el año 2011 ha aumentado 5,8 puntos.

La humedad relativa media para el periodo 1991-2000 (sin embalse), tiene una tendencia creciente con un aumento de 0,9 puntos porcentuales por año y para el periodo 2001-2012 (con embalse), la serie presenta una tendencia decreciente esto puede deberse a los cambios de clima globales o al cambio de tecnología en los sensores que se realizó en el año 1998. (Ver gráfica 32). (ANLA)

Según los episodios históricos del Niño y La Niña reportados por la NOAA en la presentación "ENSO Cycle: Recent evaluation, current status and predictions" actualizado el 23 de enero de 2012, no se observa relación entre los fenómenos del Niño y La Niña y los valores medios de humedad relativa registrados en la estación el mango.

Gráfica 31. Humedad relativa línea base y año 2012. Estación El Mango.

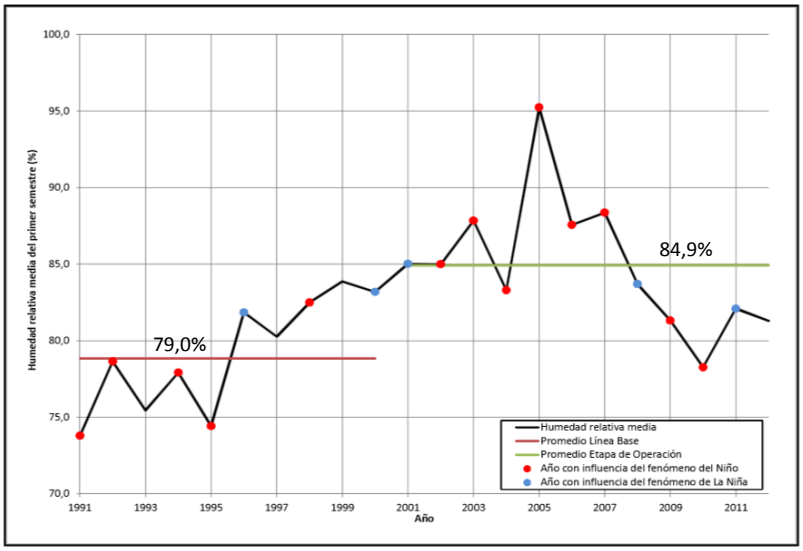


Fuente. Anexo 4120-E1-27633. ANLA.

Teniendo en cuenta que el valor de humedad relativa en el año 2012 (81,0) está comprendido entre el año 2001 y el año 2012, donde se presenta un valor medio de 84,9, la humedad relativa media para el año 2012 es muy similar a la del periodo sin embalse que es de 79,0.

Sin embargo el aumento en el valor promedio de humedad relativa del periodo comprendido entre el año 2001 y el año 2012, indica que la entrada en operación del embalse Porce II si influyó directamente en las variaciones en la humedad relativa registrada en la estación El Mango.

Gráfica 32. Variación de humedad relativa hasta el año 2012. Estación El Mango.



Fuente. Anexo 4120-E1-27633. ANLA.

- ***Evaporación***

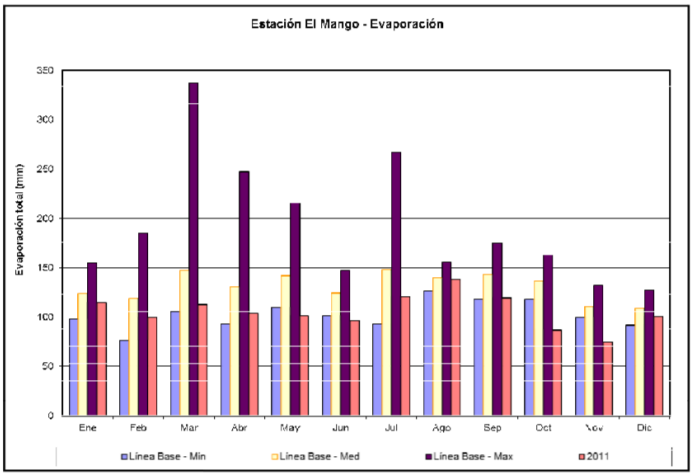
De acuerdo con el histograma, para la elaboración, se observa un comportamiento homogéneo con valores inferiores para el año 2011, con respecto a los promedios mensuales históricos de la línea base. Los valores de la evaporación se encuentran entre el 7% y el 36% inferior a los registrados en la línea base. La media con un valor de orden de 105,9mm es un 19% inferior a la registrada en la línea base con un valor del orden de 131,2 mm. Ningún valor mensual registra por encima de la media histórica de la línea base. (ANLA)

Tabla 21. Evaporación mínima, media y máxima línea base, año 2011 y 2012. Estación El Mango. (mm)

EVAPORACION (mm)							
Mes	Linea Base (1991-2000)				2011		2012
	Mín	Med	Media diaria	Máx	Total Mensual	Media Diaria	Total Mensual
Ene	98	123,6	4	155,1	114,6	3,7	108,7
Feb	76,8	118,8	4,2	185,1	100	3,6	117,6
Mar	106	147,4	4,8	337,1	112,6	3,6	113,8
Abr	93,3	130,5	4,3	247,3	103,8	3,5	108,5
May	109,7	142	4,6	215,4	101,6	3,3	101,6
Jun	101,2	124,6	4,2	147,4	96,5	3,2	100,3
Jul	93,2	148	4,8	267,2	121,1	4,0	128
Ago	126,5	140,1	4,5	155,4	138,7	4,5	121,1
Sep	118,3	143,4	4,8	175,1	119,3	4,4	114,8
Oct	118	136,4	4,4	162,8	86,9	3,6	109,2
Nov	99,7	110,8	3,7	132	74,8	3,1	87,52
Dic	91,8	108,5	3,5	127,4	100,8	3,3	100,2
Media	102,7	131,2	4,3	192,3	105,9	3,7	109,3
Máx	126,5	148	4,8	337,1	138,7	4,5	128
Min	76,8	108,5	3,5	127,4	74,8	3,1	87,52
Total		1574,1			1270,7		1311,32

Fuente. Anexo 4120-E1-12774. ANLA.

Gráfica 673. Evaporación línea base y año 2011. Estación El Mango.

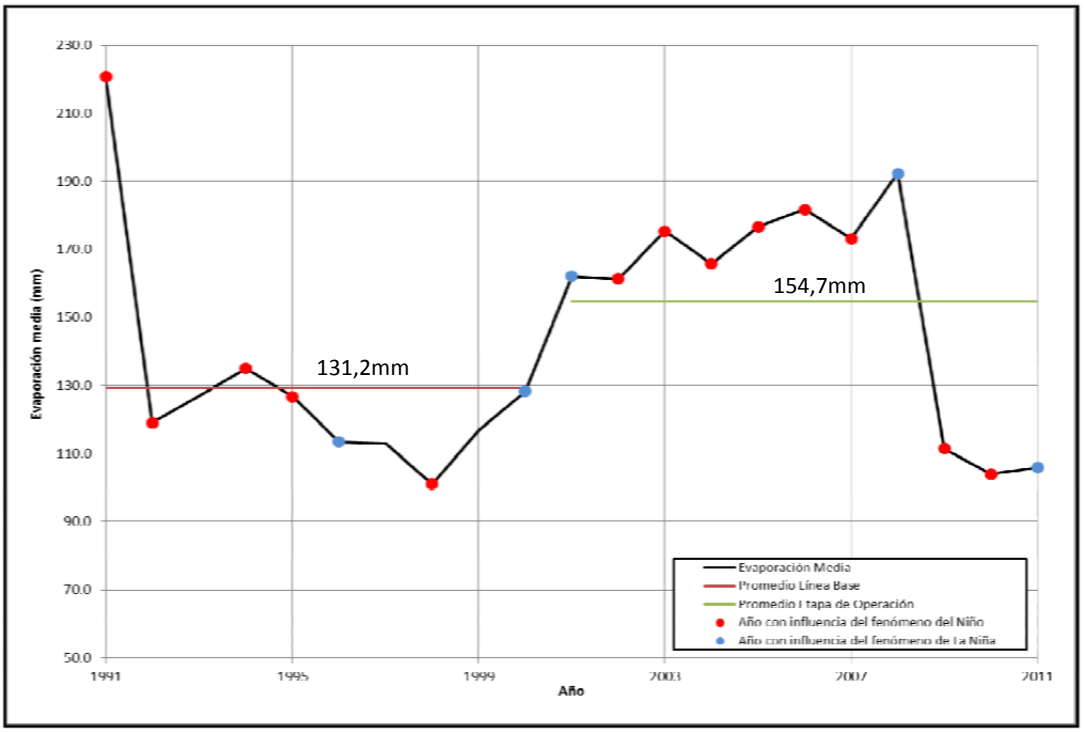


Fuente. Anexo 4120-E1-12774. ANLA.

Teniendo en cuenta que la línea base de información de evaporación media en el primer semestre está comprendida entre el año 1991 y el año 2000, donde la evaporación es de 131,2mm, la evaporación para el periodo de operación comprendido entre el año 2001 hasta el año 2011 ha aumentado 23,5 mm que equivale al 17%. (ANLA)

La evaporación media del año 2011 es una de las más bajas registradas en la estación con un valor de 105,9 mm, que es inferior en 48,8 mm respecto al promedio multianual de la etapa de operación (154,7).

Gráfica 34. Variación de evaporación hasta el año 2011. Estación El Mango.



Fuente. Anexo 4120-E1-12774. ANLA.

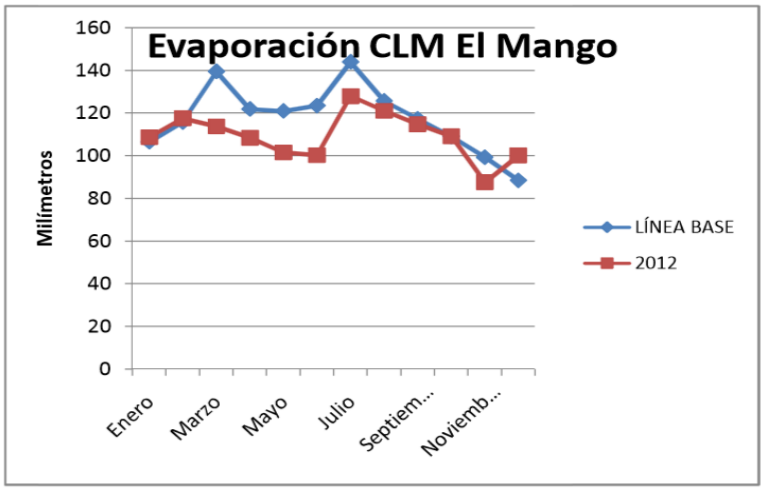
En cuanto a la evaporación total en el año 2012, en la estación El Mango fue menor a la de la línea base.

Los valores de evaporación se encuentran entre el 1% y el 23% inferior a los registrados en la línea base. La media para el año 2012 con un valor del orden de 109,6 mm es un 7,6% inferior a la registrada en la línea base con un valor del orden de 117,7 mm. Los meses de enero, febrero y diciembre están por encima de la línea base.

Teniendo en cuenta que la línea base de información de evaporación media en el año 2012 está comprendida entre el año 1991 y el año 2000, donde la evaporación es de 131,1 mm, la evaporación para el periodo de operación comprendido entre el año 2001 hasta el año 2012 ha aumentado 15,7 mm que equivale el 12%. (ANLA)

La evaporación para el año 2012 se calculó mediante la ecuación propuesta por la ASCE (Ammerican Society for Civil Engineers), que consiste en la variante más moderna de la ecuación Penman Montieth para estimar evapotranspiración, para lo cual se utilizaron cálculos horarios, luego se totalizaron a valores diarios y por ultimo a valores mensuales. Esta metodología difiere de los estimativos anteriores (1991-2007), debido a que la línea base fue tomada de la evaporación medida en tanque. Teniendo en cuenta lo anterior los resultados obtenido en la estación El Mango en los meses de enero, febrero y diciembre superan los valores de la línea base, los demás fueron inferiores. (ANLA)

Gráfica 35. Evaporación línea base y año 2011. Estación El Mango.



Fuente. Anexo 4120-E1-12774. ANLA.

La evaporación media del año 2012 es una de las más bajas registradas en la estación con un valor de 109,3 mm, que es inferior en 37,54 mm respecto al promedio multianual de etapa de operación (146,8).

La evaporación media para el periodo 1991-2000 (sin embalse), tiene una tendencia descendente con una pérdida de 7 mm por año y sin embargo para el periodo 2001 – 2012 (con embalse), la serie presenta un aumento significativo en el promedio, lo que indica que la entrada en operación del embalse sí afecto el comportamiento de la tendencia. (ANLA)

Esto indica que el aumento en la evaporación puede atribuirse a la entrada en operación del embalse Porce II, teniendo en cuenta que según los episodios históricos del Niño y Niña presentados por la NOAA no se observa relación entre estos fenómenos y la variación en la evaporación registrada en la estación El Mango.

5.5 PERCEPCIÓN DE LA COMUNIDAD SOBRE ALTERACIÓN DEL MESOCLIMA

5.5.1 Embalse Miel I

Según la información suministrada por los encuestados, se han evidenciado cambios en el comportamiento del clima. El 84,4% de la población como se muestra en la tabla 25 ha identificado aumento de temperatura en el día, el 50% de la población ha visto un aumento significativo en las lluvias y el 43,8% ha evidenciado aumento de temperatura en la noche y aumento de humedad.

Tabla 22. Cambios en el comportamiento del clima Norcasia - Caldas

Descripción	No	%
Aumento de temperatura de día	27	84,4
Aumento de lluvia	16	50,0
Aumento de temperatura de noche	14	43,8
Aumento de humedad	14	43,8
Disminución de temperatura de noche	9	28,1
Mayor nubosidad	7	21,9
Menor nubosidad	6	18,8
Disminución de lluvia	4	12,5
Neblina	3	9,4
Disminución de humedad	2	6,3
Disminución de temperatura de día	2	6,3

Fuente. Los Autores.

El 34,4% de la muestra poblacional encuestada en el municipio de Norcasia-Caldas le atribuyen los cambios en el clima al calentamiento global y un 25% a los efectos causados por la construcción y funcionamiento del embalse Miel I.

A la hora de realizar la pregunta relacionada con el tiempo desde el cual han notado cambios en el clima se pudo evidenciar que los encuestados presentaban cierta dificultad en el momento de determinar un tiempo en el cual han notado cambios, debido a la falta de información acerca de la fecha o el año exacto de la construcción del embalse Miel I, sin embargo el 31,3% de la población encuestada respondió que hace 16 años o más han evidenciado estos cambios mencionados anteriormente, lo que llevaría a concluir que a

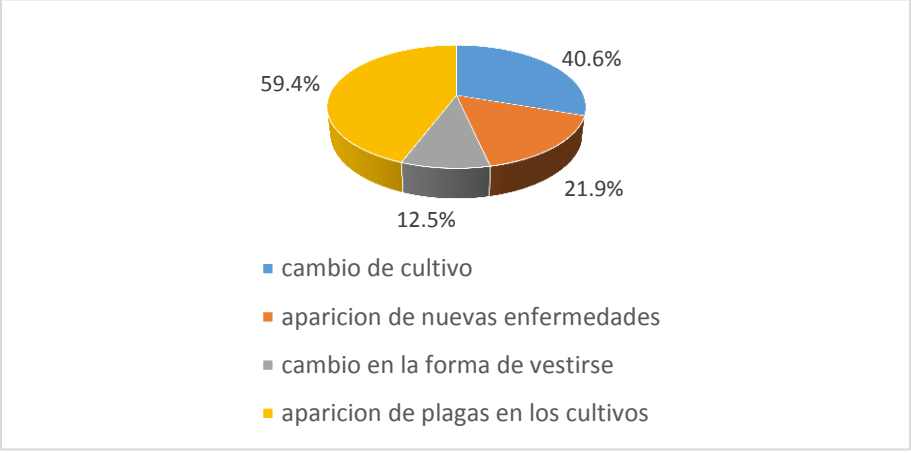
pesar de no tener la fecha exacta, los habitantes si tienen claro que a partir de la construcción de la embalse se han ocasionado diferentes cambios en el clima.

Tabla 23. Tiempo a partir del cual se presentaron cambios en el clima Norcasia – Caldas.

A partir de cuándo se han presentado cambios en el clima	%
0-5 años	25
6-10 años	12,5
11-15 años	15,625
16 o más años	31,25

Fuente. Los Autores.

Otro tema importante que fue necesario plantear en las encuestas es las implicaciones o consecuencias que han traído estos cambios en el clima para los diferentes sectores llegando a la conclusión que es en el sector agrícola en el cual se han evidenciado las peores consecuencias debido a que 19 de las 32 personas encuestadas ha evidenciado aparición de plagas y 13 personas han notado cambio en los cultivos, esto no ha permitido el desarrollo normal de sus economías y de su forma de subsistir, es por esto que muchos de los agricultores han decidido abandonar su actividad de toda la vida como cultivadores y han preferido trabajar con ISAGEN, entidad que les ha brindado muchas oportunidades para salir adelante además de empleo e inversión en infraestructura vial en Norcasia-Caldas. Los pocos cultivadores que han insistido en sacar adelante sus cultivos han tenido que hacer uso de diferentes químicos con el fin de evitar todas las plagas que pueden atacarlos y dañarlos.



Gráfica 36. Consecuencias de la construcción del embalse Miel I. Fuente. Los Autores.

Cuando se preguntó a los encuestados directamente si creían que los cambios evidenciados en el clima estaban relacionados con la construcción del embalse Miel I, el 59,4% respondió que sí, lo que lleva a concluir que según lo estudiado por medio de cálculos donde efectivamente se evidenciaba un cambio en el clima, concuerda con lo mencionado por la población. (Ver Tabla 27)

Tabla 24. Opinión acerca de la relación entre el cambio del clima y la construcción del embalse Miel I.

¿Cree que los cambios en el clima están relacionados con la construcción del embalse la miel I?	%
Si	59,4
No	31,3

Fuente. Los Autores.

5.5.2 Embalse Porce II

En el anexo 2 se evidencia el tipo de encuesta por vía telefónica aplicada a 6 funcionarios de la alcaldía municipal de Amalfi, sin embargo no se obtuvieron las respuestas esperadas ya que las personas encuestadas pertenecían a la zona urbana del municipio y no tenía contacto alguna con zonas rurales por lo tanto no tenían buen conocimiento de la influencia que había tenido la construcción del embalse Porce II en esta zona. Por esta razón nos vimos obligados a buscar información en el Ministerio de Agricultura y en la ya mencionada Autoridad Nacional de Licencias Ambiental.

Para empezar a hablar de las posibles alteraciones del clima por la construcción del embalse es importante aclarar el uso del suelo en el municipio más cercano al embalse, es decir Amalfi, allí el 29,4% representa un uso pecuario, el 12,3% se utiliza para temas agrícolas y el 29,1% representa el uso forestal.

En el expediente LAM 3823 correspondiente a la central hidroeléctrica Porce II, específicamente en el plan de monitoreo ambiental que tenía como uno de sus objetivos observar las consecuencias traídas por la puesta en operación del embalse, se realizaron

visitas al municipio de Amalfi, directamente se entrevistó al alcalde de la época el Señor Oscar Mario García y este informo acerca de proyectos de renovación de árboles de café y siembra de caucho. Por otra parte, en visita al municipio de Gomez Plata también cercano al embalse, se informo acerca de la construcción de pozos sépticos, proyectos de caucho así como también proyectos educativos para las comunidades en estas zonas, todo esto bajo la financiación de la empresa EPM.

Además de esto se entrevistó a la presidente de la junta de acción comunal de la vereda El Encanto perteneciente al municipio de Amalfi quien lleva viviendo en la zona 13 años y los anteriores 30 años en el vecino municipio de Guadalupe, según la información suministrada por ella, los impactos que ha generado el proyecto a raíz de la inundación del corregimiento de la cantana que fue requerido para llenar el embalse, la zona quedo muy despoblada, no obstante las familias cuyo predio fue afectado las incluyeron en reasentamientos y compensados económicamente, y las pocas familias ubicadas en las zonas altas del corregimiento que quedaron inicialmente, vendieron y se fueron al no tener vecinos con quien asociarse para las actividades económicas, no hay empleo y se acabó la actividad minera de tradición afectando las actividades económicas de la zona.

Actualmente la vereda El Encanto aledaña al corregimiento La Catana está conformada por 68 familias que derivan su sustento del trabajo por jornal, que sale para otras fincas productivas en la zona, tienen cultivo de subsistencia, a nivel de infraestructura y servicios educativos cuentan con la escuela El Encanto con 48 alumnos.

En la visita realizada por la autoridad encargada de realizar los planes de manejo ambiental al municipio de Gomez Plata, se evidencio que se alternan las contrataciones de EPM con la otra cooperativa de trabajo asociado también de la zona, con el fin de tener equidad y oportunidad de empleo. Por su parte EPM invita a participar a personal de los municipios del área de influencia aledaños al proyecto en igualdad de condiciones, este manejo alterno ha permitido mantener buenas oportunidades e índices de empleo a excepción del resto del país. El objeto de las contrataciones varía entre mantenimiento a las edificaciones de EPM, carpintería, electricista, rocería, oficiales obra gris y blanca, peones, obreros y tecnólogos en obra civil.

Respecto a los cambios en la cobertura del suelo, durante los primeros 10 años de monitoreo posteriores a la construcción del embalse, se observó un cambio considerable de rastrojos bajos. Los bosques primarios intervenidos entre los años 2001 y 2011 han disminuido en porcentajes menores. Los cambios desfavorables, se presentan en el 12,89% del área, correspondiente a 1.112,67 ha, estos cambios se dieron principalmente por la tala de bosques y rastrojos en diferentes estados sucesiones y el establecimiento de pastizales para ganadería en predios propiedad de particulares. (ANLA)

Además de esto en el estudio del plan de manejo ambiental se presentan los principales impactos ecológicos entro estos esta las inundaciones por la operación de la descarga de fondo y del vertedero, reducción o perdida de caudales de corrientes superficiales por la construcción de túneles, reducción del área pecuaria por la sustracción de 242 ha de pastizales, personas que deberán ser relocalizadas y que deberán abandonar sus antiguas viviendas y negocios y demás bienes afectados por el proyecto.

Es importante tener claro que los terrenos que se explotaron para el proyecto, tenían un área cultivada de 19,8 ha y 1.648 cabezas de ganado (2,7% de la ganadería total de los municipios) y se producían 51.979 gramos de oro en el año (representa el 13% del total de los municipios de Yolombo, Gomez Plata y Amalfi).

Respecto a los impactos en el mesoclima en las áreas de influencia al embalse Porce II se puede evidenciar que el mayor impacto está relacionado con el empleo de la población directamente así como también en el proceso de desplazamientos y reubicación de las poblaciones. Al tener esta zona poca producción agrícola no se evidenciaron muchos cambios a nivel de cultivos y de aparición de plagas. Aunque se evidencia un impacto en el mesoclima asociado a la construcción del embalse Porce II, el impacto socioeconómico es bajo.

6. CONCLUSIONES

- En una extensión de 38,29 km^2 se evidencia incremento de la precipitación del 0-1,76% posterior a la construcción del embalse Porce II, coincidiendo con el área más próxima al sitio de presa. Esto contrasta con la reducción en la precipitación que se observa en la parte restante de la cuenca del río Porce.
- En una extensión de 131,52 km^2 se evidencia incremento de la precipitación posterior a la construcción del embalse Miel I, coincidiendo con el área más próxima al sitio de presa. El aumento de esta alcanza un valor máximo de 24% en una extensión de 34,27 km^2. Sin embargo los registros meteorológicos de la estación Samaná no evidencian cambios a nivel anual en parámetros meteorológicos como evaporación, humedad relativa y temperatura, por lo tanto la variable sensible a cambio en la zona del embalse Miel I es la precipitación, estos resultados se justifican en la alta humedad de la región.
- Se observó que las áreas afectadas por variación de la precipitación tanto en Miel I como en Porce II, tuvieron similitud en cuanto son concéntricas alrededor del sitio de presa y presentaron un incremento de precipitación superior al resto de la cuenca.
- Las encuestas evidencian que posterior a la construcción del embalse Miel I si ha habido cambios en el clima, como aumento de temperatura, lluvia y humedad, trayendo como consecuencia la aparición de plagas en los cultivos y el cambio de los mismos, es decir que el impacto ha recaído sobre el sector agrícola de la región.
- Se pudo concluir que en el proceso de construcción y operación de embalses si existe cierta influencia en la variación del mesoclima de las regiones aledañas debido a que con la conformación de la lámina de agua producida por el represamiento de esta, se aumenta la precipitación, sin embargo, es importante aclarar que esto no implica que necesariamente exista cambio significativo en otros parámetros como humedad relativa, evaporación y temperatura, por lo tanto se puede afirmar que la precipitación es una variable representativa del impacto en el cambio del mesoclima.

- La disponibilidad de una red de estaciones más densas alrededor del embalse Miel I permitió un análisis más preciso, así como la plena identificación del área de influencia, en tanto que en Porce II las estaciones están más distantes, lo cual ni permitió establecer con precisión el porcentaje de incremento de la precipitación.
- Respecto a la información obtenida en el banco de datos de la Autoridad Nacional de Licencias Ambiental se puede concluir que la construcción y operación del embalse Porce II no afecto significativamente el mesoclima de las zonas de influencia a este, esto concuerda con lo obtenido en los análisis de los registros de precipitación mensual.

7. RECOMENDACIONES

- En el desarrollo de nuevos proyectos con embalses se recomienda la instalación de redes de estaciones en las zonas próximas al embalse, debido a que en el desarrollo de esta investigación se presentaron dificultades por la localización de las estaciones distantes al área inundada, entre estas estaciones al menos una debe ser climatológica.
- Según lo encuestado se observó que el sector con mayor afectación por la construcción del embalse fue el agrícola, por lo tanto se recomienda que en futuros proyectos de conformación de embalses existan medidas de mitigación para los problemas asociados.
- Al realizar estudios de impacto ambiental se debe considerar construir previamente una línea base o red de estaciones con registro amplio antes y después de la conformación de cada embalse, además de esto es necesario que las estaciones evalúen diferentes variables necesarias como precipitación, humedad relativa, evaporación y temperatura.
- En particular, para los proyectos hidroeléctricos, se debe tener en cuenta planes de manejo de compensación para los impactos asociados al cambio en el mesoclima, incluyendo optimización de las formas de producción acorde con el proyectado de condiciones climáticas que se esperan en las áreas próximas al embalse.

BIBLIOGRAFIA

agricultura, M. d. (2016).

Álvarez & Avellaneda, I. (2015). *Identificacion de impactos en el sector agricola y en la energia disponible de la central hidroelectrica AES CHIVOR, asociados a la variacion en el mesoclima producto de la formacion antropica de la lamina de agua del embalse La Esmeralda.*

ANLA, A. N. (s.f.). *Anexo 4120-E1-12774.*

AstroMía. (2016). Obtenido de http://www.astromia.com/glosario/humedad.htm

Astromia. (2016). *Astromia*. Obtenido de http://www.astromia.com/glosario/humedad.htm

Barros de Souza, M., & Galvani, E. (2010). *FORMAÇÃO DE RESERVATÓRIOS E INFLUÊNCIAS NO MICROCLIMA:.* Sao Paulo.

Bustamante, C. (2008). *Efectos ambientales generados por la construccion y operacion de un embalse.* Sincelejo.

Camuffo, D. &. (2002). *The microclimate inside the Pollaiolo and Botticelli romos in the Uffizi Gallery.* Florence: Journal of Cultural Heritage.

Carpio, J. M. (2005). FOBOMADE - Foro Boliviano sobre Medio Ambiente y Desarrollo.

Carpio, J. M. (2005). *ANÁLISIS DE LOS ESTUDIOS DE IMPACTO AMBIENTAL DEL COMPLEJO HIDROELÉCTRICO DEL RÍO MADERA HIDROLOGÍA Y SEDIMENTOS.* FOBOMADE - Foro Boliviano sobre Medio Ambiente y Desarrollo.

Cortes, M. d. (s.f.). *Temperatura.* Academia de Bioinstrumentacion.

ENDESA. (2010). *Embalses y medio ambiente.*

ENDESA. (2010). *Embalses y medio ambiente.*

ENDESA. (2010). *EMBALSES Y MEDIO AMBIENTE.*

Hidrologico, C. (s.f.). *Ciclo Hidrologico*. Obtenido de http://www.ciclohidrologico.com/evaporacin

IDEAM. (s.f.). *Cambio climatico.*

Limberger, L. &. (2008). *Mudanças climáticas globais e alterações climáticas: a participação dos grandes reservatórios de usinas hidrelétricas.* Brasil.

Limberger, L. (2012). *Percepcao climatica de moradores lindeiros ao reservatorio da usina hidreletrica de Itaipu.*

Loaiza, S. P. (2016). *Cuantificación de gases de invernadero generados en represa y embalses tropicales: Caso Calima.* Universidad Nacional de Colombia.

Perez, G. (February de 2016). *Precipitacion - Ciclo hidrologico (del agua) .* Obtenido de http://www.ciclohidrologico.com/precipitacion

Retamal, C. (2011). *IDENTIFICACIÓN Y ANÁLISIS DE LOS IMPACTOS GENERADOS EN EL ÁREA DE INFLUENCIA DIRECTA DEL EMBALSE PUNTILLA DEL VIENTO EN EL VALLE DE ACONCAGUA.*

Roman, F. J. (s.f.). *El ciclo hidrologico.* España: Universidad Salamanca .

Sostenible, M. d. (26 de 05 de 2015). *Decreto Único Reglamentario del Sectro Ambiente y Desarrollo Sostenible.* Obtenido de https://www.minambiente.gov.co/index.php/normativa/decretos

Tecnologia, F. (2004). *Metereologia y Climatologia.*

TECNOLOGÍA, F. E. (2004). *Meteorología y Climatología.*

Vidal, J. (2009). *Investigacion sobre estudios de impacto ambiental para proyectos de embalses de agua .* Bucaramanga.

ANEXOS

Anexo 1

Formato de encuesta

Se les realizo la siguiente encuesta a los habitantes de Norcasia- Caldas:

1. DATOS GENERALES

1.1 Nombre _____ 1.2 Edad _____ años

1.3 Ocupación _____ 1.4 Tiempo en la región _____ años

2. COMPORTAMIENTO DEL CLIMA

De 1 a 10, 10 siendo el mes más lluvioso y 1 el menos lluvioso, califique cada uno de los meses.

Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Valor												

3. COMPORTAMIENTO DE LA ZONA

3.1 ¿Ha evidenciado cambios en el comportamiento del clima en la región?

	Aumento de lluvia		Disminución de temperatura de día		Mayor Nubosidad
	Disminución de lluvia		Disminución de temperatura de noche		Menor Nubosidad
	Aumento de temperatura de día		Aumento de humedad		Neblina
	Aumento de temperatura de noche		Disminución de humedad		Otra ¿Cuál?

Explique _____

3.2 Posibles causas _____

3.3 A partir de cuándo _____

4. ¿Qué implicaciones o consecuencias ha traído?

	Cambio de cultivo		Cambio en la forma de vestirse
	Aparición de nuevas enfermedades		Aparición de plagas en los cultivos

Explique _____

5. ¿Cree que los cambios en el clima están relacionados con la construcción del embalse La Miel I?

_____
_____
_____

Anexo 2

Formato de encuesta telefónica

Se les realizo la siguiente encuesta por vía telefónica a los habitantes de Amalfi- Antioquia:

1. Nombre, Ocupación y tiempo en la región?
   _____
   _____
   _____

2. ¿Ha evidenciado cambios en el comportamiento del clima en la región?
   _____
   _____
   _____
   _____

3. ¿Qué implicaciones o consecuencias ha traído estos cambios?
   _____
   _____
   _____
   _____

4. ¿Cree que los cambios en el clima están relacionados con la construcción del embalse Porce II?
   _____
   _____
   _____
   _____