

CARACTERIZACIÓN ESPACIO TEMPORAL DE LA PRECIPITACIÓN EN EL
DEPARTAMENTO DE BOYACÁ

TATIANA DANIELA PIRAZÁN AVILA



UNIVERSIDAD SANTO TOMAS
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
TUNJA
2014

CARACTERIZACIÓN ESPACIO TEMPORAL DE LA PRECIPITACIÓN EN EL
DEPARTAMENTO DE BOYACÁ

TATIANA DANIELA PIRAZÁN AVILA

Proyecto de grado en modalidad “Tesis” presentado como
requisito para obtener el título de Ingeniero Civil

Asesor Técnico y Metodológico

Ingeniera Laura Natalia Garavito Rincón

UNIVERSIDAD SANTO TOMAS
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
TUNJA
2014

AGRADECIMIENTOS

El autor expresa sus agradecimientos a:

En primer lugar agradezco a Dios Padre por darme la vida y la bendición de tener a mi lado personas que de una u otra manera han hecho parte de mi formación personal y profesional.

A la Ingeniera Laura Garavito por su explicación, guía y acompañamiento en la elaboración de esta investigación, como por su gentileza, sus consejos y su amistad.

A Oscar y Fabián por su apoyo e incondicional ayuda en la terminación de este documento.

A mi hermosa familia, que ha sido mi compañía y sustento durante toda mi vida.

A mis amigas y amigos por todo lo vivido y compartido.

A ustedes, lectores.

*“Nuestra recompensa se encuentra en el esfuerzo
y no en el resultado .. Un esfuerzo total,
es una victoria completa”*

Mahatma Gandhi.

*Este resultado es dedicado con todo el cariño
a las personas que más amo en la vida...
A mis padres Gratiniano y Zoraida, quienes me
han apoyado siempre para seguir adelante y
lograr cada sueño, brindándome su amor
y compañía en todo momento,
a mis hermanos, monita, leo y picara
por cada aporte y enseñanza que me han
regalado para mi crecimiento personal
y profesional, a Oscar Fabián, Margarita
y Cristian por su inmensa colaboración
para la culminación de esta
etapa de mi vida...
A mis sobrinos por su compañía*

A toda mi familia.

Gracias.

Nota de aceptación

Presidente del Jurado

Jurado

Jurado

Tunja ____ de _____ del 2014.

CONTENIDO

Pág.

ABSTRAC.....	15
RESUMEN.....	16
INTRODUCCIÓN.....	17
1 PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	18
1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	18
1.2 PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN	22
1.3 JUSTIFICACIÓN.....	23
2 OBJETIVOS.....	24
2.1 Objetivo general.....	24
2.2 Objetivos específicos:	24
3 ESTADO DEL ARTE.....	25
3.1 ANTECEDENTES HISTORICOS	25
3.2 APROXIMACIÓN CONCEPTUAL	36
3.2.1 Aspectos fundamentales de la Morfología	36
3.2.2 Aproximación al concepto de Precipitación.....	37
3.2.3 Elementos fundamentales de la Precipitación.....	37
3.2.4 Aproximación al concepto de Clima	38
3.2.5 El clima en Boyacá.....	38
3.2.6 Climas presentes en el departamento de Boyacá.....	38
3.2.7 Influencia del clima en Boyacá.....	39
3.2.8 Proximidad al concepto de variabilidad climática	40
3.2.9 Aproximación conceptual de Anomalía Climática	40
3.2.10 Elementos fundamentales del análisis estadístico.	45
4 MATERIALES Y MÉTODOS.....	56
4.1 MÉTODOS UTILIZADOS.....	56
4.2 RELACION DE HERRAMIENTAS	56
4.3 METODOLOGÍA.....	57
5 ANÁLISIS Y DISCUSIÓN.....	61
5.1. DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO	61
5.1 INFLUENCIA DE LOS VIENTOS EN LA PRECIPITACIÓN.....	61
5.2 CARACTERISTICAS GEOMORFOLOGICAS DEL DEPARTAMENTO DE BOYACÁ.....	66

5.2.1	Geología.....	66
5.2.2	Hidrología e Hidrografía (Ver Mapa 5)	68
5.2.3	Cobertura vegetal y Uso del suelo de la región Boyacense	71
5.2.4	Morfología	73
5.3	DESCRIPCIÓN DE LA RED METEOROLOGICA	74
5.3.1	Red de medición hidrometeorológica del departamento de Boyacá	74
5.3.2	Periodo de Análisis de la precipitación	76
5.4	ANÁLISIS ESTADÍSTICO	77
5.4.1	Descripción del comportamiento temporal de la precipitación.	78
5.4.2	Análisis de la influencia de la altura en la precipitación.....	88
5.5	DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LA LLUVIA	89
5.5.1	Resultado validación cruzada	89
5.5.2	Comportamiento espacial de la lluvia.....	90
5.6	CORRELACIÓN LINEAL DE LAS VARIABLES MACROCLIMÁTICAS SOI Y SST CON LA PRECIPITACIÓN.	93
5.6.1	Correlación SOI con la precipitación	94
5.6.2	Correlación SST con la precipitación	96
5.6.3	Identificación de la presencia de los fenómenos El Niño y La Niña en el Departamento de Boyacá	98
6	CONCLUSIONES	100
7	RECOMENDACIONES	104
	GLOSARIO	106
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	109
	APENDICES Y ANEXOS.....	114

LISTA DE TABLAS

Pág.

Tabla 1.	Característica del terreno según la pendiente de la cuenca.....	36
Tabla 2.	Comparación entre métodos de Interpolación	51
Tabla 3.	Referencias Métodos de Interpolación	52
Tabla 4.	Criterios para elegir el método de interpolación	54
Tabla 5.	Formaciones Estratigráficas	67
Tabla 6.	Uso de suelo de la región Boyacense	72
Tabla 7.	Número de estaciones por provincia.	76
Tabla 8.	Resultado correlación SOI con la precipitación.	172
Tabla 9.	Resultado correlación SST con la precipitación.	175

LISTA DE FIGURAS

Pág.

Figura 1.	Circulación atmosférica en condiciones normales y El Niño	42
Figura 2.	Regiones de Monitoreo para el Indicador SST.....	43
Figura 3.	Efecto Foehn.....	62
Figura 4.	Circulación vientos alisios (ZCIT).....	63
Figura 5.	Vientos alisios Suramérica	64
Figura 6.	Validación Cruzada	90

LISTA DE FOTOGRAFÍAS

Pág.

Fotografía 1.	Fenómeno de “EL NIÑO” podría volver.	19
Fotografía 2.	Inundación en la Av. Norte.-Tunja	20
Fotografía 3.	Impactos fenómeno climático del Niño.	31

LISTA DE GRÁFICAS

Pág.

Gráfica 1. Porcentajes de casos de anomalías de precipitación en la Región Andina durante eventos El Niño.....	34
Gráfica 2. Precipitación media multianual por provincias.	77
Gráfica 3. Correlación Elevación vs Precipitación Media Anual	88
Gráfica 4. Correlación precipitación ALMEIDA con el SOI y SST.....	94
Gráfica 5. Años Niña y Niño según los registros de la NOAA.....	98

LISTA DE MAPAS

Pág.

Mapa 1.	Localización de las estaciones seleccionadas para el desarrollo de la investigación.	58
Mapa 2.	Cobertura vegetal y Uso del Suelo	72
Mapa 3.	División Política Localización Departamento de Boyacá.	116
Mapa 4.	Cuencas Hidrográficas del departamento de Boyacá.....	117
Mapa 5.	Hidrografía.....	118
Mapa 6.	Pendiente del Departamento de Boyacá.	119
Mapa 7.	Orden del Drenaje.	120
Mapa 8.	Red Meteorológica de Boyacá.....	121
Mapa 9.	Distribución espacial de la lluvia en el mes de Enero.....	122
Mapa 10.	Distribución espacial de la lluvia en el mes de Febrero.....	123
Mapa 11.	Distribución espacial de la lluvia en el mes de Marzo.	124
Mapa 12.	Distribución espacial de la lluvia en el mes de Abril.	125
Mapa 13.	Distribución espacial de la lluvia en el mes de Mayo.	126
Mapa 14.	Distribución espacial de la lluvia en el mes de Junio.....	127
Mapa 15.	Distribución espacial de la lluvia en el mes de Julio.....	128
Mapa 16.	Distribución espacial de la lluvia en el mes de Agosto.	129
Mapa 17.	Distribución espacial de la lluvia en el mes de Septiembre.....	130
Mapa 18.	Distribución espacial de la lluvia en el mes de Octubre.	131
Mapa 19.	Distribución espacial de la lluvia en el mes de Noviembre.....	132
Mapa 20.	Distribución espacial de la lluvia en el mes de Diciembre.....	133
Mapa 21.	Distribución espacial de la precipitación máxima media de Enero. ...	134
Mapa 22.	Distribución espacial de la precipitación máxima media de Febrero. 135	
Mapa 23.	Distribución espacial de la precipitación máxima media Marzo.	136
Mapa 24.	Distribución espacial de la precipitación máxima media de Abril.	137
Mapa 25.	Distribución espacial de la precipitación máxima media de Mayo....	138
Mapa 26.	Distribución espacial de la precipitación máxima media de Junio. ...	139
Mapa 27.	Distribución espacial de la precipitación máxima media de Julio.	140
Mapa 28.	Distribución espacial de la precipitación máxima media de Agosto.	141
Mapa 29.	Distribución espacial de la precipitación máxima media de Septiembre.	142
Mapa 30.	Distribución espacial de la precipitación máxima media de Octubre. 143	
Mapa 31.	Distribución espacial de la precipitación máxima media de Noviembre. 144	
Mapa 32.	Distribución espacial de la precipitación máxima media de Diciembre. 145	

Mapa 33.	Distribución espacial de la precipitación anual.....	146
Mapa 34.	Distribución espacial del número de días de lluvias anuales.	147
Mapa 35.	Correlación SOI – Precipitación Enero.....	148
Mapa 36.	Correlación SOI – Precipitación Febrero.....	149
Mapa 37.	Correlación SOI – Precipitación Marzo	150
Mapa 38.	Correlación SOI – Precipitación Abril	151
Mapa 39.	Correlación SOI – Precipitación Mayo.....	152
Mapa 40.	Correlación SOI – Precipitación Junio.....	153
Mapa 41.	Correlación SOI – Precipitación Julio	154
Mapa 42.	Correlación SOI – Precipitación Agosto	155
Mapa 43.	Correlación SOI – Precipitación Septiembre	156
Mapa 44.	Correlación SOI – Precipitación Octubre.....	157
Mapa 45.	Correlación SOI – Precipitación Noviembre	158
Mapa 46.	Correlación SOI – Precipitación Diciembre	159
Mapa 47.	Correlación SST – Precipitación Enero	160
Mapa 48.	Correlación SST – Precipitación Febrero	161
Mapa 49.	Correlación SST – Precipitación Marzo.....	162
Mapa 50.	Correlación SST – Precipitación Abril	163
Mapa 51.	Correlación SST – Precipitación Mayo	164
Mapa 52.	Correlación SST – Precipitación Junio	165
Mapa 53.	Correlación SST – Precipitación Julio	166
Mapa 54.	Correlación SST – Precipitación Agosto	167
Mapa 55.	Correlación SST – Precipitación Septiembre	168
Mapa 56.	Correlación SST – Precipitación Octubre.....	169
Mapa 57.	Correlación SST – Precipitación Noviembre	170
Mapa 58.	Correlación SST – Precipitación Diciembre	171

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
Anexo A. MORFOLOGÍA.....	114
Anexo B. MAPAS.....	115
Anexo C. CORRELACIÓN SOI Y SST CON LA PRECIPITACIÓN.	172
Anexo D. CARPETA ANEXA EN EL CD.....	179

ABSTRAC

In order to analyze the behavior of the precipitation in the Department of Boyaca, and the impact they have macroclimatic variables such as ENSO Southern Oscillation Index (SOI) and the Index of anomalies in sea surface temperature (SST), the characterization of the mean total precipitation, and maximum total number of rainy days recorded by 118 stations distributed in the extension department was held above by statistical analysis of these data and the development of hyetographs, histograms, box plots, and others that allow the description of the behavior of this variable; turn maps of spatial distribution of total rainfall, maximum total number of days and were developed to facilitate the understanding of variability within the department, easily recognizing the areas where it occurs more or less intensity; finally by the impact they have some macroclimatic variables on precipitation analysis was performed.

RESUMEN

Con el fin de analizar el comportamiento de la precipitación en el Departamento de Boyacá, así como la incidencia que tienen variables macroclimáticas tipo ENSO como el Índice de Oscilación del Sur (SOI) y el Índice de las anomalías en la temperatura de la superficie marina (SST), se realizó la caracterización de la precipitación media total, máxima total y número de días de lluvia registrada por 118 estaciones distribuidas en la extensión del departamento, lo anterior mediante un análisis estadístico de estos datos, así como la elaboración de hietogramas, histogramas, diagramas de caja, entre otros que permitan la descripción del comportamiento de esta variable; a su vez se elaboraron mapas de distribución espacial de la precipitación media total, máxima total y número de días, para facilitar el entendimiento de su variabilidad dentro del departamento, reconociendo fácilmente las zonas donde se presenta mayor o menor intensidad; finalmente se efectuó el análisis correspondiente a la incidencia que tienen algunas variables macroclimáticas sobre la precipitación.

INTRODUCCIÓN

La variabilidad de la precipitación afecta de diversas formas la actividad humana, generando impactos socioeconómicos y ambientales de grandes proporciones, por tal razón una forma de mitigar o reducir estos impactos es mediante el conocimiento previo de su posible comportamiento, sus fluctuaciones y tendencias y de esta manera evitar daños imprevistos a causa de su actuación.

El análisis de la información histórica, indica que las alteraciones que se producen en el régimen de lluvias en Colombia son causadas, en parte, por la variabilidad climática interanual, relacionada con el ciclo EL Niño LA Niña – Oscilación del sur, el cual ha sido causa de sequías extremas y lluvias extraordinarias en diferentes regiones geográficas del planeta.¹ El conocimiento de la variabilidad de la precipitación, mediante información histórica, permite detectar a través de los años importantes fluctuaciones, por encima o por debajo de lo normal, en el comportamiento de las temporadas secas o lluviosas que se puedan presentar en la región y su relación con los fenómenos macroclimáticos.

En función de lo anterior, el trabajo efectuado mediante la presente investigación, consistió en el análisis estadístico, estudio del comportamiento espacio temporal de la precipitación comprendida en los años de 1980 a 2012, registrada en 118 estaciones ubicadas en el departamento de Boyacá, con el fin de interpretar el comportamiento de la misma y la correlación con las anomalías climáticas (SOI y SST). Plasmado en cartografía y bases de datos que registren su comportamiento.

Para esto el documento se encuentra dividido en seis capítulos que permitieron su desarrollo: Introducción, Objetivos, Estado del arte y aproximación conceptual, Materiales y métodos, Análisis y discusión, Medidas de Control, Conclusiones y Recomendaciones.

¹ Cfr. MONTEALEGRE, José. & PABÓN, José. La variabilidad climática interanual asociada al ciclo EL NIÑO-LA NIÑA-OSCILACIÓN DEL SUR y su efecto en el patrón pluviométrico de Colombia. Meteorología Colombiana. Vol 2. Bogotá D.C. 2000. p.p 7-21.

1 PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

La NASA ha entregado un nuevo estudio, sobre el estado de nuestro planeta, específicamente sobre el cambio climático. La organización espacial ha señalado a través de su nueva investigación que el fenómeno de “EL NIÑO” provocaría en los próximos 100 años que las zonas de la Tierra que son más húmedas reciban cada vez más lluvias, mientras que las zonas secas permanecerán sin ver agua por más tiempo.² Por su parte el Centro Nacional de Investigaciones Atmosféricas de Estados Unidos, NCAR, presentó en el país los resultados de un sofisticado modelo climático según el cual habría un aumento en las precipitaciones en el sur de Colombia hacia el año 2030, al respecto, investigadores de la Universidad Nacional sugieren que este aumento en las lluvias podría aprovecharse para la producción y exportación de energía.

Los impactos del fenómeno de El Niño, se traducen en el aumento de pérdidas por el incremento de lluvias, movimientos en masa e inundaciones, principalmente en las zonas bajas de Ecuador, Perú y Bolivia (costa y Amazonia, respectivamente), y déficit de precipitaciones y sequías en Colombia y el altiplano de Perú y Bolivia. Los efectos se convierten, por lo tanto, en daños en sectores productivos como la agricultura y la pesca, en la infraestructura vial, en las viviendas y en miles de damnificados por pérdida de sus bienes y medios de vida, así como por afectaciones en la salud por el aumento de enfermedades por vectores que proliferan con cambios temporales en los regímenes climáticos.³

Actualmente, El fenómeno El Niño se identifica como una fase dentro del ciclo conocido como El Niño-La Niña-Oscilación del Sur, que es la causa de la mayor señal de la variabilidad climática interanual en la Zona de Convergencia Intertropical. A través del efecto climático, el fenómeno El Niño tiene un gran impacto socioeconómico en diferentes países. El pasado ha dejado ejemplos claros de esta influencia; basta mencionar los problemas ocasionados por los eventos 1972-1973 y 1982-1983 a la pesca del Perú y por el fenómeno de 1991-1992 a los recursos hidroenergéticos de Colombia. El efecto climático de este fenómeno no se limita a la región de América tropical, sino que se extiende a otras latitudes y regiones del planeta. Así, por ejemplo, son muy conocidas las sequías

² Cfr. Estudio de la NASA asegura que el cambio climático podría causar lluvias más extremas. Mayo 2013. Disponible en: <http://www.emol.com/noticias/tecnologia/2013/05/05/597025/estudio-de-la-nasa-asegura-que-el-cambio-climatico-podria-causar-lluvias-mas-extremas.html>

³ Cfr. BORJA, S. El Niño y La Niña. Por encima de la Tierra. p.p 153.

en el norte de Australia, las oleadas de calor o las inundaciones en Norteamérica y Europa debidas al fenómeno El Niño.⁴

Algunas variaciones estacionales en la precipitación, ocurren donde la oscilación anual en la circulación atmosférica cambia la cantidad de humedad que entra en las regiones, la precipitación promedio anual sobre el área continental de la Tierra es aproximadamente de 800mm, pero existe gran variabilidad desde Arica, Chile, con un promedio anual de 0.5mm hasta Mt. Waialeale, Hawai, que recibe 11680 mm por año en promedio.⁵

Dentro de los impactos más documentados y conocidos se encuentran los episodios de 1982-1983 y 1997-1998, en razón de la magnitud de los efectos socioeconómicos relacionados tanto con la intensidad del fenómeno como con la vulnerabilidad de la población y los sectores afectados. En Bolivia y Colombia los impactos estuvieron relacionados predominantemente con sequías y en menor medida con heladas. Más del 50% de las pérdidas ocurridas en Colombia fueron por mayores costos en la provisión de los servicios básicos de electricidad y agua, así como daños en los sectores productivos, especialmente el agrícola, sumado a esto la presencia de incendios forestales de gran extensión.

Fotografía 1. Fenómeno de “EL NIÑO” podría volver.⁶



Fuente: El fenómeno de “EL NIÑO” afectara cerca del 30% de la población colombiana. ACODAL (Asociación Colombiana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental). Septiembre 2012.

Los impactos de La Niña se evidencian claramente en Colombia con el incremento de desastres asociados con inundaciones y movimientos en masa. Los dos años con mayor cantidad de desastres por fenómenos hidrometeorológicos (1971 y 1999) corresponden a episodios fuertes de La Niña. Durante este último se

⁴ Cfr. MONTEALEGRE BOCANEGRA, José. & PABON CAICEDO, José. La Variabilidad Climática Interanual asociada al ciclo El Niño-La Niña-Oscilación del Sur y su efecto en el patrón pluviométrico de Colombia. Meteorología Colombiana. Bogotá, D.C. 2000. p.p 7-21.

⁵ Cfr. CHOW, Ven Te. Hidrología aplicada. Bogotá. Editorial Mc Graw Hill. 1994, p.p 73.

⁶ Disponible en: <http://acontecimientos2012.latin-foro.net/t4108p30-fenomeno-de-el-nino-podria-volver>

registraron diez veces más desastres que los ocurridos durante El Niño 1997-1998.⁷

La variabilidad hidrológica en algunos sitios del territorio nacional se ha convertido en un fenómeno que arrasa con la riqueza económica, social y ambiental del país (IDEAM, 2005). En los últimos diez años han surgido desastres naturales que han tenido gran impacto en la economía de los países, para el caso de Colombia, las fuertes lluvias han ocasionado pérdidas de cultivos, derrumbes, daños en la infraestructura de la mayoría de las ciudades, desbordamiento de canales que inundan sótanos y garajes, lo cual trae consigo grandes pérdidas económicas para la sociedad y para el país en general.

Tras el incremento de lluvias en el territorio nacional durante el primer semestre del año 2011, que en algunos casos superó el 200% del nivel de precipitación normal, Corpoboyacá en operación conjunta con las autoridades municipales, CREPAD (Comité Regional Para La Prevención y Atención de Emergencias y Desastres) y CLOPADS (Comité Local para la Prevención y Atención de Emergencias y Desastres), declaró la alerta roja para los municipios afectados en zonas de alto riesgo.

Fotografía 2. Inundación en la Av. Norte.-Tunja⁸



Fuente: GONZALEZ PRIETO, Rodolfo. Desbordamiento del río La Vega inundó unos 10 barrios de Tunja.

Según el consolidado de atención de emergencias presentado por la Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres (UNGRD), la temporada invernal 2010- 2011 sufrida en los 32 departamentos de la Republica afectó a 3'941.818 personas, 930.683 familias, destruyó 16.213 viviendas y averió

⁷ Op. Cit.

⁸ Cfr. GONZALEZ PRIETO, Rodolfo. Desbordamiento del río La Vega inundó unos 10 barrios de Tunja. (en línea). 20 de abril de 2011. Disponible en: http://www.eltiempo.com/colombia/boyaca/ARTICULO-WEB-NEW_NOTA_INTERIOR-9193060.html

525.673. Así mismo, dejó 486 muertos, 595 heridos y 43 personas desaparecidas por eventos entre avalanchas colapso de estructuras, inundaciones, deslizamientos, tormentas eléctricas, tornados, vendavales y accidentes.

En el Departamento de Boyacá, esta misma temporada invernal dejó 9 muertos, 3 heridos, 1 desaparecido, 71.271 personas afectadas y 14.460 familias, sin contar la cantidad de cultivos e infraestructura que fueron acabados por la inclemencia de las lluvias.

Un aspecto importante que se resalta a la vista, en relación a la predicción hidrometeorológica, es la complejidad para la descripción de los procesos físicos que se presentan en la atmósfera. Por lo anterior, la predicción de la precipitación con horas, días o meses de antelación es para los Meteorólogos e hidrólogos un sueño. La predicción puede ser muy valiosa en la hidrología urbana, donde el tiempo de concentración es muy corto, y la predicción de la lluvia se convierte entonces en la única esperanza para los sistemas de control avanzados. Adicionalmente en cuencas rurales, a pocas horas de producirse la tormenta, puede convertirse ésta en corto tiempo en una importante inundación.⁹

La importancia de la precipitación en el ciclo hidrológico contrastada con la escasa información recolectada del campo en Colombia, son motivo de preocupación. Buena parte de Colombia está desprovista de estaciones de medición de todo tipo, en particular las regiones de la Amazonía y la Orinoquía están casi completamente desprovistas de información confiable suficientemente extensa, a pesar de su importancia climática, ambiental y de biodiversidad para el país. Aunque la variable precipitación es la mejor observada, la densidad de la red y las distribuciones de las estaciones es definitivamente inadecuada teniendo en cuenta los grandes gradientes y los cambios de tendencias que se presentan en el campo de la precipitación, inducidos por la topografía y la climatología.¹⁰

Un aspecto importante que hace parte de esta problemática, sin duda está relacionado con el cambio climático que en su mayoría se debe a las incorrectas acciones del hombre para con la naturaleza y el medio ambiente, este fenómeno o condición altera directamente el comportamiento del clima, generando una variación de la temperatura y de la distribución espacial y temporal de la precipitación, de ahí que se ocasione la recurrencia de sequías e inundaciones que alteran de manera significativa los registros hidroclimatológicos y que a su vez pueden causar cambios y tendencias en los mismos.

La no controlada recolección de datos, el poco mantenimiento de las estaciones, la heterogeneidad en el período, la sesgada distribución espacial de las

⁹ Cfr. OBREGÓN, Nelson & ROSAS, Jorge. Hacia la predicción de la precipitación puntual en tiempo real mediante el Filtro Kalman. Universidad del Valle/Instituto Cinara. 2003. p.p 1-4

¹⁰ Cfr. POVEDA, Germán. La Hidroclimatología de Colombia: Una síntesis desde la escala inter – decadal hasta la escala diaria. Rev. Acad. 2004. p.p 201-222.

estaciones, sumadas a la diversidad de mecanismos de producción de la lluvia, la topografía quebrada en gran parte del territorio, son todos factores que introducen incertidumbre y dificultad en el entendimiento de la distribución espacio-temporal de la precipitación,¹¹ muchos de los registros en los que se basa la meteorología aplicada son deficientes tanto en calidad como en cantidad, se encuentran series con falta de información, con cambios, tendencias y datos atípicos, circunstancias que pueden variar los resultados obtenidos en una modelación o simulación.

Dada la necesidad de entender rápidamente los procesos hidrológicos que se desarrollan en los sistemas de cuenca, se sugiere extensivamente en la literatura científica, el concentrar esfuerzos por caracterizar y predecir los procesos de precipitación. Adicionalmente, es necesario comprender cuáles son los efectos en las series hidrológicas como consecuencia de las anomalías climáticas globales, tal como puede ser el ENSO (El Niño – Oscilación del Sur).

Estudiar la precipitación y conocer su distribución espacio – temporal es motivo de interés para la meteorología e hidrología, ya que dichos estudios pueden proporcionar información que permita realizar análisis de crecidas, o construcción de modelos lluvia escurrentía para mejorar la información disponible en el diseño de obras civiles, donde es necesario tener conocimiento acerca de las intensidades máximas de precipitación. De continuar con el inadecuado manejo del recurso hídrico, habría la posibilidad de generar escenarios caóticos; en la medida que el deterioro de las fuentes que proveen agua aumente, según análisis realizados, “para el año 2025 la mayoría de la población de Colombia estará en caos por los deficitarios sistemas hídricos de abastecimiento”.¹²

1.2 PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN

El proyecto se desarrollara bajo la siguiente pregunta general:

¿Qué características estadísticas existen en los patrones espacio – temporales de la precipitación, presentes en la región boyacense, que se vinculen con las anomalías climáticas a nivel global?

Las preguntas específicas de la investigación son:

¿La red de medición hidrometeorológica actual en Boyacá permite adecuadamente desarrollar una caracterización estadística de los patrones espacio – temporales de la precipitación?

¹¹ Cfr. MEJÍA, Freddy. MESA, Oscar. POVEDA, Germán. VÉLEZ, Jaime. HOYOS, Carlos. BARCO, Janet. CUARTAS, Adriana. MONTOLYA, María. & BOTERO, Blanca. Distribución espacial y ciclos anual y semianual de la precipitación en Colombia. Universidad Nacional de Colombia.

¹² Cfr. MARÍN, Rodrigo. Colombia: Potencia Hídrica. Subdirección de Hidrología, IDEAM. 2003. p.p. 15.

¿Qué medidas de control se podría adoptar para mitigar parcialmente el impacto socioeconómico generado por la variabilidad de la precipitación en la región boyacense?

1.3 JUSTIFICACIÓN

El recurso hídrico es considerado fundamental para la vida y esencial en el sector productivo de una región, por lo cual el estudio de la precipitación tiene gran importancia debido a la influencia de las actividades relacionadas con el aprovechamiento de este. Los altos niveles de precipitación, generan debilitamiento de taludes, jarillones y ruptura de estructuras, lo que origina grandes inundaciones que afectan severamente a la población, ocasionando pérdida de cultivos y afectación socio-económica de la misma. El conocimiento de la variación de la precipitación es de suma importancia para el desarrollo de la agricultura, la navegación aérea y marítima, las operaciones militares y para información del público en general, además realizar una caracterización de su comportamiento durante un periodo no menor a treinta años ayuda a obtener posibles resultados acerca de las riquezas de las capas freáticas y reservas de agua, de posibles avalanchas e inundaciones que en determinado periodo se puedan presentar, como de épocas de sequía que se han de manifestar, debido a esto, con su estudio será posible la producción de guías técnicas que faciliten el conocimiento acerca de los procesos hidrológicos y el adecuado aprovechamiento de los recursos hídricos.

Por tal razón, la investigación consiste en la caracterización de la precipitación en el Departamento de Boyacá, mediante los datos registrados en estaciones que sean significativas en la capacidad de cobertura y que garanticen resultados confiables, en los cuales sea posible identificar patrones asociados con anomalías climáticas a nivel global.

El desarrollo de la investigación tendrá un impacto positivo para la región, para el medio ambiente y para la sociedad en general que consulte los resultados obtenidos en el análisis de la precipitación.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo general

- ✓ Caracterizar estadísticamente los patrones espacio - temporales de la precipitación para verificar la incidencia de las variables macroclimáticas SOI y SST en el departamento de Boyacá.

2.2 Objetivos específicos:

- ✓ Describir las características geográficas, cobertura vegetal y uso del suelo de la región boyacense para comprender la incidencia de los factores orográficos en la dinámica de la precipitación.
- ✓ Determinar el estado de la red de medición hidrometeorológica encontrada en el departamento de Boyacá, para establecer la calidad de la información empleada en el estudio.
- ✓ Verificar anomalías climáticas tipo ENSO (SOI y SST) en los registros históricos mensuales de precipitación, empleando un análisis estadístico exploratorio.

3 ESTADO DEL ARTE

3.1 ANTECEDENTES HISTORICOS

Con el paso del tiempo, diferentes estudios han servido de prueba de la variabilidad climática en una amplia gama de escalas temporales en toda América Latina. En muchas subregiones de América Latina, esta variabilidad en el clima normalmente tiene que ver con fenómenos que ya han producido impactos con importantes consecuencias socioeconómicas y medioambientales. El clima está cambiando, atribuido directa o indirectamente a actividades humanas que alteran la composición de la atmósfera mundial, y que viene a añadirse a la variabilidad natural del clima. Se estima que estas alteraciones cambiarán el clima regional y global, así como los parámetros relacionados con éste. Se han identificado cambios potencialmente graves, como el aumento de la incidencia de fenómenos extremos como altas temperaturas, crecidas y sequías, generando incendios, brotes, plagas y cambios en la composición, estructura y funcionamiento del ecosistema.¹³

El clima se relaciona generalmente con las condiciones predominantes en la atmosfera, su descripción se realiza a partir de variables atmosféricas como la temperatura y la precipitación, denominadas elementos climáticos; sin embargo, se podría identificar también con las variables de otros de los componentes del sistema climático. A través de la historia, se han presentado fluctuaciones del clima en escalas de tiempo que van desde años (variabilidad climática interanual) a milenios (cambios climáticos globales). Estas variaciones se han originado por cambios en la forma de interacción entre los diferentes componentes del sistema climático y en los factores forzantes.¹⁴ Con el análisis del comportamiento de estas variables atmosféricas, en el tiempo y en el espacio, es posible concluir acerca de la condición del clima actual, el clima pasado, así como fluctuaciones climáticas de diversa escala que se puedan presentar.

La variabilidad espacial del clima de Colombia está principalmente determinada por : (1) su situación tropical, bajo la influencia de los vientos alisios y la oscilación meridional de la Zona de Convergencia Intertropical; (2) su vecindad con los Océanos Pacífico y Atlántico, fuentes muy importantes de humedad que penetra hacia el interior; (3) su conformación fisiográfica que incluye la presencia de la

¹³ GARCIA, Pedro. MONSALVE, Elkin. & BUSTAMANTE, Augusto. Estudio de la Variabilidad de la precipitación y la temperatura en la cuenca del Río Quindío. Universidad del Quindío. 2009. p.p. 136.

¹⁴ Cfr. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). Atlas Climatológico de Colombia. Parte I Aspectos Nacionales. p.p. 3.

cordillera de los Andes cruzando el país de suroeste a noreste, con valles interandinos y vertientes de cordillera con marcadas diferencias climáticas; (4) la circulación propia de la cuenca del Amazonas, en donde Colombia tiene una gran extensión (incluyendo la región más lluviosa de toda la cuenca); (5) la variabilidad de los procesos de la hidrología superficial, tales como los contrastes en humedad de suelo y evapotranspiración, fuertemente influenciados por la vegetación, el tipo de suelos, el aspecto (ángulo zenital local), y la circulación de vientos locales.¹⁵

La clase de clima es determinado por el descenso o ascenso de la intensidad de la precipitación y la temperatura, según la latitud o altitud, así como por la dirección del movimiento de aire y la humedad, de esta manera a medida que la altura aumenta en las montañas o se avanza hacia los polos, la temperatura, la presión, la precipitación y el contenido de oxígeno disminuyen para las funciones vitales.¹⁶

Conocer las condiciones climatológicas e hidrológicas de la región es indispensable para el ordenamiento y manejo de los recursos hídricos, agropecuarios y forestales, entre otros. Esta información es fundamental para calcular los rendimientos hídricos, preparar pronóstico de avenidas, conocer las condiciones favorables para el desarrollo de la aeronavegación, diseñar proyectos hidroeléctricos y de riego y drenaje; estudiar el abastecimiento de agua potable e industrial y preparar control de inundaciones. En la medida que esta información esté disponible y sea confiable, la planificación, ejecución y operación de los proyectos responderán en mayor forma a las necesidades reales de la región.¹⁷

Los estudios de la Antigua Grecia, mostraban gran interés por la atmosfera, en los años 400 a.C., Aristóteles escribió un tratado llamado meteorológica, dedicado a los fenómenos atmosféricos, y de allí deriva el término meteorología. La predicción del tiempo ha sido un reto para el hombre desde el comienzo de su existencia, lo que conllevó a cierta sabiduría acerca del mundo, por medio de almanaques climatológicos. No obstante, en el siglo XIX el desarrollo en termodinámica y aerodinámica, suministró bases teóricas para la meteorología, los adelantos científicos potenciaron la invención de instrumentos apropiados, y la organización de redes de observatorios meteorológicos para obtener mediciones exactas de las condiciones atmosféricas¹⁸.

¹⁵ Cfr. MEJÍA, Freddy. MESA, Oscar. POVEDA, Germán. VÉLEZ, Jaime. HOYOS, Carlos. BARCO, Janet. CUARTAS, Adriana. MONTOYA, María. & BOTERO, Blanca. Distribución espacial y ciclos anual y semianual de la precipitación en Colombia. Universidad Nacional de Colombia.

¹⁶ Cfr. PRIETO, Carlos. El Agua, sus formas, efectos, abastecimientos, usos, daños, control y conservación. 2ª Edición. EcoEdiciones. Bogotá. 2004. p.p. 35.

¹⁷ Cfr. CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DE BOYACÁ, CORPOBOYACÁ, Climatología. Investigaciones Ambientales. Eaking A. Ballesteros U. Ingeniero Ambiental y Sanitario. p.p 1-2.

¹⁸ Cfr. AMADOR, Jairo. Predicción Agrometeorológica y Agricultura en Boyacá. Cultura Científica. p.p 44-48.

A la modificación del clima con respecto a un historial climático en una escala global o regional se le conoce como Cambio climático, estos cambios climáticos son producidos por parámetros meteorológicos como temperatura, precipitación, nubosidad, etc. El cambio climático es definido como un cambio estable y durable en la distribución de los patrones de clima en periodos de tiempo que van desde décadas hasta millones de años (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático). El clima es considerado, en primera aproximación, como las condiciones atmosféricas predominantes en un lugar durante un período determinado, por tal razón, para la descripción del clima se han venido utilizando las estadísticas de las variables meteorológicas. La distribución espacial y temporal de estas estadísticas permite identificar patrones de comportamiento del clima en una región¹⁹. Las variables climatológicas temperatura del aire y precipitación, además de ser las más usadas, sintetizan el comportamiento del clima determinada zona.

En la actualidad, entidades a nivel mundial tales como el Panel Intergubernamental de Expertos Sobre el Cambio Climático (IPCC), la UNESCO, la Organización climática mundial (WMO), el Banco Interamericano de Desarrollo (BID), el CRID (Centro Regional sobre Desastres América Latina y el Caribe) y los países afectados estudian la incidencia de los fenómenos macroclimáticos y de cambio climático sobre disponibilidad hídrica, en búsqueda de modelos que pronostiquen la vulnerabilidad a los eventos extremos tales como sequías severas e inundaciones, entre otros.²⁰

El aumento de las temperaturas a nivel mundial hacen notorio el cambio climático, 11 de los últimos 12 años han sido de los años más calurosos que se tienen en registro desde 1850. El aumento de temperatura promedio en los últimos 50 años es casi el doble del de los últimos 100 años. La temperatura global promedio aumentó 0.74°C durante el siglo XX. Los científicos mundiales han determinado que el aumento de la temperatura debiera limitarse a 2°C para evitar daños irreversibles al planeta y los consiguientes efectos desastrosos en la sociedad humana.

Debido a que el clima se relaciona generalmente con las condiciones predominantes en la atmósfera, éste se describe a partir de variables atmosféricas como la temperatura y la precipitación, denominados elementos climáticos; sin embargo, se podría identificar también con las variables de otros de los componentes del sistema climático. A través de la historia, se han presentado

¹⁹ Cfr. PABÓN CAICEDO, José. ESLAVA RAMÍREZ, Jesús. & GOMÉZ TORRES, Raúl. Generalidades de la distribución espacial y temporal de la temperatura, del aire y de la precipitación en Colombia. Meteorología Colombiana. Bogotá, D.C. 2001. p.p 47-59.

²⁰ VELASCO, Aurora. DÍAZ, Mario. Tendencias e incidencias de los fenómenos macroclimáticos en la hidrología del alto y medio magdalena. Ciencia e Ingeniería Neogranadina. Vol 16. N° 2. Universidad Militar Nueva Granada. 2006. p.p. 3. ISSN 0124-8170. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=91116204>

fluctuaciones del clima en escalas de tiempo que van desde años (variabilidad climática interanual) a milenios (cambios climáticos globales). Estas variaciones se han originado por cambios en la forma de interacción entre los diferentes componentes del sistema climático y en los factores forzantes (IDEAM).

Según PABÓN José (1998), las fluctuaciones observadas en el clima durante periodos relativamente cortos, son motivo de la variabilidad climática que se ha vivido en los últimos tiempos, razón por la cual, con la obtención de los registros de variables climatológicas, junto con las herramientas matemáticas y computacionales, se han desarrollado investigaciones que intentan dentro de lo posible conocer el motivo y el porqué de los cambios repentinos de la condición del clima en determinada región, al respecto, MESA Oscar (2007), indica, que la variabilidad espacial y temporal del clima, hace que en todas las regiones del mundo exista una alteración del ciclo hidrológico, además, resalta que la regulación natural de las cuencas generadoras del recurso hídrico, se ve afectada por el inadecuado manejo de las mismas, lo que produce un régimen hidrológico más irregular, con eventos de mayores precipitaciones así como grandes sequías, afectando considerablemente el desarrollo de las regiones y poniendo en riesgo los sectores más vulnerables de este tipo de fenómenos.

De acuerdo con MEJIA Fredy *et al* desde el punto de vista temporal, la migración meridional de la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT) es uno de los mecanismos preponderantes para explicar la variabilidad anual y semianual de la precipitación en Colombia. La bimodalidad o unimodalidad de la distribución de la precipitación en el ciclo anual está asociada al paso de la ZCIT por la geografía Colombiana, así como de su interacción con las circulaciones de los Océanos Pacífico, Atlántico y de la cuenca del Amazonas. La distribución espacial de la lluvia sobre Colombia está asociada a la época del año. Cuando la ZCIT se encuentra más al sur (en el verano del hemisferio sur), la zona de la costa Caribe sufre una disminución en las lluvias; lo mismo sucede en la zona sur durante el verano del hemisferio norte (Julio-Agosto). La ZCIT pasa dos veces por encima del territorio Colombiano; en su camino hacia el Sur en la época de octubre-noviembre y hacia el norte en la época de abril-mayo, produciendo dos temporadas de más alta pluviosidad (bimodalidad) en el centro de Colombia.²¹

La precipitación es un componente fundamental del sistema climático; en la actualidad, existe un amplio consenso sobre la necesidad de profundizar el conocimiento sobre su variabilidad espacial y temporal dentro del contexto del cambio climático global,²² razón por la cual a nivel mundial, nacional y regional se han venido realizando diferentes estudios que permiten el análisis del

²¹ MEJÍA, Freddy. MESA, Oscar. POVEDA, Germán. VÉLEZ, Jaime. HOYOS, Carlos. BARCO, Janet. CUARTAS, Adriana. MONTOYA, María. & BOTERO, Blanca. Distribución espacial y ciclos anual y semianual de la precipitación en Colombia. Universidad Nacional de Colombia.

²² Cfr. GUENNI, Lelys. DEGRYZE, & ALVARADO, Katuska. Análisis de la tendencia y la estacionalidad de la precipitación mensual en Venezuela. Revista Colombiana de Estadística. Vol 31. 2008., p.p 42.

comportamiento de las variables hidrometeorológicas a partir de datos registrados por estaciones ubicadas en diferentes zonas de cada región.

En Sudáfrica, se realizó una investigación acerca de la variabilidad de la precipitación, en la que se expone como muchos países en desarrollo sufren de insuficiencia de datos hidrometeorológicos y por tal razón se basan en modelos hidrológicos para obtener datos que puedan utilizarse en la planificación de los recursos hídricos, la mayor parte del Sur de África tiene deficiencia en los registros tomados por los pluviómetros, por lo que se hace más difícil la representación de la variación espacial en la precipitación, de ahí que el objetivo de esa investigación fue el de reducir la incertidumbre espacial de la precipitación, mediante comparaciones directas de diferentes puntos de lluvias espaciales.²³ La disminución de redes pluviométricas reduce la posibilidad de definir la entrada de los datos correctos, a los modelos de estimación y comportamiento del recurso hídrico, pues de la densidad o cantidad de información que se tenga de un sector, será posible obtener mejores resultados y que estos sean acordes con la realidad.

La gran variabilidad de la precipitación sobre la Península Ibérica, región mayormente afectada por el cambio climático en el Atlántico Norte, junto con la irregularidad de su régimen hídrico, fue motivo para realizar un estudio de la precipitación diaria, a través de la definición de índices que describan la frecuencia de ocurrencia de esta variable. El análisis estadístico de la precipitación es un poco complejo, debido a que esta es una variable eminentemente episódica, por lo que un estudio exhaustivo de la misma, requiere analizar tanto la frecuencia de ocurrencia así como la intensidad de los sucesos.²⁴ Debido al alto grado de estacionalidad que presenta la precipitación en la Península Ibérica, es necesario realizar un análisis de la información para cada una de las estaciones, con el fin de obtener la distribución espacial de los valores medios de los índices de frecuencia de precipitación en la geografía peninsular, tomando como referencia el periodo de 1958 a 1997, y de esta manera tener la máxima información disponible con importantes resultados que servirán para la planeación del uso del recurso hídrico.

Según estudios realizados, el clima varía de forma natural en todas las escalas temporales, la variabilidad climática global a escala de varias décadas está dominada por el cambio climático y el cambio ambiental global de largo plazo, así como por fenómenos macroclimáticos que operan en tal escala temporal, mientras que a escala de tiempo interanual está fuertemente controlada por la ocurrencia del evento El Niño/Oscilación del Sur (ENSO, por sus siglas en inglés);²⁵ este

²³ Cfr. SAWUNYAMA, Tendai. & HUGHES, Denis. Rainfall variability and uncertainty in water resource assessments in South Africa. IAHS. 2009. p.p 287-293.

²⁴ Cfr. GALLEGO, María de la cruz. GARCÍA, José. & VAQUERO, José. Distribución espacial de índices de frecuencia de precipitación diaria en la Península Ibérica. Universidad de Extremadura. ISSN: 0214-4557. 2004. p.p 162.

²⁵ Cfr. POVEDA, Germán. La Hidroclimatología de Colombia: Una síntesis desde la escala inter – decadal hasta la escala diaria. Rev. Acad. 2004. p.p 204.

fenómeno, EL NIÑO, se manifiesta de manera directa en la costa Pacífica Colombiana, con incrementos de la temperatura superficial del mar y aumentos del nivel medio del mar, adicional a esto tiene un efecto climático sobre todo el territorio colombiano que afecta todo el medio natural, en general y el ciclo hidrológico en particular²⁶, añadido a la influencia de su comportamiento sobre la condición normal del clima y las variables hidrológicas, se suman otros fenómenos de macro – escala que ejerce la hidroclimatología colombiana, como lo son el Índice de Oscilación del Sur (SOI), Índice de las anomalías en la temperatura de la superficie marina (SST), Índice Multivariado del ENSO en el Pacífico Tropical (MEI), entre otros, con los que por medio de correlaciones entre ellos y las variables hidrológicas, se amplía en entendimiento de la dinámica microclimática de Colombia y del trópico Americano así como su pronóstico en el espacio y en el tiempo, de acuerdo con POVEDA Germán (2002)²⁷ se observa que la correlación entre los índices representativos del ENSO y la hidroclimatología de Colombia es más baja en el oriente colombiano y que las correlaciones más altas en esa zona se presentan en general, un trimestre más tarde que en el resto del país.

De acuerdo con la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica (NOAA), el fenómeno ENSO tiene dos fases extremas, el Niño (cálido) y la Niña (frío o neutral), los cuales resultan de la interacción entre las superficies del océano y la atmosfera en el Pacífico tropical y se manifiesta a través de grandes cambios de temperatura en la superficie marina. Los cambios en el océano alteran los patrones atmosféricos y climatológicos alrededor del mundo y a su vez los cambios en la atmosfera impactan las temperaturas y corrientes del océano. El sistema oscila entre las fases el Niño y la Niña con un promedio de 3 o 4 años por ciclo, los cambios ocasionados por el ENSO pueden causar inundaciones en algunos sectores y sequias en otros.

Colombia resistió un fenómeno del Niño entre 1991 y 1992 que produjo un apagón durante el gobierno de César Gaviria, esto debido a que los embalses que generaban energía quedaron sin reservas. También hubo otras manifestaciones similares del fenómeno entre 1997 y 1998 (el más fuerte) y 2002-2003. El más reciente se registró entre 2009 y mediados del 2010,²⁸ de ahí que muchos investigadores han fijado su atención en tratar de predecir eventos extremos para anticipar y mitigar posibles sequias e inundaciones, desarrollando metodologías y modelos que de una u otra manera faciliten el entendimiento del comportamiento de las variables hidrometeorológicas como la precipitación a fin de tener una

²⁶ Cfr. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). Posibles efectos naturales y socioeconómicos del fenómeno EL NIÑO en el periodo 1997-1998 en Colombia. Bogotá. 1997. p.p. 9.

²⁷ POVEDA, Germán *et al.* Influencia de los fenómenos macroclimáticos sobre el ciclo anual de la Hidrología colombiana: Cuantificación lineal, no lineal, percentiles probabilísticos. Meteorología Colombiana. N°6. Universidad Nacional de Colombia, Medellín. Bogotá. 2002.

²⁸ Disponible en: http://www.eltiempo.com/vida-de-hoy/ecologia/ARTICULO-WEB-NEW_NOTA_INTERIOR-11856101.html

predicción de los posibles efectos y poder establecer políticas de desarrollo que mitiguen los impactos por repentinas avenidas que se puedan presentar.

Fotografía 3. Impactos fenómeno climático del Niño.²⁹



Fuente: Publicación eltiempo.com. IDEAM dice que en segundo semestre habría sequía. Sección Medio Ambiente. 23 Mayo 2012.

Colombia es uno de los países con mayor riqueza hídrica, en la distribución espacial de la precipitación se destacan, núcleos lluviosos con volúmenes de precipitación mayores de 4000 mm anuales en el sur y en el norte de la región Pacífica y en el piedemonte amazónico y de la Orinoquia. Una zona con lluvias entre 500 y 4000 mm localizada en la parte interandina y en la región caribe; una zona de menores precipitaciones (menor de 500 mm anuales) en el norte del país,³⁰ sin embargo, la alternancia climática hace que el recurso se limite a sus cambios, debido a que en unas épocas se presentan inundaciones sin control y en otras grandes sequías que en su mayoría son difíciles de atender con alguna provisión del recurso hídrico. El más reciente efecto del fenómeno del Pacífico de los años 1997-1998 tuvo que ver con la reducción de más del 50% del agua transportada por las fuentes superficiales, las poblaciones se vieron afectadas por la escases del recurso hídrico, tal situación hizo que se pusiera mayor atención al fenómeno del Niño, por lo que se sugirió crear planes de contingencia en los que involucraran los departamentos con mayor grado de afectación, como: **Boyacá**,

²⁹ Cfr. Ibid.

³⁰ Cfr. PABÓN CAICEDO, José. ESLAVA RAMÍREZ, Jesús. & GOMÉZ TORRES, Raúl. Generalidades de la distribución espacial y temporal de la temperatura, del aire y de la precipitación en Colombia. Meteorología Colombiana. Bogotá, D.C. 2001. p.p 47-59.

Cundinamarca, Santander, Norte de Santander, Valle del Cauca, Huila, Cauca, Tolima y Cesar.

Con base en investigaciones realizadas acerca de los impactos dejados por el paso de este tipo de fenómenos, es necesario que se realicen estudios continuos del comportamiento de las variables hidroclimatológicas, como la precipitación, de esta manera los departamentos más vulnerables, podrían prepararse para la ocurrencia de algún evento tanto por escases como por exceso del recurso hídrico, evitando grandes afectaciones y perdidas socio-económicas para su región, lo cual es posible mediante descripciones estadísticas de las tendencias y la variabilidad de los principales elementos pertinentes como la temperatura, la precipitación, la presión atmosférica, la humedad y los vientos, o mediante combinaciones de elementos tales como tipos y fenómenos meteorológicos, que son característicos de un lugar o región, o del mundo en su conjunto, durante cualquier período de tiempo.³¹

Otra manera que se incluye en la forma de analizar la variabilidad de componentes como la precipitación, es mediante la interpolación espacial de la misma, lo que da como resultado la obtención de mapas de distribución de sus valores tanto a escala temporal anual como mensual, para lo cual se emplea el uso varias técnicas geoestadísticas de interpolación como el Kriging, Spline e IDW, al respecto autores como MESA Oscar *et al* recomiendan la interpolación por el método Kriging, por ser uno de los métodos que tiene la propiedad de exactitud al aplicar una interpolación óptima de la variable en estudio que no tiene perjuicios y provee la mínima varianza del error en los estimativos. Cada una de las variables climáticas por su naturaleza intrínseca y por las características de la red de medición, requieren tratamientos diferenciales para su análisis³², por lo que en varias investigaciones se sugiere la técnica de Kriging para el caso de la precipitación; en referencia a lo anterior, Villatoro *et al* en su investigación “Comparación de interpoladores IDW y Kriging” concluye que el método más preciso y eficiente que proporciona un análisis más elaborado y con fundamento estadístico es el Kriging.

Según estudios realizados por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), los cambios registrados hasta el momento en los regímenes de lluvia que tienen relación con las fases extremas de El ENSO, están ocasionando alteraciones en los procesos naturales que conforman el ciclo hidrológico y están afectando la dinámica y la distribución espacio temporal de la

³¹ Cfr. Organización Meteorológica Mundial (OMM). Guía de prácticas climatológicas. 2011.

³² MACHADO, Diego. PUCHE, Mariela. VILORIA, Jesús. PARRA, Mayela. Geoespacialización de información climática mediante la utilización de sistemas de información geográfica. Caso Cuenca Alta del Río Guárico. p.p. 9.

oferta hídrica en las diferentes regiones del país, tanto en cantidad como en calidad.

El cambio climático tiene manifestaciones muy locales en términos del comportamiento de las temperaturas y la precipitación en la zona alto andina de Cundinamarca y Boyacá, lo que podría generar impactos específicos sobre los sistemas productivos de la región.³³ Se ha encontrado que no solo los factores biológicos como las enfermedades de las plantas y las plagas pueden reducir los rendimientos finales de un cultivo, sino también los meteorológicos extremos, como vientos muy fuertes, sequías, heladas, precipitaciones excesivas, entre otros, hacen que las pérdidas agrícolas debidas al mal tiempo especialmente en las regiones Caribe y Andina superen el 30% de la producción anual (Organización Meteorológica Mundial. 2004).

La afectación del régimen de lluvias por el fenómeno El Niño, no sigue un patrón común, ni ha sido el mismo durante la ocurrencia de los diez últimos eventos documentados; por el contrario es diferencial a lo largo y ancho del territorio nacional. En términos generales, se ha podido identificar que, cuando se presenta el fenómeno, hay déficit en los volúmenes de precipitación en las regiones Andina, Caribe y en la parte norte de la Región Pacífica, encontrando mayores deficiencias en departamentos como Boyacá, Cundinamarca, Tolima, Santander, Norte de Santander, Cesar.³⁴

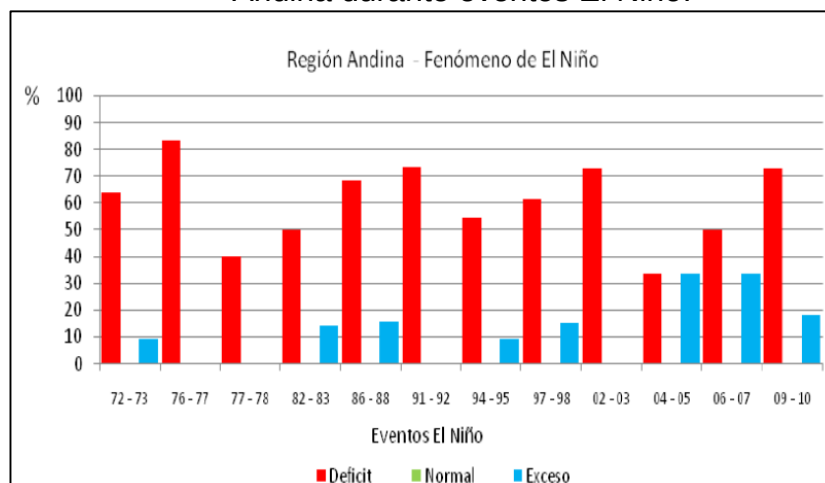
En la región Andina, es altamente significativo el impacto de El Niño, en cuanto a deficiencias de lluvia, en la gráfica x se observan los porcentajes de casos de anomalías de precipitación en la Región Andina durante eventos El Niño, el color rojo representa el porcentaje de déficit de lluvia y el color azul representa el porcentaje de exceso de lluvias; en esta región el porcentaje del territorio afectado por deficiencias de precipitación fue apreciable en 10 de los 12 eventos analizados. Tan solo en los eventos 1977-1978 y 2004-2005, el área de territorio afectado fue menor al 50% del territorio de la región Andina, los meses en que predomina exceso o situación normal son ocasionales.³⁵

³³ Cfr. ROJAS, Edwin. ARCE, Blanca. PEÑA, Andrés. BOSHELL, Francisco. & AYARZA, Miguel. Cuantificación e interpretación de tendencias locales de temperatura y precipitación en zonas alto andinas de Cundinamarca y Boyacá. Corporación colombiana de investigación agropecuaria. 2010. p.p 173-182.

³⁴ Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). Posibles efectos naturales y socioeconómicos del fenómeno "EL NIÑO" en el periodo 2012-2013 en Colombia. Bogotá. 2012. p.p. 13.

³⁵ Cfr. Ibid., p.p. 13.

Gráfica 1. Porcentajes de casos de anomalías de precipitación en la Región Andina durante eventos El Niño.³⁶



Fuente: Posibles efectos naturales y socioeconómicos del fenómeno “EL NIÑO” en el periodo 2012-2013 en Colombia. Julio 2012. p.p 13.

Desde hace algún tiempo el hombre ha evolucionado en cuanto a tecnología se refiere, creando aparatos de medición más precisos que registran regularmente (diaria, mensual, entre otros) diversas variables meteorológicas. Estos datos se utilizan tanto para la elaboración de predicciones meteorológicas a partir de modelos numéricos como para estudios climáticos. De acuerdo a estos registros el Ministerio de Ambiente, en conjunto con el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), han elaborado investigaciones que indican que el efecto de las fases extremas de El ENSO en la región depende de la época del año y de las diferentes condiciones de vulnerabilidad de los sectores productivos a nivel nacional, teniendo en cuenta que el país está regido en la zona andina por un comportamiento bimodal, con dos periodos húmedos y dos periodos secos durante el año.

Según BACCHI (1996), la variabilidad espacio temporal de la lluvia, representa un elemento de interés económico, a fin que justifica el uso de recursos y esfuerzos cognitivos para alcanzar una descripción y pronóstico seguros y confiables en el campo de la precipitación, lo que justifica la importancia de la instalación de una red de estaciones hidrometeorológicas junto con su adecuado mantenimiento, aspecto que para él fortalece los procesos de desarrollo sobre una región.

Para la planeación y diseño de muchos proyectos relacionados con el agua es necesario el uso de información hidroclimatológica, aunque con los años la recolección de ésta ha ido mejorando, aún muchos de los registros en los que se basa la meteorología aplicada presentan serias deficiencias, tanto en calidad

³⁶ Cfr. Ibid., p.p. 13. Disponible en: <http://www.crantioquia.org.co/LinkClick.aspx?fileticket=EGTOxFAffBk%3D&tabid=247>

como en cantidad, observándose series con cambios, falta de información, tendencias y datos atípicos; esto tergiversa los resultados de cualquier simulación o modelación.³⁷ Por lo tanto resulta necesario el análisis exploratorio de los datos con el fin de determinar cambios o tendencias en la serie hidroclimatológica, y aunque es un análisis que toma tiempo, es una parte esencial de cualquier análisis estadístico. El uso de la información sin previa evaluación de su estructura, consistencia, homogeneidad, etc., constituye un enfoque de caja negra que incrementa el grado de incertidumbre sobre la validez de los resultados obtenidos.³⁸

El conocimiento adecuado de las condiciones hidroclimatológicas debido a la influencia de las fases extremas de El ENSO permite de cierta manera establecer estrategias en la gestión del recurso hídrico, mejorar el conocimiento sobre el comportamiento de los cultivos frente a una determinada coyuntura o condiciones climáticas, minimizar pérdidas tanto humanas como económicas, avanzar en la búsqueda de mejorar la adaptación frente a la variación climática, así como ajustar los calendarios de siembra y cosecha de acuerdo a las predicciones climáticas y mejorar las organizaciones institucionales tanto públicas como privadas.³⁹

Dentro de las actividades económicas más destacadas de la región boyacense se encuentra el sector agrícola, ganadero y turístico, donde cualquier anomalía en el régimen regular de lluvias puede traer como consecuencia trastornos económicos de magnitud considerable en el desarrollo de la región⁴⁰ y que de cierta manera afecta a quienes se abastecen de sus principales productos, por tal motivo la caracterización de una variable hidroclimatológica como lo es la precipitación, permite comprender su comportamiento y posibles alteraciones en la cantidad usual de la oferta hídrica que posee el departamento.

Es de vital importancia que previo a la realización de cualquier tipo de análisis hidrológico o climatológico, la información a utilizar sea ampliamente explorada usando métodos gráficos y estadísticos cuantitativos; si ello no se realiza se pueden hacer suposiciones que no son ciertas y modelar las series hidroclimatológicas de forma incorrecta.

³⁷ Cfr. CASTRO, L. Análisis de tendencia y homogeneidad de series climatológicas. Escuela de Ingeniería de Recursos Naturales y del Ambiente. Revista EIDENAR. Ejemplar 9. Universidad del Valle. Cali. 2010.

³⁸ Cfr. Lobo, L. Guía Metodológica para la Delimitación del Mapa de Zonas Áridas, Semiáridas y Subhúmedas Secas de América Latina y el Caribe. Centro del Agua para Zonas Áridas y Semiáridas de América Latina y El Caribe. 2004. CAZALAC – UNESCO PHI – Gobierno de Flandes. http://www.cazalac.org/mapa_alc_guia.php.

³⁹ Cfr. GUTIERREZ, Sergio. CARVAJAL, Yesid. & Ávila, Javier. Estudio de la Influencia del Fenómeno El Niño – Oscilación del Sur en la Oferta Hídrica de la Cuenca Hidrográfica del Río Dagua. Ciencia e Ingeniería, ISSN 1909-8367. 2013. p.p. 26

⁴⁰ Cfr. CARO, Carlos. VILLATE, José & MARTINEZ, Edgar. Efectos de los Fenómenos macroclimáticos (El Niño y La Niña) sobre diferentes variables climatológicas en Boyacá. p.p. 5.

3.2 APROXIMACIÓN CONCEPTUAL

3.2.1 Aspectos fundamentales de la Morfología⁴¹

➤ Parámetros de Relieve

La **pendiente** de una cuenca define el tipo de terreno en el que esta se encuentra y es de gran importancia para el cálculo del índice de peligro de avenidas súbitas, a través de la velocidad del flujo de agua. Si se trabaja con un programa de SIG, como ArcView, y el programa dispone de un Modelo Digital del Terreno (mapa digital, con la cota de cada punto), entonces el cálculo de la pendiente media es inmediato.

Tabla 1. Característica del terreno según la pendiente de la cuenca.

Pendientes Medidas (%)	Terrenos
0 a 3	Llano
3 a 7	Suave
7 a 12	Medianamente Accidentado
12 a 20	Accidentado
20 a 35	Fuertemente Accidentado
35 a 50	Muy Fuertemente Accidentado
50 a 75	Escarpado
> 75	Muy Escarpado

➤ Parámetros de Forma

Dentro de los parámetros de forma se encuentra el área, por medio de la que se identifica si se habla de una hoya hidrográfica, una cuenca, subcuencas o microcuencas; el perímetro define la longitud del límite exterior de la cuenca. La longitud de la cuenca se establece mediante una línea recta con dirección paralela al cauce principal, mientras que la longitud máxima es la distancia entre el desagüe y el punto más alejado de la cuenca siguiendo la dirección de drenaje; la longitud del cauce principal se mide entre la desembocadura y el nacimiento, pudiendo ser corto, mediano o largo. La forma de la cuenca se define mediante el coeficiente de forma que indica si esta es achatada, ligeramente achatado o moderadamente achatada, cuando este coeficiente supera la unidad, aumenta la tendencia de concentrar el escurrimiento de una lluvia intensa que forma fácilmente grandes crecidas, por su parte el coeficiente de compacidad indica si la cuenca es redonda a oval redonda, ovalredonda a oval oblonga y oval oblonga a rectangular oblonga.

⁴¹ Cfr. CHOW, Ven Te. Hidrología aplicada. Bogotá. Editorial Mc Graw Hill. 1994.

➤ Drenaje

Los patrones de drenaje de una cuenca pueden ser detrítico, rectangular, radial, enrejado o multicuenca; según la duración de descarga los ríos se pueden clasificar como corrientes perenne (todo el año), intermitentes (algunas semanas o meses) y efímeras (horas o días). Un aspecto fundamental dentro del drenaje es el orden de la cuenca, el cual describe la red y la estructura que compone una cuenca, la que será más definida en la medida que el orden sea mayor.

La densidad de la corriente establece la mayor o menor posibilidad de que cualquier gota de agua encuentre un cauce en mayor o menor tiempo, mientras que la densidad de drenaje indica la naturaleza del suelo, cuando su valor es alto se genera poca cobertura del suelo, poco impermeables y erosionables.

3.2.2 Aproximación al concepto de Precipitación

La precipitación es toda forma de agua depositada sobre la superficie terrestre que proviene de la humedad de la atmósfera, reviste de gran importancia dado que a partir de ella se pueden zonificar las áreas con mayor oferta hídrica, productividad agrícola, periodos aptos para cultivo, variación de los niveles en los embalses y consiguiente planificación de la producción de energía, determinación de zonas susceptibles a inundaciones, erosión del suelo y periodos aptos para la propagación de enfermedades, entre otros.⁴²

3.2.3 Elementos fundamentales de la Precipitación

✓ Precipitación Orográfica

Resulta de la ascensión mecánica de corrientes de aire húmedo con movimiento horizontal cuando chocan sobre barreras naturales, tales como montañas.⁴³

✓ Precipitación media

Para conocer la precipitación media de una tormenta en una zona determinada, se requieren mediciones en varias estaciones localizadas tanto dentro de ella como de su vecindad. El cálculo de este valor se puede hacer mediante un promedio aritmético, el método de Thiessen, método de Isoyetas y curvas de altura de precipitación, área-duración.

⁴² Cfr. Climatología. Investigaciones Ambientales. Op. Cit. p. 8.

⁴³ Cfr. MONSALVE SAENZ, Germán. Hidrología en la ingeniería. Ediciones Escuela Colombiana de Ingeniería. Bogotá, 1995. p.81.

✓ Régimen de precipitación Bimodal y Unimodal

En determinada zona, la precipitación tiende a tener un comportamiento que varía a lo largo de determinado periodo de tiempo, en esta medida se presentan dos tipos de régimen de precipitación. El régimen de precipitación bimodal se caracteriza por presentar dos periodos de lluvia al año, mientras que el régimen unimodal solo presenta un periodo de lluvia en el año.

3.2.4 Aproximación al concepto de Clima

De acuerdo con la definición de la Organización Meteorológica Mundial “OMM”, es el conjunto floclante de las condiciones atmosféricas, caracterizado por las evoluciones del estado del tiempo, durante un periodo de tiempo y un lugar o región dados, el cual está controlado por los denominados factores forzantes, factores determinantes y por la interacción entre los diferentes componentes del denominado sistema climático.⁴⁴

3.2.5 El clima en Boyacá

El Departamento de Boyacá, por estar situado en la zona de mayor ensanchamiento de la Cordillera Oriental de Los Andes, tiene en gran parte de su superficie el relieve característico de la región Andina, influenciado por las lluvias, la temperatura del aire y los vientos Alisios del Sureste que provienen de la región de la Amazonía cargados de humedad y originan la lluvias de los meses de Julio y Agosto; presenta todos los pisos biotérmicos estrechamente relacionados con la vegetación, la producción agrícola y la llamada diferencia de climas entre sitios vecinos de una misma provincia, que hacen de Boyacá el lugar ideal para la vida y el turismo.⁴⁵

3.2.6 Climas presentes en el departamento de Boyacá⁴⁶

- Clima Tropical Lluvioso: Se caracteriza por altas temperaturas y lluvias la mayor parte del año, con vegetación herbácea matizada con bosques y

⁴⁴ Cfr. Estudio de la Caracterización de Bogotá y Cuenca Alta del Río Tunjuelo. Milenio Editores e Impresores. p. 5.

⁴⁵ Cfr. Aspectos geográficos de Boyacá. Disponible en: <http://www.boyaca.gov.co/mi-boyac%C3%A1/aspectos-geograficos>.

⁴⁶ Cfr. Ibid.

matorrales a las orillas de los ríos; se encuentra en el Territorio Vásquez y en el piedemonte llanero.

- **Clima Seco:** Se caracteriza por altas temperaturas durante el año y lluvias escasas, tiene vegetación de pastos pobres, arbustos y matorrales; se encuentra en la hoya del río Chicamocha, Villa de Leiva, Sáchica, el desierto de La Candelaria; vale la pena aclarar que el lugar no es un desierto como tal, sino que su nombre obedece al convento que en el siglo XVII fue creado por los Padres Agustinos, con el fin de evangelizar a los indios de la región y fue ubicado en un sitio apartado de los centros urbanos; estos conventos se denominaban en la época desiertos.
- **Clima de Montaña:** Es el clima determinado por la altura de las tierras sobre el nivel del mar, el grado de pendiente y el contenido de humedad; son propios de las regiones montañosas y se les denomina Pisos biotérmicos; Boyacá posee todos los pisos biotérmicos.

3.2.7 Influencia del clima en Boyacá⁴⁷

El clima influye en la distribución de los animales y las plantas sobre la superficie terrestre; estas últimas están sujetas con mayor rigor a los efectos del clima, puesto que no pueden moverse como sí lo hacen los animales y el hombre.

Las plantas necesitan determinada humedad y temperatura para su desarrollo. Es por eso que para cada tipo de clima hay cultivos especiales. Así por ejemplo, en el Valle de Tenza, valle del río Moniquirá y cercanías de Santa Sofía hay producción de caña de azúcar, café, plátano y frutales. En Soatá y la zona del río Chicamocha, se cultiva tabaco, dátil, caña, maíz y otros. En las tierras de temperaturas medias o bajas como el altiplano central, los valles de Cerinza, Belén, Sogamoso, Firavitoba, se cultivan pastos y gran cantidad de productos que abastecen los mercados de consumo interno y el de la capital del país. El clima determina el género de vida, alimentación y vivienda para los animales, el hombre depende del clima para su alimentación, vivienda, vestido y muchas de sus costumbres.

Los autores Valencia y Romero de Porras en cuanto a la influencia del clima sobre los hombres, afirman que: «Los procesos de respiración y el ritmo circulatorio son diferentes en las altas montañas y en la orilla del mar. En las latitudes altas, por la

⁴⁷ Cfr. Ibid.

baja presión atmosférica, el hombre reacciona lentamente. En las regiones de latitudes bajas, las altas temperaturas, la humedad y las bajas presiones, hacen que al hombre se le dificulte la actividad física. En cambio, en las zonas de latitudes medias el hombre desarrolla gran actividad física y mental».

3.2.8 Proximidad al concepto de variabilidad climática

El clima varía en escalas de tiempo y espacio. A través de los años, desde épocas remotas, se han presentado fluctuaciones del clima en diversas escalas de tiempo. Tales fluctuaciones se originan, generalmente, por modificaciones en la forma de interacción entre los distintos componentes del sistema climático y por cambios en los factores radiativos forzantes.⁴⁸

3.2.9 Aproximación conceptual de Anomalía Climática

El término anomalía es usado para describir la desviación del clima desde el punto de vista estadístico, es decir, la diferencia entre el valor del elemento climático en un periodo de tiempo determinado, por ejemplo un mes, con respecto al valor medio histórico o normal, de la variable climática correspondiente, durante el mismo lapso, en un lugar dado.⁴⁹ Dentro de las anomalías climáticas es posible encontrar:

a) Fluctuación Climática

Las fluctuaciones climáticas, pueden ser definidas como cambios en la distribución estadística usual utilizada para describir el estado del clima. La estadística climática comúnmente usada se refiere a los valores medios de una variable en el tiempo. Los valores medios pueden experimentar tendencias, saltos bruscos, aumentos o disminuciones en la variabilidad o una combinación de tendencias y cambios en la variabilidad.⁵⁰

b) Aproximación al concepto Oscilación del Sur

La Oscilación del Sur, originalmente llamada así por Sir Gilbert Walker (1928), es una onda estacionaria que se desplaza en la masa atmosférica produciendo un

⁴⁸ Cfr. MONTEALEGRE, José. & PABON, José. La Variabilidad Climática Interanual asociada al ciclo El Niño-La Niña-Oscilación del Sur y su efecto en el patrón pluviométrico de Colombia. Meteorología Colombiana. Bogotá, D.C. 2000. p.8.

⁴⁹ Cfr. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). Atlas Climatológico de Colombia. Parte I Aspectos Nacionales. p.p. 4.

⁵⁰ Cfr. Ibid., p.p 4.

gradiente de presiones en el pacífico y su representación se hace a través de índices. En ésta, los vientos alisios mantienen un equilibrio entre las aguas cálidas del Pacífico occidental (asiático) y las aguas frías del Pacífico oriental (suramericano) a 40 metros bajo la superficie ó termoclina.

En otras palabras es el modo dominante de la variabilidad interanual en los trópicos teniendo su mayor amplitud en los océanos Índico y Pacífico. Su estructura espacial depende de los parámetros en consideración, ya que cada parámetro tiene una región o núcleo donde la Oscilación del Sur se tiene en cuenta para su varianza, por ejemplo, la presión superficial tiene dos núcleos o regiones, uno sobre la parte suroriental del Pacífico Tropical y el otro sobre el continente marítimo, la lluvia tiene un núcleo próximo al ecuador y se extiende aproximadamente desde los 150° E a los 150°W, para la temperatura superficial del mar el núcleo está confinado al Pacífico Central y Oriental. La escala de tiempo de la Oscilación del Sur es del orden de 3 años, pero esta es tan irregular que el espectro de las variables meteorológicas en los trópicos tiene un amplio pico de rango de 2 a 10 años.⁵¹

c) Aspectos esenciales del concepto ENSO

Los vientos al soplar sobre la superficie libre del océano, impulsan sus aguas superficiales dando origen a las corrientes oceánicas y generando gran parte de su dinámica general. Tanto el Niño como la Niña, son los ejemplos más evidentes de las oscilaciones climáticas a nivel global, siendo parte fundamental de un complejo sistema de fluctuaciones climáticas. Los episodios Cálido/El Niño y Frío/La Niña, forman parte del ciclo conocido como ENSO (del Inglés: El Niño Oscilación del Sur), el cual tiene un periodo medio de duración de aproximadamente cuatro años, en algunos casos varía entre 2 y 7 años.⁵²

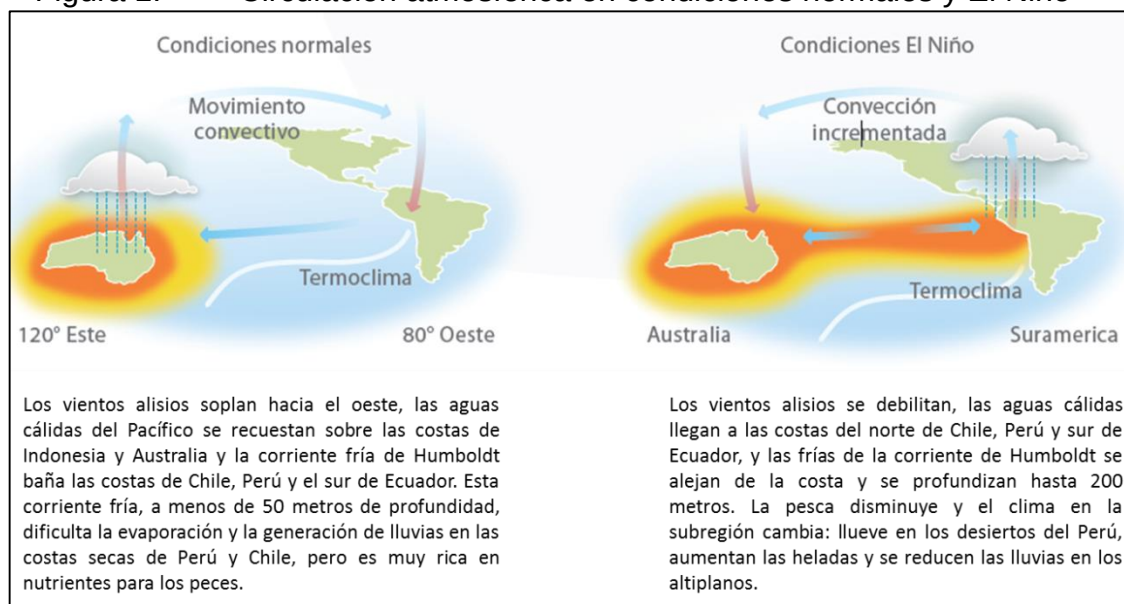
Se denomina El Niño la presencia de aguas anormalmente cálidas (más de 0.5°C por encima de lo normal) en la costa occidental de Suramérica por un período mayor a tres meses consecutivos. Actualmente es considerado como un fenómeno ocasional, irregular, aperiódico y de grandes repercusiones socioeconómicas en el mundo. Se presenta con variada intensidad, siendo los episodios de 1982 -1983 y 1997-1998 los de más impacto en el siglo XX.

En otras ocasiones ocurre el fenómeno opuesto. Los vientos alisios del sur se intensifican frente a las costas suramericanas y provocan un mayor afloramiento de aguas frías, las cuales cubren la superficie del Pacífico desde Suramérica hasta un poco más allá del centro del océano. Por sus características contrarias a El Niño, este fenómeno es conocido como La Niña. Se destacan los episodios de 1988-1989 y 1998-2000 por su intensidad, duración y efecto climático.

⁵¹ Cfr. RODRIGUEZ, Marcela & OBREGÓN, Nelson. Avances en el estudio de la correlación entre los indicadores del ENSO y algunas series de caudales de ríos Colombianos. XV Seminario Nacional de Hidráulica e Hidrología. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá. p.p. 1-16.

⁵² Cfr. MONTEALEGRE, José. & PABON, José. Op. Cit. p. 10.

Figura 1. Circulación atmosférica en condiciones normales y El Niño⁵³



Fuente: Adaptado de Luhr. 2003. p 449.

i. Principales Indicadores del ENSO⁵⁴

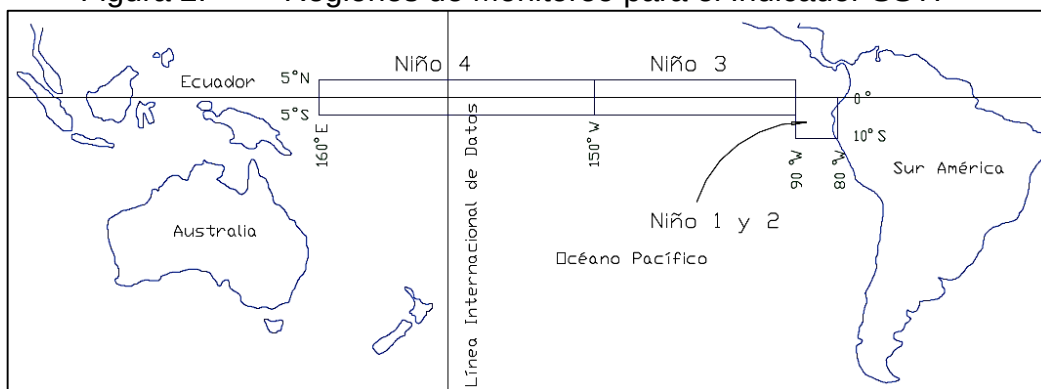
- ✓ SOI: Índice de Oscilación del Sur (SOI) ó Índice de Tahiti-Darwin, se calcula como la diferencia estandarizada o normalizada entre las medidas de presión atmosférica al nivel del mar en el este de Tahití y el oeste de Darwin Australia (Ropelewski y Jones, 1987).
- ✓ MEI: Índice Multivariado del ENSO en el Pacífico Tropical (MEI), puede ser entendido como el promedio ponderado de las principales características del ENSO contenidas en las siguientes variables: presión a nivel del mar (P), componentes zonales (U) y meridionales (V) (este-oeste y norte-sur) de los vientos superficiales, temperatura de la superficie marina (S), temperatura del aire superficial (A) y la fricción entre las nubes (C). Valores muy negativos representan un evento del fenómeno de El Niño, mientras que valores muy positivos representan un evento del fenómeno de La Niña.

⁵³ Adaptado de Luhr. 2003. p 449.

⁵⁴ Cfr. Ibid., p.p 5.

- ✓ SST ó Niño 1, 2, Niño 3 y Niño 4. Índice de las anomalías en la temperatura de la superficie marina en el Pacífico Ecuatorial, sus respectivas regiones de monitoreo son:

Figura 2. Regiones de Monitoreo para el Indicador SST.⁵⁵



Fuente: RODRIGUEZ, Marcela & OBREGÓN, Nelson.

Niño 1,2	0 ° - 10° S y 90° - 80° W
Niño 3	5 ° N - 5° S y 150° - 90° W
Niño 4	5 ° N - 5° S y 160° E - 150° W
Niño 3.4	5 ° N - 5° S y 170° - 120° W

ii. Aproximación al concepto Fenómeno de LA NIÑA⁵⁶

Normalmente, luego de un fenómeno El Niño, se presenta un enfriamiento inusitado de las aguas del Pacífico oriental que produce condiciones más o menos opuestas a las anteriores, por lo que esta alteración climática se ha denominado como Fenómeno La Niña (fase fría). Durante La Niña, los vientos alisios que soplan desde el continente americano son más fuertes que de costumbre y empujan aguas cálidas de la superficie del mar rumbo a Asia, lo que a su vez causa que aguas profundas más frías suban a la superficie y produzcan una “lengua fría” que se extiende a lo largo del ecuador terrestre. Tanta agua fría aumenta el nivel de nutrientes y disminuye la evaporación, por lo que se reduce la formación de tormentas y lluvias en esta región americana; por el contrario, la circulación de agua cálida hacia el Asia provoca lluvias de monzón más intensas en la India, y precipitaciones mayores a las promedio en Australia y en regiones tan occidentales como el sur de África.

⁵⁵ Cfr. Ibid., p.p 6.

⁵⁶ Cfr. RODRIGUEZ, Marcela & OBREGÓN, Nelson. Op., cit., p.p 4.

iii. Aproximación al concepto Fenómeno EL NIÑO⁵⁷

El fenómeno EL NIÑO, es en el cual aparecen aguas superficiales relativamente más cálidas que lo normal desde los sectores central y oriental del Océano Pacífico Tropical, hasta las costas del Norte de Perú, Ecuador y el Sur de Colombia, produciendo una profundización de la termoclina oceánica, debido a que los vientos alisios del este disminuyen su poder y permiten que una capa de 150 metros de profundidad de aguas cálidas del Pacífico occidental fluya hacia el oriente. Esta capa de agua cálida se desliza sobre las aguas más frías ricas en nutrientes y bloquea su corriente ascendente en América del Norte y del Sur causando escasez de alimento en el océano.

Recibe este nombre debido a que históricamente se presentaba hacia final del año, y la gente común lo relacionaba con la conmemoración del nacimiento de Jesucristo o del “Niño Dios”. En promedio su duración es de doce meses, aunque en algunas oportunidades se han registrado fenómenos muy cortos, con una duración de siete meses, en 1946, y, prolongados, de veintiocho meses, de 1939 a 1942. Su intensidad está relacionada, en términos generales, con la magnitud de las anomalías, tanto en el Océano, como en la atmósfera en el Pacífico tropical. El estudio de este fenómeno, se inició aproximadamente hace 25 años y después de la fuerza que mostró entre 1982 y 1983, los expertos meteorólogos aumentaron sus esfuerzos para comprender el proceso en forma global.

La intensidad de un fenómeno EL NIÑO, se refleja en la magnitud de las anomalías, tanto en el océano, como en la atmósfera en el área del Pacífico tropical. Esta intensidad, aunque influye, es diferente de la magnitud del efecto climático y del impacto producido por el fenómeno en las actividades humanas. El efecto climático depende de la época del año en que se presenta el fenómeno y el impacto socioeconómico está más relacionado con la vulnerabilidad de las diferentes regiones del país y de los sectores de la actividad nacional.⁵⁸

Con el desplazamiento de las aguas cálidas desde el Pacífico tropical occidental hacia el Oriente, en dirección de la costa Suramericana, se da inicio al desarrollo de un fenómeno EL NIÑO, y su evolución se manifiesta mediante cuatro fases:

- ✓ Fase inicial: Corresponde al desplazamiento de aguas cálidas desde el sector occidental del Pacífico tropical, hacia la zona cercana de la línea de cambio de fecha (180° de longitud).
- ✓ Fase de Desarrollo: Continúa el desplazamiento de las aguas cálidas hacia el Oriente a través del Pacífico tropical.

⁵⁷ Cfr. Ibid., p.p 3.

⁵⁸ Cfr. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). Posibles efectos naturales y socioeconómicos del fenómeno EL NIÑO en el periodo 1997-1998 en Colombia. Bogotá. 1997. p.p. 9.

- ✓ Fase de Madurez: Concierno al máximo calentamiento de la superficie del mar en el sector oriental del Pacífico tropical frente a las costas del Perú, Ecuador y Colombia.
- ✓ Fase de Debilitamiento: Se genera una disminución del calentamiento de las aguas del Pacífico tropical oriental hasta llegar a condiciones cercanas a las normales.

3.2.10 Elementos fundamentales del análisis estadístico.⁵⁹

Mediante la caracterización de un conjunto de datos obtenidos a partir de registros de diferentes estaciones hidrometeorológicas es posible realizar un análisis estadístico de datos hidrológicos el cual permitirá conocer eventos próximos de precipitación y su comportamiento a través del tiempo, para el cual se hace uso de variables estadísticas como las siguientes:

- ✓ Media: También denominada promedio, es la que se utiliza principalmente y se define como la suma de valores de todas las observaciones divididas por el número total de datos. Tiene la desventaja de que si alguno de los valores es extremadamente grande o extremadamente pequeño, la media no es el promedio apropiado para representar la serie de datos.
- ✓ Mediana: Suponiendo que los valores de la variable están ordenados de menor a mayor, la mediana se define como aquel valor que divide la distribución de frecuencias de forma que el número de frecuencias que quedan a su izquierda es igual al número de las que quedan a su derecha.
- ✓ Cuartiles: Son los tres valores que dividen al conjunto de datos ordenados en cuatro porciones iguales, son un caso particular de los percentiles, correspondiendo a los percentiles 25, 50 y 75.

El primer cuartil Q1 es el valor de la variable que deja a la izquierda el 25% de la distribución.

El segundo cuartil Q2 (la mediana), es el valor de la variable que deja a la izquierda el 50% de la distribución.

El tercer cuartil Q3 es el valor de la variable que deja a la izquierda el 75% de la distribución.

⁵⁹ Cfr. MONTERO, José. Estadística Descriptiva. International Thomson Ediciones Paraninfo, S.A. ISBN: 978-9732-514-1. Madrid, España. 2007. p.p. 1-379.

- ✓ Desviación estándar: También llamada desviación típica, es una medida de dispersión usada en estadística que nos dice cuanto tienden a alejarse los valores puntuales del promedio de una distribución. Específicamente, la desviación estándar es “el promedio de la distancia de cada punto respecto del promedio”. Una desviación estándar grande indica que los puntos están lejos de la media, y una desviación pequeña indica que los datos están agrupados cerca de la media.
- ✓ Varianza: Se puede definir como el "casi promedio" de los cuadrados de las desviaciones de los datos con respecto a la media muestral.
- ✓ Amplitud: Corresponde a la diferencia entre la puntuación de mayor valor y la de menor valor.
- ✓ Coeficiente de Asimetría: Mide la desviación de la simetría, expresando la diferencia entre la media y la mediana con respecto a la desviación estándar del grupo de mediciones.

Si $A_s = 0$, distribución simétrica, las desviaciones a la izquierda y a la derecha de la media se compensan.

Se $A_s < 0$, distribución asimétrica negativa, las observaciones están a la derecha de la proyección de la media.

Si $A_s > 0$, asimetría positiva, las observaciones están a la izquierda de la proyección de la media.

- ✓ Coeficiente de Variación: Es una medida que se emplea fundamentalmente para comparar la variabilidad entre dos grupos de datos que tienen distinta media y determinar si cierta media es consistente con la varianza.

a) Análisis Exploratorio⁶⁰

El análisis exploratorio de los datos, se realiza con el fin de comprobar tendencias y cambios en la serie de tiempo por medio visual. Es considerado como el primer análisis a realizar antes de cualquier análisis confirmatorio (cuantitativo) y, más aún, antes de utilizar la información hidroclimatológica para modelos y simulaciones.

Dentro del análisis exploratorio de los datos, se recomienda utilizar la gráfica de serie de tiempo, el diagrama de cajas, la gráfica de doble masa y la gráfica de normalidad.

⁶⁰ CASTRO, Lina. Análisis de tendencia y homogeneidad de series climatológicas. Escuela de Ingeniería de Recursos Naturales y del Ambiente. Revista EIDENAR. Ejemplar 9. Universidad del Valle. Cali. 2010. Disponible en: <http://revistaeidemar.univalle.edu.co/revista/ejemplares/9/c.htm>

- ✓ Gráfica de series de tiempo: representa los datos ordenados cronológicamente en las ordenadas y el tiempo en las abscisas. Son gráficos en los cuales se pueden observar claramente las tendencias, los cambios, la irreversibilidad, y la intermitencia, entre otros.
- ✓ Diagrama de cajas: se considera un resumen de la información, ya que brinda una idea de la tendencia central, la variabilidad, la simetría y la presencia de puntos atípicos. En el diagrama de cajas se muestra el percentil 50 (la mediana), 25 y 75 (límite inferior y superior de la caja respectivamente), el menor y el mayor valor observados sin ser considerados atípicos, además de puntos atípicos (1.5 veces la longitud de la caja) y extremos (3.0 veces la longitud de la caja). Para determinar si existe un cambio en la medida de la tendencia central en la serie hidroclimatológica se divide la misma en dos o más partes, de tal forma que se pueda observar a partir del diagrama de cajas de cada una de ellas si existen diferencias entre las características estadísticas de cada una de las partes de la serie.
- ✓ Gráfica de doble masa: ampliamente usada para evaluar la consistencia de las observaciones a lo largo del tiempo. Para ello, se compara la serie de estudio con una serie patrón que no presente ningún problema de homogeneidad, tendencia o cambio. Para realizar el contraste gráfico es necesario graficar en el eje de las abscisas los valores acumulados de la estación patrón y en el eje de las ordenadas los valores acumulados de la estación en estudio. Si la serie en estudio no presenta cambios en la media, la gráfica debe manifestar una relación estable de proporcionalidad entre la estación patrón y la estación en estudio. Si por el contrario se observan quiebres en la pendiente de la gráfica, saltos o picos, se puede concluir que la serie presenta un cambio en la media y/o presenta puntos atípicos.
- ✓ Gráfica de normalidad: consiste en graficar la información en un papel de probabilidad normal. Si la gráfica muestra una línea recta, indicará que la información se distribuye normalmente, de otra manera la información no se distribuye siguiendo esta distribución y será necesario realizar una transformación a la variable.
- ✓ Valores Atípicos: Pueden proceder de muestras registradas en campo, olvido de la toma del dato, error de digitación, etc. Si estos valores son excesivamente altos, se debe establecer su autenticidad ya que puede contener información sobre alguna anomalía aplicable a los datos. Estos valores son detectables en los diagramas de caja, los atípicos son aquellos cuyo valor es superior a 1.5 veces el valor de los cuartiles que configuran la caja de la variable, mientras que los extremos son aquellos cuyo valor es 3 veces superior al de dichos cuartiles. Los valores atípicos se alejan de una distribución normal, pero no tienen por qué deberse a un error; los

extremos, por su parte, sí suelen considerarse como valores susceptibles de eliminarse.

b) Aspectos fundamentales del concepto Validación Cruzada⁶¹

Para verificar la calidad de un mapa interpolado debe utilizarse un conjunto de validación formado por una serie de puntos de muestreo (de los que por tanto se conoce el valor real) en los que se va a hacer una estimación de dicho valor real (sin utilizar por supuesto el valor medido en ellos). La diferencia entre el valor medido y el estimado es el error de la estimación en ese punto. De este modo a cada punto de validación se asigna un error. El conjunto de los errores debe tener las siguientes características:

- ✓ Media de errores y media de errores al cuadrado próxima a cero
- ✓ Los valores de error deben ser independientes de su localización en el espacio y no estar autocorrelacionados
- ✓ La función de distribución de los errores debe aproximarse a la distribución normal

Teniendo en cuenta que el propósito de la validación cruzada consiste en evaluar algunos de los métodos de interpolación espacial más usados, tal como el IDW, en comparación con otro cuya complejidad matemática podría hacerlo mejor, como el Kriging.

c) Prueba de Bondad de ajuste⁶²

Las pruebas de bondad tienen por objetivo, determinar si los datos se ajustan a una determinada distribución, indica si estos provienen o no de esa distribución.

En algunos casos se necesita probar si una variable o unos datos siguen determinada distribución de probabilidad, un método para hacer esta prueba es por medio del coeficiente de correlación R^2 .

Este coeficiente tiene una interpretación simple e intuitiva y además es fácil de calcular, hay un gran interés en desarrollar medidas de este tipo para modelos lineales mixtos que sean extensiones naturales de los R^2 de los modelos tradicionales y que posean las propiedades básicas de los R^2 que han sido enunciadas por Kvalseth (1985).

⁶¹ Cfr. VERA, Juan. Incertidumbre y confiabilidad de métodos de interpolación espacial en el comportamiento de registros hidrológicos. Universidad Autónoma de Querétaro. Facultad de Ingeniería. Maestría en Recursos Hídricos y Ambiental. 2012.

⁶² Cfr. GUZMAN, Diana. SALAZAR, Juan. CORREA, Juan. ZULUAICA, Camilo. Comparación de algunos R^2 como medidas de bondad de ajuste en modelos lineales mixtos. Revista de la Facultad de Ciencias Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín. Vol 2. 2012.

Vonesh y Chinchilli (1997) propusieron un estadístico R^2 para evaluar la bondad de ajuste que se define como:

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^m (y_i - y'_i)(x_i - x'_i)}{\sum_{i=1}^m (y_i - y'_i)(x_i - x'_i)'}$$

Con m el número de individuos, y_i el vector de los valores observados del i -ésimo sujeto; y' el vector de valores predichos. El R^2 coincide con el tradicional R^2 para modelos lineales cuando $m=1$, por lo tanto R^2 es fácil de interpretar.

La bondad de ajuste de los métodos de interpolación depende de múltiples factores característicos de la zona de estudio, como el tamaño, la forma, la orientación, la orografía, así como de la naturaleza de las variables que se quieran interpolar, la densidad de datos existentes y la escala temporal de las variables que se elijan para realizar las interpolaciones.

Esta prueba es un procedimiento razonablemente adecuado para probar suposiciones de normalidad siempre y cuando el tamaño de la muestra sea suficientemente grande.

d) Aspectos fundamentales de los métodos de interpolación locales

Por medio de la interpolación de datos, es posible proyectar mapas o superficies continuas a partir de datos discretos, no obstante la utilización de una buena cantidad de puntos del área en estudio limita su utilización, dentro de los interpoladores más utilizados se encuentran los siguientes:

i. Kriging

El método Kriging es un método analítico, donde la función de interpolación depende de la autocorrelación espacial de la variable, que se representa en variogramas. Utiliza datos tabulares y su posición geográfica para el cálculo de las interpolaciones. Utilizando el principio de la primera ley geográfica de Tobler, que dice que las unidades de análisis más próximas entre sí son más similares que las unidades más lejanas, el *kriging* utiliza funciones matemáticas para añadir más peso en las posiciones más cercanas a los puntos de muestreo y menores pesos en posiciones más distantes, y así crear nuevos puntos interpolados basados en estas combinaciones lineales de datos. Además se está basado en optimizar funciones usando autocorrelación espacial.⁶³

⁶³ NOE, Daniel. BRAZ, Fernando. FERITAS, Yane. & GONCALVES, Diego. Análisis de métodos de interpolación espacial utilizando datos de evapotranspiración. Instituto Regional de Ciencias Ambientales – UNAS. Castilla Postal 985. Arequipa, Perú. 2013.

La ventaja teórica de este método es precisamente la posibilidad de modelar la dependencia espacial de los datos por lo que aporta los mejores resultados entre los métodos puramente espaciales en la interpolación de la precipitación.⁶⁴

Este método de interpolación tiene parecidos con el IDW, ya que pondera la distancia en su fórmula, no obstante, tanto el IDW y el Splines son métodos que no tienen por qué ser mejores si la correlación positiva es débil y la distribución de puntos es irregular. Es aquí donde el kriging mejora las deficiencias de los anteriores, puesto que estima mejor estas dos variables. Una de las particularidades de este método es el uso de la geoestadística, que es lo que le permite esta mejora de las estimaciones.⁶⁵

Existen distintas técnicas de Kringing dependiendo de las diferentes formas de datos:

Kriging ordinario: Es útil en muestras sin valores atípicos, ni valores muy altos, ni muy bajos y sin estructura espacial.

Kriging por bloques: Al contrario que el anterior es más indicado para cuando tenemos valores atípicamente altos y/o bajos.

Kriging universal: Funciona bien con datos que tienen una tendencia bien definida.

Co-Kriging: Este método es el más indicado para usar información de más de una variable.

ii. Interpolación lineal con ponderación de la distancia inversa (IDW)

El método de la distancia inversa (IDW) se apoya en el concepto de continuidad espacial, con valores más parecidos para posiciones cercanas que se van diferenciando conforme se incrementa la distancia. Al ser un método exacto y ajustarse en su localización a los datos, en ocasiones genera en el mapa círculos concéntricos, denominados “bulleyes” (ojos de toro), que gradúan los cambios bruscos en los valores.⁶⁶

iii. Spline

Este método es indicado para valores que varían muy poco y lentamente, como las elevaciones. No obstante es un método de interpolación inexacto, ya que altera

⁶⁴ T. Izquierdo & A. Márquez. Compring interpolación methods for rainfall maps elaboration in the Icod-Cañadas aquifer (Tenerife, Canary Islands). Geology Group. ESCET. Rey Juan Carlos University. Móstoles, Madrid. 2006.

⁶⁵ Cfr. IniSIG. Complementos Básicos SIG. Modelos de Superficie, Interpolaciones. Disponible en: <http://inisig.com/modelos-de-superficie-interpolaciones-2/#more-217>.

⁶⁶ Cfr. Siabato, W. y Yudego, C. “Geoestadística y Medio Ambiente”. Territorio y Medio Ambiente: Métodos Cuantitativos y Técnicas de Información Geográfica. Aportaciones al XI Congreso de Métodos Cuantitativos, SIG y Teledetección (Asociación de Geógrafos Españoles) y Departamento de Geografía, Universidad de Murcia. 2004. p.p.11-25.

ligeramente el valor y la posición de los datos originales, generando un resultado muy suavizado. Este método es recomendable para cuando se tienen poco puntos de partida, ya que posibilita obtener nuevos datos.

El método de los splines ajusta funciones polinómicas en las que las variables independientes son X e Y, producen resultados muy buenos con la ventaja de poder modificar una serie de parámetros en función del tipo de distribución espacial de la variable. La ventaja fundamental del método de splines respecto a los basados en medias ponderadas es que, con estos últimos, los valores interpolados nunca pueden ser ni mayores ni menores que los valores de los puntos utilizados para interpolar.⁶⁷

e) Características, ventajas y desventajas de los métodos de interpolación geoespacial (Kriging, IDW y Spline)

Dentro del campo de interpolación, se conocen diferentes métodos, los cuales pueden clasificarse en exactos y aproximados. En los métodos exactos se incluyen Kriging, Spline, Interpolación de polinomios y los métodos de diferencias finitas, en los aproximados se encuentran los modelos de tendencia de potencia de la serie, los modelos de Fourier, por mínimos cuadrados de distancia ponderada y por mínimos cuadrados ajustados con estrías.⁶⁸ En programas tipo SIG como ArcGis es posible encontrar métodos como Spline, IDW y Kriging, cada uno de los métodos tiene un comportamiento diferente, el cual se encuentra en función de la muestra a interpolar y los parámetros que abarca; para los anteriores métodos se realizó una revisión literaria con el fin de verificar el de mejor precisión.

Tabla 2. Comparación entre métodos de Interpolación⁶⁹

MÉTODO	INTERPOLADOR EXACTO	VENTAJAS	DESPENTAJAS	PÁRAMETROS
INVERSA DE LA DISTANCIA (IDW) (Determinística)	Si	Pocos parámetros ajustar	No da predicción de errores, genera ojos de buey cerca de los datos. Tiene a generar superficies cerradas alrededor de los datos cuando el coeficiente de potencia (p) es pequeño, dando un	p (factor de potencia), radio de búsqueda, n (n° de puntos vecinos)

⁶⁷ Cfr. Ibid.

⁶⁸ Spatial Interpolation Methods: A Review. The American Cartographer, Vol 10, Issue 2, 1983.

⁶⁹ J. Ramírez. A. Fernandez. J. Núñez. O. Fernandez. J. Blanco. & F. Casteado. Aplicación de técnicas geoestadísticas en la elaboración de cartografía. Grupo de Ingeniería y Planificación Rural. ETSI Agraria. Universidad de León. Campus de Bierzo. España. 2005

MÉTODO	INTERPOLADOR EXACTO	VENTAJAS	DESPENTAJAS	PÁRAMETROS
			menor valor a los puntos más cercanos.	
SPLINE (Determinística)	Si	Flexible y automático, con algunas decisiones sobre los parámetros a ajustar	No da predicción de errores, pueden ser demasiado automáticos. No es apropiado para extrapolar valores cuando los cambios son muy abruptos. No permite el control local de la curva, es decir, si se altera la posición de cualquier punto de control, afecta toda la curva, teniendo que rehacer cálculos.	n, radio de búsqueda
KRIGING (Geoestadística)	Si	Muy flexibles, da información sobre la correlación espacial. Proporciona el mejor estimador lineal imparcial. Permite el conocimiento del comportamiento de la variable en el espacio. Kriging es considerado como uno de los mejores métodos de interpolación ya que provee estimaciones insesgadas y de varianza mínima.	Deben realizarse muchas decisiones sobre ajustes de tendencia, modelos, parámetros	Modelos: Circular, esférico, tetraeferico, pentaeferico, exponencial, cuadrático, racional, efecto agujero, K-Bessel, J-Bessel, estable.

Tabla 3. Referencias Métodos de Interpolación

ANTECEDENTES	REFERENCIA
Kriging, tiene en cuenta la autocorrelación espacial de las variables de interés, la correlación entre las variables de interés y las variables auxiliares. Los resultados indican que la interpolación con Kriging tiene el	Assessment of regression kriging for spatial interpolation – comparisons of seven GIS interpolation methods Cartography and Geographic

potencial de mejorar significativamente la precisión de la predicción espacial, incluso cuando se utiliza una variable auxiliar de débil correlación.	Information Science. Vol, Issue 1, 2013.
Kriging es un método ampliamente empleado para la interpolación. Su lugar de prominencia se debe a sus elegantes fundamentos teóricos y su aplicación práctica conveniente. Kriging es un mejor estimador lineal no sesgado y, en consecuencia, tiene un lugar de distinción entre todos los estimadores espaciales.	The Discontinuous Nature of Kriging Interpolation. Cartography and Geographic Information Science. Vol 31, Issue 4, 2004.
Por su precisión, Kriging es utilizado dentro de sistemas informáticos para producir mapas de lluvia en el Observatorio de Hong Kong. El resultado de la interpolación plasmada en los mapas, permite a los ingenieros de drenaje estimar cualitativamente la posible ubicación de las inundaciones e impactos causados por tormentas.	Kriging Analysis on Hong Kong Rainfall Data. HKIE Transactions. Vol 9, Issue 1, 2002.
Los datos de 545 pluviómetros fueron usados para interpolar la distribución espacial de la precipitación anual en Sudáfrica. Existen varios métodos de interpolación espacial, ponderación de distancia inversa (IWD), Kriging, fueron probados por la variación de los análisis y la validación cruzada para determinar el más adecuado. Los mejores resultados se logran mediante Kriging ordinario, por lo que el ajuste de los parámetros se determinó mediante análisis de sensibilidad, donde los errores de interpolación fueron pequeños.	Spatian Interpolation of Annual Precipitation in South Africa-Comparison and Evaluation of Methods. International Water Resources Association. Vol 32. Number 3, Pg. 494-502, September 2007.
Una variedad de técnicas de interpolación estadísticas se han utilizado con factores climáticos. Este estudio comparó técnicas de interpolación estadísticas como, Kriging y IDW con la temperatura y la precipitación. Como resultado, Kriging mostró un patrón gradual y suave, mientras que IDW mostró una distribución irregular con bordes discontinuos.	Comparison of spatial interpolation techniques for predicting climate factors in Korea. Forest Science and Technology. Vol 6. Issue 2. 2010.
En este estudio se utilizaron tres métodos diferentes (Kriging, Regresión lineal, Modelo cuadrático) con el fin de comparar los resultados de cada uno de ellos con los datos reales de los pluviómetros y obtener así la mejor aproximación de la precipitación en la zona. Para los tres métodos se calculó el error mínimo absoluto como medida de precisión, donde el método kriging obtuvo los errores más bajos, y con este fueron realizados los mapas de precipitación mensual del área del acuífero de Icod-Cañadas.	T. Izquierdo & A. Márquez. Comparing interpolation methods for rainfall maps elaboration in the Icod-Cañadas aquifer (Tenerife, Canary Islands). Geology Group. ESCET. Rey Juan Carlos University. Móstoles, Madrid. 2006.
Los distintos métodos de interpolación se han conformado mediante una validación cruzada, presentando en general una mayor precisión las técnicas geoestadísticas frente a las determinísticas. En concreto, los mejores resultados se han obtenido utilizando el método Kriging universal. La implementación de este método, ha permitido elaborar una cartografía a escala 1:50.000 de las existencias para toda el área de estudio.	J. Ramírez. A. Fernandez. J. Núñez. O. Fernandez. J. Blanco. & F. Casteado. Aplicación de técnicas geoestadísticas en la elaboración de cartografía. Grupo de Ingeniería y Planificación Rural. ETSI Agraria. Universidad de León. Campus de Bierzo. España. 2005
El método IDW permitió generar superficies continuas a partir de datos puntuales para los tres conjuntos de tendencias. Sin embargo, como este método asume que la distribución espacial de las variables depende solamente de la distancia que hay entre los puntos del espacio, los mapas de tendencias obtenidos son poco confiables en el caso de la precipitación y muy poco confiables para las temperaturas. Se recomienda para próximos trabajos, probar otros métodos de interpolación de tendencias de variables climáticas que mejoren la confiabilidad de los mapas.	ROJAS, Edwin. ARCE, Blanca. PEÑA, Andrés. BOSHELL, Francisco. & AYARZA, Miguel. Cuantificación e interpretación de tendencias locales de temperatura y precipitación en zonas alto andinas de Cundinamarca y Boyacá. Corporación colombiana de investigación agropecuaria. 2010. p.p 173-182.
El método de interpolación Inversa de la Distancia Ponderada, que ha sido tradicionalmente utilizado para la interpolación de datos de precipitación, ha proporcionado predicciones menos precisas que los métodos geoestadísticos, y por tanto no es apropiado para obtener modelos de precipitación en nuestra área de estudio.	PORTALES, Cristina. <i>et al.</i> Un nuevo método para el cálculo de precipitaciones medias mediante técnicas de interpolación geoestadística considerando las características geográficas y

Los mejores métodos de interpolación son los geoestadísticos, especialmente los basados en el Cokrigado (CKO y CKS), cuando consideramos los valores de la estimación obtenida mediante la regresión como información secundaria; ambos métodos CKO y CKS, proporcionan modelos fiables para todas la variables de precipitación.	topográficas del territorio. Congreso Internacional de Ingeniería Geomatica y Topografica. Universidad Politécnica de Valencia.
En este artículo se analizan tres métodos de interpolación espacial: Inverso de la distancia (IDW), Spline y Kriging Ordinario; para los cuales se realiza una evaluación por validación cruzada con el fin de analizar la calidad de la interpolación. Para este caso los métodos Kriging y Spline son los menos eficaces por obtener errores del 8.1% y 9.1% respectivamente, mientras que el método de la Inversa de la distancia fue el más adecuado con un error de 6.9%.	KEBLOUTI, Mehdi. OUERDACHI, Lahbassi. & BOUTAGHANE, Hamouda. Spatial Interpolation of Annual Precipitation in Annaba Algeria – Comparison and Evaluation of Methods. Energy Procedia. Vol 18. p.p. 468-475. 2012.
En este estudio se comparan las actuaciones de predicción de los métodos MLR, GWR, OK, RK and UK; el método más fiable para la interpolación espacial de la precipitación de Turquía, corresponde Kriging Universal (UK).	Comparison of regression and Kriging techniques for mapping the average anual precipitation of Turkey. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation. Vol 16. p-p 115-126. 2012.
Con el fin de predecir la temperatura máxima mensual y la precipitación media mensual en Jalisco-México, se evaluaron cuatro formas de Kriging y de Estrías de placa delgadas; los resultados muestran a Kriging y Spline como los mejores interpoladores, sin embargo el error es menor en el primero.	Eric P j Boer. Kristen M de Beurs and A Dewi Hatkamp. Kriging and thin plate splines for mapping climate variables. Vol 3. Issue 2. 2010.
La utilización del Kriging como técnica para estimación de datos pluviométricos en áreas con escasez de estaciones o de difícil accesibilidad se ha convertido en una herramienta útil para el investigador. Asimismo, se ha experimentado para áreas con densidades de cobertura relativamente homogéneas a efectos de medir su nivel de confianza como método de estimación o para efectos de comparación con otros métodos de interpolación, convirtiéndose, en la mayoría de los casos, en la herramienta más adecuada para este tipo de análisis.	GUERRA, Fernando. GÓMEZ, Heriberto. GONZÁLEZ, Julio. ZAMBRANO, Zahylis. Uso actual de métodos y técnicas para el estudio de la precipitación incluyendo plataformas SIG-Geoenseñanza. Vol 11. Núm 1. Universidad de los Andes. Venezuela. p.p. 97-106. 2006. ISSN: 1316-6077.
Los estudios de estimación de datos de precipitación por diferentes métodos de interpolación, tanto para áreas con información como para sectores con escasa información, ha sido comparada en diversos estudios y, en la mayoría de los casos, tal como ya se mencionó, la estimación por Kriging ha producido las mejores estimaciones y los errores más bajos que otros métodos como: polígonos de Thiessen, inverso de la distancia, triangulación, interpolación lineal, etc., considerados éstos, los métodos más utilizados para interpolación de datos de precipitación.	

Tabla 4. Criterios para elegir el método de interpolación⁷⁰

Número de Puntos de Muestreo	Método de Interpolación Sugerido	Observaciones
10	Kriging con variograma lineal Kriging con variograma lineal. Triángulos irregulares con interpolación lineal. Funciones radiales Regresiones polinomiales	Sólo es posible generar una tendencia general de los datos. Se recomienda crear diferentes superficies y optar por la que mejor represente el set de datos.
10 a 250	Kriging con variograma lineal Funciones radiales con función multicuadrática.	Ambos métodos de interpolación brindarán resultados aceptables y muy similares. Se recomienda

⁷⁰ FALLAS, Jorge. Métodos digitales de elevación. Teoría, métodos de interpolación y aplicaciones. 2007.

		utilizar todos los puntos de muestreo para crear la superficie.
250 a 1000	Triángulos irregulares con interpolación lineal. Curvatura mínima Kriging con variograma lineal Funciones radiales	Todos los métodos de interpolación brindarán resultados aceptables y muy similares. Para Kriging y funciones radiales se recomienda una función de búsqueda basada en cuadrantes.
>1000	Curvatura mínima Triángulos irregulares con interpolación lineal. Kriging con variograma lineal. Funciones radiales	Kriging y funciones radiales requieren de mayor tiempo de cálculo pero ofrecen mejores resultados. Según el manual de Surfer (Golden Software, 1999) el incremento en tiempo no es proporcional al número de puntos en el set de datos.

4 MATERIALES Y MÉTODOS

4.1 MÉTODOS UTILIZADOS

Para la ejecución del proyecto, se trabajó aplicando los métodos cuantitativos, descriptivos y explicativos. Cuantitativo debido a la medición de variables en función de una magnitud o cantidad determinada⁷¹, incluyendo el procesamiento de las datos, el cálculo estadístico, con el fin de determinar la estacionalidad de la serie y la estabilidad en la varianza y la media dentro del análisis exploratorio de la información, así como para el completado de datos; el método descriptivo además de la descripción del proceso de recolección y manejo de la información, se refiere a la caracterización de un fenómeno indicando sus rasgos más particulares⁷², en este caso este método es necesario para la descripción del comportamiento de la precipitación en el departamento de Boyacá y lo explicativo debido a que se busca encontrar las razones o causas que ocasionan ciertos fenómenos y la condición en la que se dan, mediante la identificación y análisis de distintas variables, para este caso mediante el estudio de la precipitación en la región boyacense.

4.2 RELACION DE HERRAMIENTAS

Computador: equipo indispensable para el procesamiento y almacenamiento de toda la información extraída de fuentes físicas y bibliográficas y el adecuado procesamiento de los datos en los programas a utilizar.

Libros y Publicaciones: necesarios para la lectura acerca del tema de la investigación y para el complemento del marco teórico.

Programa ArcGis 10: por medio de este software es posible el procesamiento de la información, la delimitación de la zona de estudio, ubicación de las estaciones hidrometeorológicas para observar su cruce con las corrientes más cercanas.

Microsoft Excel 2010: programa con el cual es posible realizar análisis estadísticos por medio del procesamiento de datos, obtención de gráficos necesarios para describir los resultados de la investigación entre otros.

Microsoft Word 2010: procesador de texto indispensable para la presentación de los avances, informes y escritos relacionados con el proyecto.

⁷¹ Cfr. CERDA, Hugo. Los elementos de la investigación. Bogotá: Editorial El búho, 1993. p.p 46-76.

⁷² Cfr. BUNGE, Mario. La investigación científica. México: Siglo XXI Editores, 2004. p. 591.

4.3 METODOLOGÍA

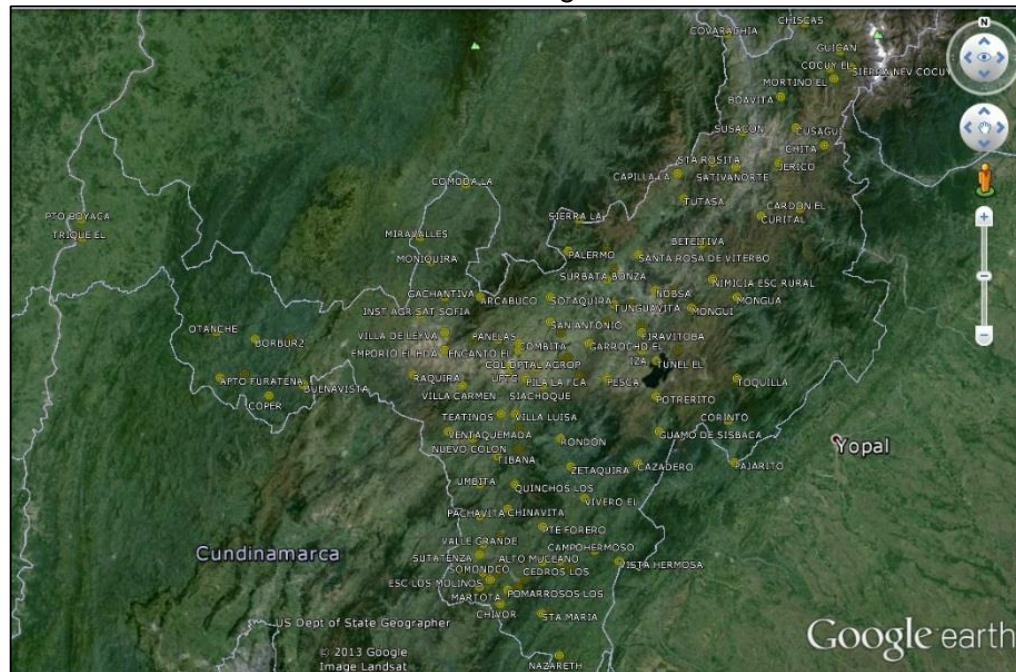
Teniendo en cuenta los objetivos planteados, la metodología de trabajo se enmarca bajo las siguientes fases:

FASE 1: Recolección de la Información y selección de estaciones

- ✓ Consulta de información primaria e interpretación de los conceptos con el fin de documentar el cuerpo de la investigación y comprender la importancia de esta.
- ✓ Recolección de información secundaria que permita realizar la descripción de la zona de estudio en cuanto a cobertura vegetal, uso del suelo y características en general, apoyado en un Sistema de Información Geográfica para gestionar la información espacial que se deriva de las imágenes satelitales del terreno. Información satelital que fue obtenida de las misiones satelitales de la Administración Nacional del Océano y la Atmósfera (NOAA – National Oceanic and Atmospheric Administration), cuya precisión de pixelado del DEM es de 30 * 30, el procesamiento de la información se realizó mediante el programa ArcGIS 10.0
- ✓ Clasificación de las estaciones hidrometeorológicas disponibles en el Departamento de Boyacá, seleccionando aquellas que presenten datos o información representativa de los patrones hidrometeorológicos, que conserven una longitud mínima de 30 años continuos de los registros a la escala de medición media mensual; periodo de tiempo que es recomendado por la Organización Meteorológica Mundial para la realización de este tipo de investigaciones.⁷³

⁷³ Cfr. (OMM). Organización Meteorológica Mundial. Función de las normales climatológicas en un clima cambiante. WCDMP-Nº. 61. OMM-TD Nº. 1377. Programa mundial de datos y vigilancia del clima. 2007.

Mapa 1. Localización de las estaciones seleccionadas para el desarrollo de la investigación.



Fuente: el autor, febrero de 2014.

FASE 2: Procesamiento de la Información

- ✓ Creación de la base de datos en formato .xls, mediante la información climatológica contenida por cada una de las estaciones, con el fin de realizar los respectivos cálculos para el análisis del comportamiento de la precipitación en el departamento de Boyacá, información digital que se encuentra contenida en el **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** Base de Datos.

FASE 3: Análisis estadístico

- ✓ Cálculo de los parámetros estadísticas de la precipitación registrada en cada una de las estaciones, dentro de las cuales se destaca la media, varianza, desviación estándar, el coeficiente de asimetría, mínimos y máximos, los cuales permitirán realizar el análisis del comportamiento y la variabilidad de la precipitación; en esta fase se incluye también la generación de diagramas de caja, hietogramas e histogramas que permitirán la descripción del comportamiento de la precipitación en el Departamento de Boyacá; usando las series de precipitación media total, máxima total y números de días de precipitación. Lo anterior se realizó para 118 estaciones ubicadas en el Departamento de Boyacá, en el periodo de registro de 1980 a 2012, para un total de 33 años analizados.

- ✓ Con base en la información obtenida en el paso anterior, y teniendo en cuenta los años en los que ha habido eventos fuertes de los fenómenos El NIÑO y La NIÑA, se procede a identificar los posibles valores atípicos que se encuentran dentro de los datos almacenados por cada estación, haciendo uso de los diagramas de caja.
- ✓ Una vez revisados los valores atípicos, se procede con la creación de la matriz para el completado de datos mediante el programa **HIDROBAS**, el cual permite mediante técnicas estadísticas, el contraste, corrección, completado y restitución de datos de precipitación, temperatura y caudales. Consta de seis programas, de los cuales el utilizado para este paso recibe el nombre de **CORTREST**⁷⁴ y funciona de la siguiente manera:
 - Realiza la correlación ortogonal entre estaciones y restituye valores de una estación incompleta a partir de una estación base. La restitución se hace atendiendo a una serie de normas a partir de los resultados de la correlación. El algoritmo de correlación se basa en considerar dos variables aleatorias, x e y, de las que se dispone de muestras iguales de extensión n, que corresponden a las pluviometrías de dos estaciones para un mismo periodo de tiempo. La función es de la forma:

$$\Phi = \sum | (x_i - x_c)^2 + (y_i - y_c)^2 - \sum s(x_i - x_c) + m(y_i - y_c) |^2$$

El ajuste por mínimos cuadrados se basará en obtener la recta que cumpla la condición de que Φ sea mínimo.

La segunda parte del programa se refiere a la restitución de valores. En función de los parámetros de correlación ortogonal, se inicia una labor de búsqueda a través de los valores de las series. Donde encuentra un valor -1 (lo que significa que la estación a restituir no tiene dicho valor registrado) lo sustituye por otro calculado por correlación a partir de una estación completa (estación base).

- Es necesario ingresar el año de inicio y el año final, así como el coeficiente de correlación admisible (0.8) y el nombre del fichero de resultados. Según el valor del coeficiente de correlación el programa realizará cierto número de iteraciones hasta encontrar la recta de correlación, suprimiendo los puntos anómalos que salen de las bandas de garantía.

⁷⁴ Cfr. ORTIZ, J. IGLESIAS, D. DELGADO, T. HERNANDEZ, M. GÓMEZ, M. LOPEZ, B & BALLESTEROS, A. Programas para el tratamiento de series hidrológicas y evaluación de aportaciones hídricas subterráneas. HIDROBAS 3.0. Universidad Politécnica de Madrid.

- Una vez procesados los datos, el programa genera una gráfica (Ver **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** Gráficas completado de datos) en la que se relaciona las estaciones, donde se observa la ecuación de la recta y si el coeficiente de correlación es mayor al admisible o no, lo que indica la homogeneidad de las estaciones.
- Finalmente, se da la opción de restituir las series, para lo cual se elige la estación a restituir y la estación base a partir de la cual se va a completar la anterior. En este proceso la estación base no se modifica, sus valores son utilizados para completar los huecos de la otra, los cuales van representados por el valor -1. Los datos completados se encuentran en el **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** Completado de Datos.

FASE 4: Elaboración de Mapas y selección método de interpolación

- ✓ Selección de método de interpolación a través de validación cruzada. Se evaluaron los métodos de interpolación IDW KRIGIN y SPLINE, a través de la validación cruzada y prueba de bondad del R^2 , comparando los valores verdaderos y estimados usando solo la información disponible en los datos. El estudio de los resultados de la validación cruzada, debe concentrarse en los aspectos negativos, en errores muy abultados o áreas con evidente sobre o subestimación.⁷⁵
- ✓ Diagramación de mapas de distribución espacial de lluvias máximas, medias mensuales y números de días de lluvias en el año, mediante el uso del programa ArcGis10.0, en los que es posible observar la variabilidad de la precipitación en los diferentes sectores de la región Boyacense.

FASE 5: Correlación lineal de las variables macroclimáticas SOI y SST con la precipitación

- ✓ Se generó la matriz que se ingresó en el programa estadístico **SPSS**⁷⁶, en el cual se relaciona cada uno de los meses por cada estación con los valores mensuales de las anomalías climáticas SOI (Índice de Oscilación del Sur) y SST (Índice de las anomalías en la temperatura de la superficie marina en el Pacífico Ecuatorial) de manera independiente, lo anterior con el fin de analizar el grado de incidencia de la anomalía sobre la precipitación.

⁷⁵ Cfr. GALLARDO, Antonio & MAESTRE, Fernando. Métodos geo estadísticos para el análisis de datos ecológicos espacialmente explícitos. Universidad Rey Juan Carlos. España. p.p 32.

⁷⁶ Cfr. Guía de IBM SPSS Statistics 19. Disponible en: https://www.unileon.es/ficheros/servicios/informatica/spss/spanish/IBM-SPSS_guia_breve.pdf

5 ANÁLISIS Y DISCUSIÓN

5.1. DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

El departamento de Boyacá está situado en el centro del país, en la cordillera oriental de los Andes; localizado entre los 04°39'10" y los 07°03'17" de latitud norte y los 71°57'49" y los 74°41'35" de longitud oeste. Cuenta con una superficie de 23.189 km² lo que representa el 2.03 % del territorio nacional. Limita por el norte con los departamentos de Santander y norte de Santander, por el este con los departamentos de Arauca, Casanare y con el país vecino de Venezuela, por el sur con Meta y Cundinamarca, y por el oeste con Cundinamarca y Antioquia. Ver Mapa 3.

Presenta una topografía compleja, con grandes montañas, valles estrechos y amplias llanuras, lo que determina una diversidad de climas. Las lluvias son muy variadas, tanto en intensidad como en distribución, van desde valores anuales bajos (Tunja 553 mm) hasta valores elevados. La región de menor precipitación coincide con una faja que se extiende desde el suroeste de Tunja, en dirección noreste, hasta donde termina el cañón del Río Chicamocha en el departamento. Por otra parte la región de mayor precipitación está formada por un núcleo localizado en el piedemonte llanero situado al sur, donde los valores de la precipitación superan los 6000 mm. A medida que se baja a la región oriental, la precipitación aumenta gradualmente.⁷⁷ El departamento de Boyacá cuenta con 123 municipios que se encuentran distribuidos en 15 provincias.

5.1 INFLUENCIA DE LOS VIENTOS EN LA PRECIPITACIÓN

El viento es la circulación del aire de un lugar a otro, con más o menos fuerza. Su principal efecto es el de mezclar distintas capas o bolsas de aire. Cuando se concentra la humedad en una zona y esta asciende hasta una capa de aire más fría, se producen las precipitaciones.⁷⁸ La velocidad del viento en superficie se refiere a la velocidad que alcanza esta variable meteorológica a 10 metros de altura, que es la norma internacional establecida por la Organización Meteorológica Mundial (OMM) como estándar para la medición y seguimiento del viento, a su vez esta velocidad se divide en varias unidades para su cuantificación,

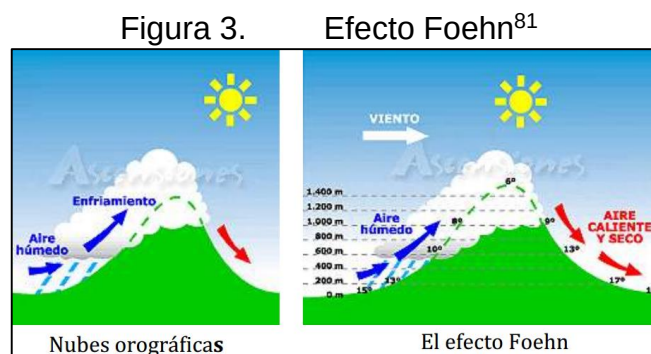
⁷⁷ Cfr. ACEVEDO, Eduardo. Tiempo Atmosférico y clima. El clima Boyacense corre parejo con la topografía de su territorio, variado y caprichoso. (en línea) Disponible en: http://www.boyacacultural.com/index.php?option=com_content&view=article&id=21&Itemid=22

⁷⁸ Cfr. Vientos y Precipitaciones. Disponible en: <http://www.astromia.com/tierraluna/vientolluvia.htm>

que van desde millas por hora a metros por segundo, de igual manera se pueden registrar periodos de tiempo donde la velocidad del viento es cero, los cuales se pueden representar como vientos de calma.

En ocasiones un relieve como puede ser una montaña, una cordillera u otro tipo de obstáculo, aunque no sea muy acusado, dificulta el flujo de viento. Esta masa de viento en movimiento, en el intento de salvar este obstáculo, en parte lo rodea y otro porcentaje se ve obligado a ascender originando así el proceso de condensación, cuando esto sucede nos podemos encontrar con claros contrastes de tiempo entre la vertiente de barlovento, expuesta al viento, y la de sotavento, que se encuentra resguardada. En la de barlovento la nubosidad puede ser abundante e incluso con precipitaciones, mientras que en la de sotavento el aire desciende calentándose, disminuyendo su humedad y dejando un tiempo despejado.⁷⁹

Una variante de este efecto, que se manifiesta más en la zona de sotavento, es el llamado efecto "**Foehn**" tomando el nombre de un característico viento de los Alpes del norte. Mientras que en la parte de la montaña, que da el viento, se producen importantes precipitaciones, en la otra hay buen tiempo, e incluso el aire pierde humedad y baja más seco y algo cálido, siendo en algunos casos importante el aumento de temperatura.⁸⁰



Fuente: Efecto Foehn. Influencia de la orografía en la formación de nubes.

Cerca de la superficie del globo, en la zona tropical, se encuentran vientos del noroeste y del sureste, denominados alisios. Esta convergencia cerca del ecuador forma la Zona de Confluencia Intertropical, en esta zona, por efecto de esta convergencia y por el calentamiento diurno, las masas de aire ascienden hasta altitudes altas y en ocasiones pueden llegar a alcanzar el tope superior de la troposfera. Durante este ascenso se origina la condensación por enfriamiento y por consiguiente, la formación de nubes de gran desarrollo vertical, que producen

⁷⁹ Cfr. Efecto Foehn. Influencia de la orografía en la formación de nubes. Disponible en: <http://secundaria.us.es/sanlerrrod/ctma/apuntes/EFEECTO%20FOEHN.pdf>

⁸⁰ Cfr. Ibid.

⁸¹ Cfr. Ibid.

abundantes lluvias y eventualmente tormentas eléctricas y granizo. En la alta troposfera ese aire se aleja del ecuador bajo la forma de una corriente de retorno. En el hemisferio Norte, la dirección de esa corriente se orienta progresivamente hacia el suroeste, mientras que en el hemisferio Sur se orienta al noroeste, estos vientos de retorno se denominan Contralisios.⁸²

Figura 4. Circulación vientos alisios (ZCIT).⁸³



Fuente: Vientos Zona de Confluencia Intertropical.

Cuando los vientos superficiales del este son remplazados por vientos del oeste, el afloramiento ecuatorial desaparece, las corrientes Ecuatoriales Norte y Sur se debilitan, la contracorriente Ecuatorial se intensifica y la corriente Ecuatorial subsuperficial que fluye de oeste a este por debajo de la corriente Ecuatorial desaparece. Como resultado, se tiene acumulación de aguas cálidas, hundimiento de la termoclina y aumento del nivel del mar en la costa del Pacífico; la temperatura superficial del mar en la costa del norte de Perú sobrepasa en varios grados centígrados a los valores normales, por lo cual para el seguimiento de esta condición se utiliza el Índice de Oscilación del Sur (IOS) en el cual la fase negativa indica disminución de la presión atmosférica en el Pacífico tropical oriental e incremento en la parte central y occidental, por el contrario la fase positiva se relaciona con la disminución de la presión en la parte occidental y central con incremento en la oriental.⁸⁴

Los vientos alisios y la posición de la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT) determinan en la escala sinóptica el comportamiento del viento en Colombia a lo largo del año. Sin embargo, debido a las desigualdades de superficie ocasionadas por la orografía y la distribución de tierras y mares, la dirección y la velocidad del viento varían de un lugar a otro y de una época del año a otra.⁸⁵ Estos vientos pueden variar de dirección por efectos locales de topografía y rozamiento, sin embargo son conocidos por su persistencia y regularidad. Cuando el aire se acerca al Ecuador, los vientos Alisios del noroeste y sureste convergen sobre una

⁸² Cfr. PABÓN, José. ZEA, Jorge. LEÓN, Gloria. HURTADO, Gonzalo. GONZÁLEZ, Olga. MONTEALEGRE, José. La atmósfera, el tiempo y el clima. Universidad Nacional de Colombia. p.p. 45.

⁸³ Vientos Zona de Confluencia Intertropical (ZCIT). Disponible en: <https://www.google.com.co/search?q=vientos+alisios+zona+de+convergencia+intertropical>.

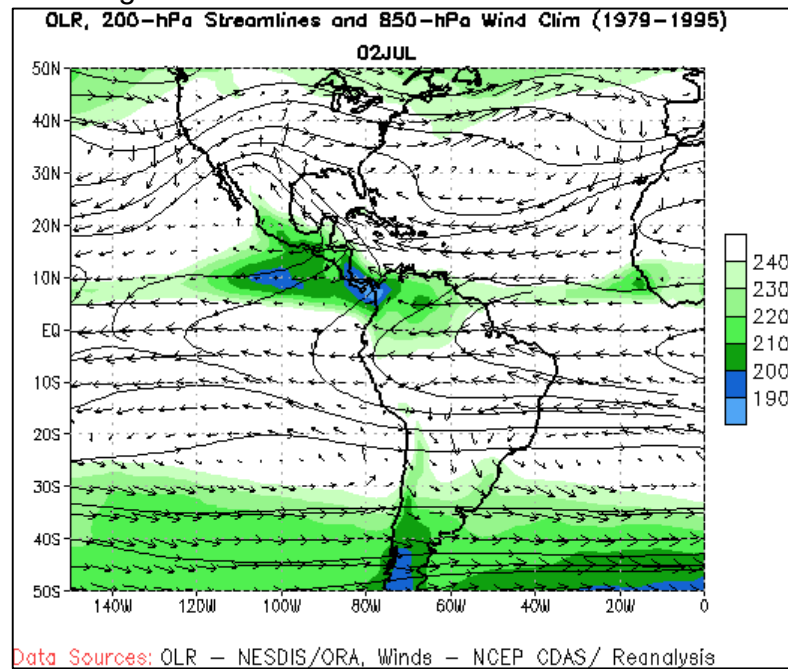
⁸⁴ Cfr. Ibid.

⁸⁵ Atlas de Viento y Energía Eólica de Colombia. Capítulo 1. Velocidad del viento en superficie. p.p. 19.

estrecha zona a lo largo de él, denominada Zona de Confluencia Intertropical (ZCIT), en ella la inversión se debilita y el aire se eleva, el desarrollo vertical de las nubes aumenta y la inestabilidad se extiende a mayores altitudes. Las precipitaciones se hacen más fuertes y más frecuentes.

Las condiciones térmicas de las aguas de las aguas cálidas del océano en la Zona de Convergencia Intertropical, junto con la humedad proporcionada por él y las condiciones fisiográficas que representan los Andes Colombianos, refuerzan los movimientos verticales del aire, condición que propicia el desarrollo de conglomerados nubosos que dan origen a fuertes precipitaciones con un radio de acción promedio de 1000 Km que afecta no solo la parte oceánica de Colombia, sino que también la parte continental correspondiente al litoral Pacífico y sectores de la cordillera Occidental, modificando significativamente el tiempo en la región Andina.⁸⁶

Figura 5. Vientos alisios Suramérica⁸⁷



Fuente: National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA)

La posición geográfica de Colombia en la zona ecuatorial la sitúa bajo la influencia de los alisios del noreste y sureste. Estas corrientes de aire cálido y húmedo, provenientes de latitudes subtropicales de los dos hemisferios, confluyen en la Zona de Convergencia Intertropical, la cual favorece el desarrollo de nubosidad y de lluvias y se mueve siguiendo el desplazamiento del Sol con respecto a la

⁸⁶ Cfr. PABÓN, José., Op., cit., p.p. 55.

⁸⁷ Cfr. National Oceanic and Atmospheric Administration. (NOAA) National Weather Service. Climate Prediction Center. Disponible en: http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/Global_Monsoons/American_Monsoons/American_Monsoons.shtml

Tierra, pasando sobre el territorio Colombiano en dos ocasiones cada año. Su desplazamiento junto con factores físico – geográficos regionales, como la orografía determinan el régimen de lluvias en las regiones de Colombia.⁸⁸

La distribución temporal de las lluvias está en directa relación con la circulación atmosférica planetaria y la distribución barométrica de los centros de altas y bajas presiones; en el área del departamento son espacialmente importantes los movimientos de masas de aire frío en el invierno del hemisferio Sur y, en menor medida, los movimientos ciclónicos del Caribe.⁸⁹

El Departamento de Boyacá, por estar situado en la zona de mayor ensanchamiento de la Cordillera Oriental de Los Andes, tiene en gran parte de su superficie el relieve característico de la región Andina, influenciado por las lluvias, la temperatura del aire y los vientos Alisios del Sureste que provienen de la región de la Amazonía cargados de humedad y que dan origen a las lluvias.

Para el período comprendido entre diciembre y abril se observan vientos que pueden llegar a los 4 m/s en sectores del Golfo de Urabá, cuenca del río Sinú al noroccidente de Antioquia, Medio Magdalena y sur del Catatumbo a la altura de Norte de Santander, sur de la cuenca del río Sogamoso en los límites entre Cundinamarca y Boyacá. En el ciclo temporal comprendido entre mayo y septiembre, vientos cercanos a los 6 m/s se aprecian en el Bajo Magdalena en el centro de los departamentos de Cesar y Bolívar, región del Catatumbo en Norte de Santander, límites entre Boyacá y Cundinamarca, límites entre Meta, Huila y Cundinamarca, así como en la montaña Nariñense.⁹⁰

La compleja topografía del Departamento, en cuanto a sus grandes montañas, valles estrechos y amplias llanuras, genera dentro de este una variedad de climas, que influyen en la presencia de diferentes fenómenos naturales, haciendo que se generen tiempos de intensas precipitaciones, sequías, frío, vientos que de una u otra manera influyen en la variabilidad de la cubierta vegetal, en la producción agrícola, en el hábitat natural de los animales y en la población en general que sufre de las consecuencias de la inclemencia del clima. Es posible encontrar en el Departamento una serie de microclimas, según Eduardo Acevedo, es frecuente hallar dos lugares vecinos, aparentemente de una misma zona geográfica, en donde los factores naturales hacen de ellos dos sitios de distintas características climáticas.

⁸⁸ Cfr. Atlas de Viento y Energía Eólica de Colombia. Op., cit., p.p. 20.

⁸⁹ Cfr. Diagnostico Sectorial. Secretaria de Fomento Agropecuario. Gobernación de Boyacá. Clima. p.p. 7.

⁹⁰ Cfr. Atlas de Viento y Energía Eólica de Colombia. Op., cit., p.p. 20.

5.2 CARACTERÍSTICAS GEOMORFOLOGICAS DEL DEPARTAMENTO DE BOYACÁ

El conocimiento pleno de las distintas características que predominan en la zona en estudio, la Geomorfología de la Cuenca hace una descripción amplia de las características de la zona en estudio desde el punto de vista hidrológico, geológico, edafológica y el tipo de cubierta vegetal el cual influye en los escurrimientos del agua pluvial, a lo que se denomina análisis de precipitación.⁹¹

La geomorfología de Boyacá es de las más accidentadas del país por ser allí donde la cordillera de los Andes presenta su máxima amplitud dentro del territorio nacional, existen desde zonas completamente diferentes en cuanto al aspecto físico superficial como lo son los extensos llanos del Casanare y la Cordillera con sus diversas formaciones orográfica.⁹²

5.2.1 Geología

Geológicamente, el Departamento se ha dividido, en cuatro cuencas sedimentarias que de occidente a oriente se designan así: 1. Valle Medio del Magdalena, 2. Cordillera Oriental, 3. Sierra Nevada de El Cocuy y 4. Piedemonte Llanero. Dentro de ellas y atendiendo las importantes similitudes litológicas, estratigráficas y la tectónica regional, se han establecido 8 subregiones o bloques naturales, los cuales denotan cada uno, una historia geológica muy similar.⁹³

La estratigrafía del Departamento de Boyacá, incluye el estudio y la descripción de: 6 grupos litoestratigráficos, 69 formaciones constituidas por rocas sedimentarias, 4 unidades constituidas por rocas metamórficas de bajo a medio grado de metamorfismo; 1 macizo ígneo y 3 pequeños intrusivos, todo lo cual representa un registro litológico que abarca un lapso de tiempo comprendido desde el Devónico hasta el Holoceno Reciente. Condiciones Geológicas que han beneficiado al territorio Boyacense con una gran variedad de manifestaciones mineralógicas de excelentes calidades y abundantes volúmenes.⁹⁴

Dentro de la geología se encuentran las siguientes eras⁹⁵:

⁹¹ Cfr. Características hidrológicas de las cuencas. Disponible en: <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/737/A5.pdf?sequence=5>

⁹² Cfr. BERNAL, Eufrasio. Geografía Cultural de Boyacá. Aspectos Físico - Bióticos. Relieve. Disponible en: http://www.boyacacultural.com/index.php?option=com_content&view=article&id=20&Itemid=21

⁹³ Cfr. FLECHAS, Guillermo. Secretaria de Minas y Energía de Boyacá. Gobernación de Boyacá. 2008. Disponible en: <http://www.simco.gov.co/LinkClick.aspx?fileticket=8s4qZC8rCMM%3D&tabid=269&language=en-US>

⁹⁴ Cfr. Ibid.

⁹⁵ Cfr. BERNAL, Eufrasio. Geografía Cultural de Boyacá. Aspectos Físico - Bióticos. Geología de Boyacá. Disponible en: http://boyacacultural.com/index.php?option=com_content&view=article&id=185.

Era paleozoica: Es la era más antigua dentro del departamento, la cual se encuentra al norte del municipio de Floresta en la Facies Marina del devónico; en el norte del Cocuy en la faja del devónico de Carbonico Permico y en límites con el departamento de Santander y al oeste de una zona de Permo Carbonico.

Era Mesozoica: Esta se ve en el grupo Girón, representada por rocas sedimentarias en cercanías del municipio de Floresta, Norte del Cocuy y en límites con Santander. Existió una trasgresión marina inicial en el Titoniano hasta el Hauteriviano, con regresión parcial en el Barremiano y Aptiano; después otras trasgresión al final del Cretacico, causado por hundimientos y levantamientos correspondientes.

Las principales mineralizaciones fueron las siguientes: grandes depósitos de calizas cretáceas, carbones de la formación Guaduas, yeso, depósitos de sal, formación esmeraldíferas relacionadas con intrusiones ígneas; yacimientos de cobre y plomo igualmente relacionados con intrusiones ígneas e impregnaciones de asfalto de gran extensión.

Era Cenozoica: El terciario debido a sus características orogénicas difiere del cretáceo. En el departamento se observa el afloramiento de rocas ígneas (Dacitas) en el municipio de Paipa. De acuerdo a la literatura las grandes masas se encuentran debajo del subsuelo. En la zona de la cordillera oriental se formó en el Mioceno y en el Plioceno ocasionando una regresión del mar. Este tiene de gran importancia económica dentro del departamento al tener los principales horizontes productivos tales como petróleo y asfalto, al igual que los mantos oolíticos de Paz de Río, yacimientos de diatomitas de Tunja y aguas termales mineralizadas como las encontradas en el municipio de Paipa.

La estratigrafía del Departamento de Boyacá, incluye el estudio y la descripción de 6 grupos litoestratigráficos, 69 formaciones constituidas por rocas sedimentarias, 4 unidades constituidas por rocas metamórficas de bajo a medio grado de metamorfismo; 1 macizo ígneo y 3 pequeños intrusivos, todo lo cual representa un registro litológico que abarca un lapso de tiempo comprendido desde el Devónico hasta el Holoceno Reciente. Condiciones Geológicas que han beneficiado al territorio Boyacense con una gran variedad de manifestaciones mineralógicas de excelentes calidades y abundantes volúmenes.

Tabla 5. Formaciones Estratigráficas⁹⁶

FORMACIÓN	UNIDAD CONOSTRATTOGRAFICA	EDAD APROX. (MIL AÑOS)	CLASE DE SEDIMENTOS
GUEJAR	Presilúricos		Marinos
FLORESTA	Devónico (Med y Sup: Hamilton	332	Marinos

⁹⁶ Cfr. Ibid.

FORMACIÓN	UNIDAD CONOSTRATTOGRAFICA	EDAD APROX. (MIL AÑOS)	CLASE DE SEDIMENTOS
GACHALÁ	Carbónico: Mississippiano. Pensilvaniano Pérmico: Wolfcampiano, Leonardiano, Guadalupiano, Ochoano.	253	
			Marinos
GIRÓN	Triásico (Sup): Retanojurásico: Liásico.	153	Continetales
CÁQUEZA	Jurásico: Titoniano Cretáceo: Barrasiano, Valangimano, Hauleriviano, Barremiano	128	Marinos
VILLETA	Cretáceo: Barramiano, Aptano, Albiano, Cenomaniano	101	Marinos
GUADALUPE	Cretáceo: Turconiano, Senoniano, Maestrichtano	79	Marinos
GUADUAS	Terciario: Terciario Paloceno	60	Continetales
SOACHA	Terciario: Paloceno	58	Continetales
PICACHO	Terciario: Eoceno	53	Continetales
CONCENTRACION	Terciario: Eoceno, Oligoceno, Mioceno	47	Continetales

Fuente: BERNAL, Eufasio. Geografía Cultural de Boyacá. Geología de Boyacá.

5.2.2 Hidrología e Hidrografía⁹⁷ (Ver Mapa 5)

La hidrología estudia las propiedades, distribución y circulación del agua; específicamente en la superficie de la tierra, suelo y atmósfera, mientras que la hidrografía consiste en la descripción y el estudio sistemático de los cuerpos de agua planetarios, especialmente de los recursos hídricos. Dentro de los parámetros más relevantes de la hidrología Boyacense, se encuentra lo siguiente:

➤ Hidrología

Dentro de la jurisdicción de Boyacá surca un sinnúmero de quebradas y ríos que nacen en la cordillera oriental, caracterizados por el potencial eléctrico nacional, como lo es la represa de Chivor. Estos son afluentes directos o de alguno de los tributarios de los ríos Magdalena, Meta y Arauca, por lo que los más destacados son los siguientes:

Principales ríos que confluyen al Magdalena: Ermitaño, Negro, Minero, Suárez, Sutamanchán, Sáchica, Chíquiza, Iguaque, Arcabuco o Pómea, Ubazá, Riachuelo, Moniquirá, Chicamocha, Chorrera, Tuta, Pesca, Tota, Saguera, Sasa, Cambas, Loblanco, Rechiminiga, Chitano, Susacón.

⁹⁷ Cfr. BERNAL, Eufasio. Geografía Cultural de Boyacá. Aspectos Físico - Bióticos. Hidrología. Disponible en: http://boyacacultural.com/index.php?option=com_content&view=article&id=22&Itemid=23

Principales afluentes del río Meta: Río Garagoa, Funjita, Fuche Mueche, Lengupá, Guavio, Upía, Cusiana, Siamá, Cravo Sur, Negro, Pisba, Focaria, Niuchía, Encomendero y Pauto.

Principales afluentes río Arauca o alguno de sus tributarios: Río Garrapato, Culebras, Orozco, Chuscal, La Unión, Rifles, Cubugón, Derrumbado, Támara, Cobaría, Royatá y Bojabá.

➤ **Cuerpos de Agua**

El departamento de Boyacá cuenta con numerosas lagunas entre ellas se destacan La laguna de Tota, Sochagota, Fúquene, el embalse de Chivor, las enmarcadas en las cimas de la sierra nevada del Cocuy como son Ocubi Grande, Chucas, Batanera y Laguna Grande de la Sierra, El Carrizal, El Monte y Empedrada localizadas en los alrededores de Arcabuco, las Coloradas en Gachantivá, la de Socha en Socha, Patos en Socotá, Eucas laguna sagrada de los indígenas Laches, la de Rechíniga, Los Chorros, la Pintada y Laguna Blanca en Chita, la Garza y la Leche en El Cocuy, La Plaza y San Paulino en Güicán, La Tocaría, La Esmeralda y El Guadual en Pisba y la de Siscunsi en el páramo del mismo nombre al sureste de Sogamoso.

✓ El Lago de Tota

Uno de los principales lagos de Colombia al presentar la mayor extensión en el país, y es el tercero de Suramérica; es uno de los recursos hidrográficos más importante del Departamento al ser un acueducto regional. Se localiza en la provincia de Sugamuxi entre los municipios de Aquitania, Tota y Cuítiva, a una altura de 3015 metros sobre el nivel del mar; tiene 13 kilómetros de largo, 8 de ancho y una profundidad máxima de 67.40 metros; lo alimentan el río Tobal, el río Hato Laguna, las quebradas Donziquira, Ajies, Arrayanes, El Mohán, Los Pozos, Agua Blanca y cerca de 290 afluentes; allí nace el río Upía.

✓ Lago Sochagota

Se ubica en la ciudad de Paipa, es alimentado por el río Salitre tributario del río Chicamocha y mantiene su nivel de agua constante.

✓ Laguna de Iguaque

Se encuentra en inmediaciones de las poblaciones de San Pedro de Iguaque, Chíquiza y Villa de Leiva a 55 kilómetros de Tunja, forma parte del santuario de fauna y flora de Iguaque con alturas entre 2.400 y 3.600 metros sobre el nivel del mar.

✓ Laguna de Fúquene

La laguna de Fúquene marca límites entre Boyacá y Cundinamarca, fue santuario de adoración del pueblo Chibcha; hoy se está desecando por la imprudencia de

los agricultores y cultivadores de cebolla, que cada día le quitan espacio como sucede con el Lago de Tota; en esta laguna nace el río Suárez de gran importancia para el Departamento.

➤ **Hidrografía**

Los ríos que bañan a Boyacá pertenecen a la vertiente del Caribe y a la vertiente Oriental de Colombia; a estas vertientes es conducido todo el drenaje por medio del río Magdalena, al cual llega un sinnúmero de afluentes y subafluentes.

Los ríos que corren por el territorio boyacense conforman cinco cuencas hidrográficas que llevan sus aguas a cinco ríos importantes como son: el Magdalena, el Suárez, el Chicamocha, el Arauca, el Meta y además por las sub-cuencas de los ríos Guavio, Cravo Sur, Lengupá, Upía, Cusiana y Pauto, localizadas como se aprecia en el Mapa 4.

✓ Cuenca del Río Magdalena

Ubicada al occidente del Departamento. El río Magdalena recorre tierras de Boyacá en una longitud de 72 kilómetros y a él llegan las aguas de los ríos Ermitaño, Minero (que delante de Muzo toma el nombre de Carare), el Negro y otros que antes de desembocar en el río Magdalena rinden sus aguas al río Suárez.

✓ Cuenca del Río Suárez

El río Suárez fue llamado Saravita en tiempo anterior a la llegada de los españoles a territorio boyacense; nace en la laguna de Fúquene en límites de Boyacá y Cundinamarca; recorre la región occidental, atraviesa el municipio de San Miguel de Sema, el valle de Chiquinquirá en donde recibe el río del mismo nombre, el municipio de Saboyá, una vasta zona de la Provincia de Ricaurte como Moniquirá, San José de Pare, Santa Ana y entra al Departamento de Santander. Entre sus afluentes se pueden nombrar el Chiquinquirá, el Moniquirá, el Pómeca y el Lenguaruco.

✓ Cuenca del Río Chicamocha

El río Chicamocha nace al sur de Tunja, toma los nombres de Chulo, Jordán, Grande, Sogamoso a medida que avanza en su recorrido; atraviesa el altiplano de Tunja, Tuta, Paipa, Duitama y entra a Sogamoso. Al pasar por Paz de Río, el valle se estrecha e inicia el cañón del Chicamocha, sirve de límites con Santander.

Entre sus afluentes principales figuran el Sotaquirá, el Tuta, el Pesca, el Chiquito, el Buzbanzá y el Monguít, entre otros. Durante su recorrido el río Chicamocha recibe las aguas de tipo doméstico (contaminadas) de los municipios de Tunja,

Oicatá, Tuta, Paipa, Duitama, Sogamoso, Santa Rosa de Viterbo, Tibasosa, Firavitoba, Iza, Cúitiva, Tota, Pesca, Nobsa, Monguí, Mongua, Gámeza, Floresta, Busbanzá, Corrales, Tasco, Betétiva, Cerinza, Paz de Río, Socha, Socotá y Boavita.

El río Chicamocha recorre la zona industrial de Boyacá y recibe la contaminación que producen Acerías Paz del Río, Termo Paipa, sobrantes de las aguas termales de las piscinas de Paipa, del complejo industrial de Maguncia, Metalúrgica Boyacá, Zona industrial de Sogamoso y curtiembres.

✓ Cuenca del Río Arauca

Recoge las aguas de los ríos que irrigan la zona Nororiental del Departamento como el Orozco, el Cobaría que atraviesa la reserva de los indios Tunebos o U'was, el Cobugón y el Bojabá.

✓ Cuenca del Río Meta

El río Meta no pasa por Boyacá pero recibe las aguas de la sub- cuencas de los ríos Guavio, Cravo Sur, Lengupá, Upía y el Cusiana con todos sus afluentes. Las cuencas de los ríos Arauca y Meta hacen parte de la gran cuenca del Orinoco.

5.2.3 Cobertura vegetal y Uso del suelo de la región Boyacense

El clima es el principal determinante del tipo o clase de vegetación que crece bajo condiciones naturales de cultivo, así como también el principal influyente, con su origen geológico o mineral en la formación de los suelos. Una simple alteración de la cubierta del suelo afecta la capacidad de reflexión de los rayos lumínicos por la superficie terrestre con el consecuente enfriamiento de la tierra, y el escurrimiento del agua cambia la proporción del transporte del calor latente modificando los vientos superficiales. Estas variaciones, causan cambios en la humedad del suelo, la temperatura y la velocidad de erosión; por tanto las diferencias entre los microclimas de los bosques tropicales y de las áreas desmontadas son inmensas, tanto que cuando se arrasan los bosques, la variación de la temperatura diaria es mayor esas áreas se encuentran menos protegidas de las lluvias torrenciales, dando como resultado la destrucción de la tierra para fines agrícolas.⁹⁸

La clasificación de tierras en clases agrológicas agrupa los suelos con características similares en ocho clases, en donde la clase agrológica I presenta las condiciones ideales para la producción agrícola, a medida que aumenta el nivel de la clase agrológica las restricciones para la producción aumentan hasta llegar a

⁹⁸ Cfr. PRIETO. Carlos. El Agua, sus formas, efectos, abastecimientos, usos, daños, control y conservación. 2ª Edición. EcoEdiciones. Bogotá. 2004. p.p. 35.

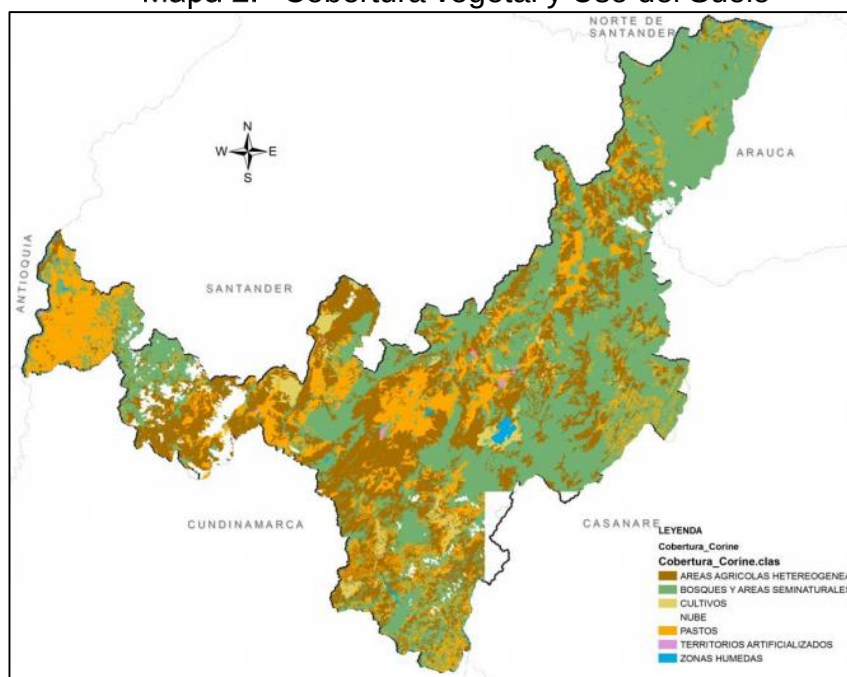
la clase VIII que es apta únicamente para preservación de la vida silvestre y los recursos naturales. En Boyacá no se presentan las clases I y II, lo que indica que en el Departamento la producción agrícola y ganadera debe realizarse con distintas prácticas de conservación de suelos, para no agotar el recurso y evitar su degradación que ocasiona disminución de su fertilidad, aceleración de procesos erosivos, cárcavas, entre otros efectos.⁹⁹

Tabla 6. Uso de suelo de la región Boyacense¹⁰⁰

Uso del Suelo	Boyacá	Total 22 Departamentos	Participación (%)
	Área (Ha)	Área (Ha)	
Total	1.796.245	37.654.254	4,8
Agrícola	107.095	2.963.731	3,6
Pecuaria	1.200.568	30.000.649	4,0
Bosques	440.094	3.594.003	12,2
Otros Usos	47.090	1.001.152	4,7
Área Perdida	1.397	94.720	1,5

Fuente: DANE – ENA 2012.

Mapa 2. Cobertura vegetal y Uso del Suelo



Fuente: Diagnostico Sectorial. Secretaria de Fomento Agropecuario. Gobernación de Boyacá. p.p. 94.

⁹⁹ Cfr. Diagnostico Sectorial. Secretaria de Fomento Agropecuario. Gobernación de Boyacá. p.p. 10.

¹⁰⁰ Cfr. DANE – ENA. 2012. Disponible en: http://www.dane.gov.co/files/investigaciones/agropecuario/ena/Presentacion_Boyaca_2012.pdf

5.2.4 Morfología

El territorio boyacense está compuesto por dos grandes partes, una montañosa y otra plana, dando origen a cuatro regiones y diez subregiones que hacen de Boyacá uno de los departamentos con más ventajas para el desarrollo industrial, comercial, cultural y artesanal.

La región montañosa tiene la presencia de la Cordillera Oriental de Los Andes que atraviesa el Departamento de sur a norte. En ella se puede distinguir: la zona Cordillerana, los altiplanos de Tunja y Chiquinquirá, el Piedemonte llanero y las planicies del Valle del Magdalena.

Debido a que en su mayoría el terreno del departamento de Boyacá es muy accidentado, se presentan dificultades para las comunicaciones, especialmente en la construcción de vías, afectando el desarrollo de la región y dificultando la integración de centros productores y consumidores, a lo anterior se suma la diversidad de climas y temperaturas que provocan cambios bruscos en sitios a muy corta distancia entre sí y la ubicación de centros poblados tan bajos como Orocué y Puerto Boyacá y de altitud tan considerable como la de Jericó.¹⁰¹

Se realizó el análisis de las cuencas presentes en el Departamento de Boyacá, para las que se identificaron los parámetros de relieve, forma y drenaje. Ver Anexo A.

✓ **Parámetros de Relieve**

La cuenca con mayor altura media que se encontró, corresponde a la cuenca del Chicamocha con 2966 m.s.n.m, mientras que la cuenca del Magdalena está a 814 m.s.n.m.

En lo que concierne a la pendiente, las cuencas Magdalena, Suarez, Upia y Chicamocha presentan una característica de terreno fuertemente accidentado, mientras que la condición del terreno de Lengupa, Pauto, Cravasur y Cusiana se considera muy fuertemente accidentado por tener pendientes que varían del 35% al 50%, en la cuenca Arauca por el contrario la pendiente pasa del 50% lo que caracteriza este terreno como escarpado. Con base en lo anterior se concluye que el terreno característico en la región boyacense es Fuertemente Accidentado. Ver Mapa 6.

✓ **Parámetros de Forma**

¹⁰¹ Cfr. BERNAL, Eufasio. Geografía Cultural de Boyacá. Aspectos Físico - Bióticos. Consecuencias del relieve. Disponible en: http://www.boyacacultural.com/index.php?option=com_content&view=article&id=20&Itemid=21

Las cuencas del departamento en su mayoría presentan un relieve pronunciado, ligera a moderadamente achatadas, con un índice de compacidad que las caracteriza como oval oblongas a rectangular oblongas y un índice de alargamiento que las define como muy alargadas, por lo que son propensas a presentar crecientes con mayores picos (caudales).

✓ **Drenaje**

La red de drenaje de una cuenca es el sistema interconectado de cauces, a través del cual, el agua captada en las partes altas se recolecta y es conducida a las partes bajas. En el caso de las cuencas presentes en el departamento de Boyacá, el orden que predomina es 7, lo que indica que presentan una red amplia con estructura bien definida, lo anterior se puede observar en el Mapa 7.

5.3 DESCRIPCIÓN DE LA RED METEOROLOGICA

Para cumplir con las demandas de información de la sociedad en relación con el estado de la atmosfera, el tiempo y el clima, se cuenta con un sistema de observación, medición y vigilancia Meteorológica, el cual se ocupa de la generación y el acopio permanente de la información meteorológica y de la dinámica y estado del medio natural; mediante la operación de la red de medición y observación meteorológica, es como el IDEAM puede orientar a la comunidad nacional sobre la mejor utilización de las bondades del recurso clima y de las condiciones favorables de los procesos atmosféricos para contribuir al bienestar de la población.¹⁰²

5.3.1 Red de medición hidrometeorológica del departamento de Boyacá

Las observaciones de datos de la Tierra son componentes esenciales de los sistemas de alerta temprana de crecidas repentinas. Las redes de monitoreo hidrometeorológico con múltiples sensores, compuestas de pluviómetros, radares y sensores satelitales recolectan información sobre cantidad de lluvia, temperatura y otros datos utilizados por los modelos de predicción para producir guías de crecidas repentinas e información sobre amenazas.¹⁰³ Su principal objetivo, consiste en registrar las mediciones de las diferentes variables, para conocer el comportamiento de ellas, sus distribuciones y variaciones a lo largo del tiempo, y

¹⁰² Cfr. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). Atlas Climatológico de Colombia. Parte I Aspectos Nacionales. p.p. 4.

¹⁰³ Cfr. Guía de referencia para sistemas de alerta temprana de crecidas repentinas. Capítulo 3: Redes de monitoreo hidrometeorológico. p.p. 3-1. (en línea) Disponible en: http://www.meted.ucar.edu/communities/hazwarnsys/ffewsrsg_es/FF_EWS.Cap.3.pdf

que sus registros puedan ser herramienta de estudio para la caracterización del clima en determinada región.

Es de gran importancia, que de las estaciones de la red meteorológica, se obtenga información debidamente ordenada, estandarizada y controlada, con el fin de proporcionar resultados que permitan confiar de manera segura en los diferentes análisis, de tal manera que sea posible adelantar estudios e investigaciones con fines meteorológicos, climatológicos, ambientales y de prevención de desastres.

El uso de las redes con escasa información resulta en pobres estimaciones de la precipitación, los efectos sobre los resultados varían de una región a otra, algunas de estas variaciones dependen del clima y las propiedades físicas de la cuenca. En el Mapa 8 Se observan las estaciones hidrometeorológicas del Departamento de Boyacá (Climatológica Principal, Agrometeorológica, Pluviográfica, Meteorológica Especial, Climatológica Ordinaria, Pluviométrica, Limnigráfica y Limnimétrica).

Con frecuencia las estaciones meteorológicas no tienen una cobertura espacial adecuada, no se dispone de registros de todos los elementos climáticos necesarios y se presentan problemas con su longitud y calidad.¹⁰⁴ Según la Organización Meteorológica Mundial (OMM), para el reporte de datos mensuales de variables meteorológicas de superficie, en regiones montañosas de 100 a 250Km² deben estar representados por al menos una estación meteorológica. Sin embargo, la densidad idónea de la red de estaciones dependerá del tipo de terreno y de la cobertura superficial del área de estudio. Lo ideal es que cada tipo de cobertura (bosques, zonas urbanas, zonas agrícolas, etc.) esté representada por un número adecuado de estaciones (OMM, 2007). Para que una estación pueda ser incluida en el análisis, debe tener por lo menos 10 años de datos con un máximo de 20% de datos faltantes.

De un total de 450 estaciones presentes en el Departamento de Boyacá, 265 se encuentran activas, lo que corresponde a un 58% del total, de las cuales para la presente investigación se seleccionaron 118 estaciones debido a la densidad de la información contenida en ellas, lo que equivale al 44% de las activas.

De acuerdo con lo recomendado por la Organización Meteorológica Mundial (OMM) en el párrafo anterior y con base en las estaciones seleccionadas para esta investigación, se verificó la cantidad de estaciones presentes por provincia y se realizó el estimado de las que debiera tener según su extensión.

¹⁰⁴ MACHADO, Diego. PUCHE, Mariela. VILORIA, Jesús.

En la Tabla 7, se observa las provincias en las que es necesario incluir estaciones de medición de precipitación, además de ser unas de las más alejadas del centro del departamento, en lo que concierne a la Zona de manejo especial, Libertad, Occidente y Lengupa, se caracterizan por presentar un régimen de precipitación alto, por lo que sería indispensable incluir nuevas estaciones en estas zonas del departamento.

Tabla 7. Número de estaciones por provincia.

PROVINCIA	ÁREA (Km2)	Estaciones Actuales	Estaciones Recomendadas (OMM)
CENTRO	1764,27	18	10
GUTIERREZ	2002,02	5	11
LENGUPÁ	1320,50	6	8
LIBERTAD	1179,30	2	7
MÁRQUEZ	944,35	7	5
NEIRA	1391,28	13	8
NORTE	1115,40	6	6
OCCIDENTE	2389,16	7	14
ORIENTE	513,22	9	3
RICAURTE	1511,70	9	9
SUGAMUXI	2456,55	17	14
TUNDAMA	1229,85	10	7
VALDERRAMA	1968,56	6	11
ZONA DE MANEJO ESPECIAL	1506,71	3	9

Fuente: el autor, abril 2014.

5.3.2 Periodo de Análisis de la precipitación

De acuerdo a la densidad de la información contenida en cada una de las estaciones, se seleccionó el periodo de análisis que va desde 1980 a 2012, según la Organización Meteorológica Mundial (OMM) para que una estación pueda ser incluida en el análisis de determinada variable, debe tener por lo menos 10 años de datos con un máximo de 20% de datos faltantes, razón por la cual se eligieron 118 estaciones, que contienen registros significativos para el análisis de la información, lo anterior se puede observar en el Cronograma de Precipitación de cada estación (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** Gráficas Análisis Estadístico), en el cual se aprecia la distribución de los datos empleados para el análisis. Sin embargo al realizar una revisión de los datos faltantes, se encontró que 16 estaciones contenían más del 20% de datos ausentes, razón por la cual estas estaciones no se tuvieron en cuenta en el completado de datos ni en

la correlación SOI y SST con la precipitación, fueron tomadas solo como estaciones de apoyo.

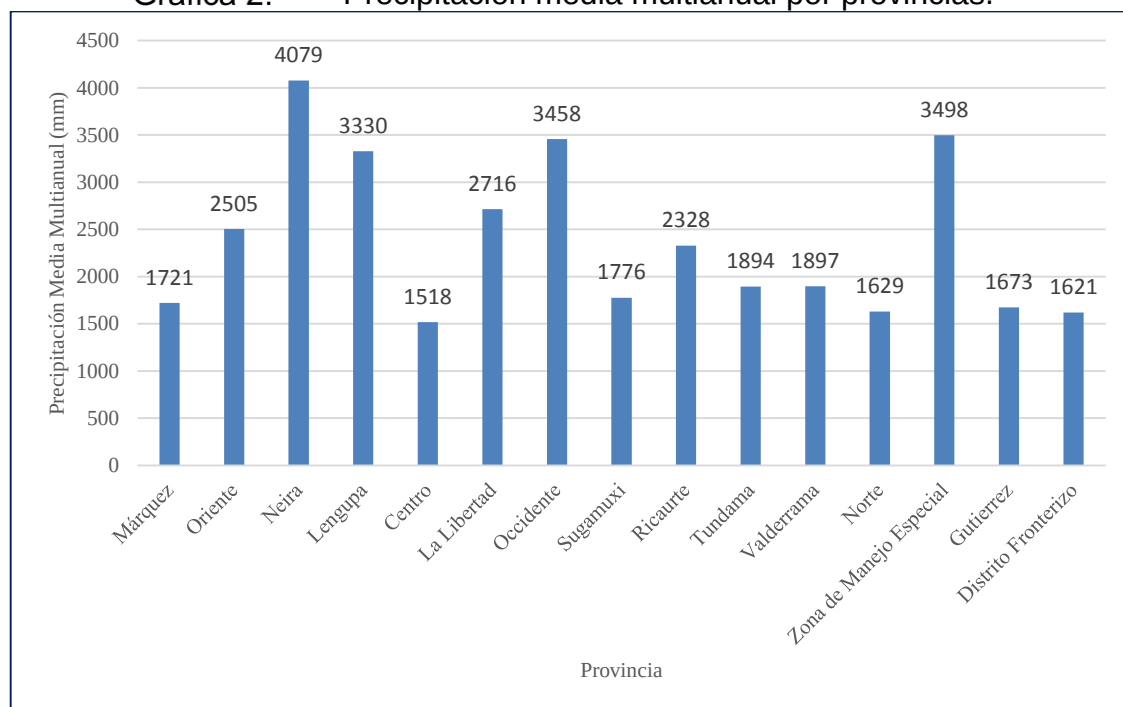
5.4 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Para cada una de las estaciones se realizó el cálculo de los parámetros estadísticos, como lo es la media, desviación estándar, varianza, máximos, mínimos, cuartiles, coeficiente de asimetría, entre otros, los cuales se pueden ver en el **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** Base de datos.

De manera general, el coeficiente de asimetría de todas las estaciones analizadas es mayor que cero (0), lo que indica una distribución asimétrica positiva, en donde la mayor parte de los valores se encuentra a la izquierda de la media registrada por cada estación.

El valor medio de la precipitación varía de los 13,8 mm presentes en la estación Col Dptal Agrario, hasta un valor de 393,5 mm obtenido en la estación Santa María; los valores tienden a alejarse entre 4,39 mm y 151,84 mm con respecto a la media, cuya desviación estándar es de 9,36 mm y 241,71 mm respectivamente.

Gráfica 2. Precipitación media multianual por provincias.



Fuente: autor, mayo 2014.

En la Gráfica 2 se observa el comportamiento de la precipitación media multianual por provincias, donde la provincia de Neira registra la mayor precipitación media

multianual con un total de 4079 mm con respecto a la provincia Centro que registra el menor valor con un total de 1518 mm de precipitación.

5.4.1 Descripción del comportamiento temporal de la precipitación.

A partir del análisis estadístico realizado con la información contenida en cada una de las estaciones para un periodo de 33 años, comprendido entre 1980 y 2012, se describe el comportamiento del régimen de precipitación en la región boyacense.

a) Análisis estacional de la precipitación

Con base en los hietogramas de precipitación (Ver **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** Gráficas Análisis Estadístico), realizados para cada una de las estaciones, se elaboró el análisis del comportamiento de la precipitación, identificando por provincia los meses secos y meses húmedos que se presentan.

i. Provincia Centro

En la provincia del centro, el régimen de precipitación que prima es el régimen bimodal, con predominio de periodos húmedos en los meses de marzo a mayo y de septiembre a noviembre y periodos secos en diciembre a febrero y junio a agosto, en los municipios de Tuta, Chivatá, Chiquiza, Combita, Toca y Tunja. En los municipios de Siachoque, Sotaquira los valores más altos se presentan en los meses de abril a mayo y octubre a noviembre, con un pequeño descenso de precipitación en los meses de junio a septiembre y de diciembre a marzo. Los municipios de Motavita, Toca, Oicata y Soracá difieren de los anteriores en que el periodo húmedo va de abril a junio y de octubre a noviembre, con tiempos secos de diciembre a marzo y de agosto a septiembre. Por último, los municipios de Ventaquemada y Samacá evidencian un régimen de precipitación unimodal, el primero con temporada de lluvias en los meses de mayo a julio, siendo enero y diciembre los meses más secos y el segundo con tiempos de lluvia de abril a agosto, con un descenso de la precipitación en los meses de septiembre a marzo.

ii. Provincia De Gutiérrez

En la provincia de Gutiérrez, según los histogramas de precipitación, se evidencia un régimen bimodal, con predominio de lluvias en los meses de abril a mayo y septiembre a noviembre, con descenso de la precipitación en los meses de diciembre a marzo y de junio a agosto en los municipios de Chiscas y Güican, mientras que en la estación Cocuy Él se presentan tiempos de lluvia en los meses de abril a mayo y septiembre a noviembre, disminuyendo su intensidad de junio a agosto y de diciembre a marzo. La estación Sierra Nevada Cocuy difiere de lo anterior en que el periodo húmedo va de abril a junio y de septiembre a noviembre

y el periodo seco se registra en los meses de diciembre a marzo y de junio a agosto.

iii. Provincia De Lengupá

El sector comprendido por la provincia de Lengupa, se caracteriza por presentar un régimen de precipitación de tipo unimodal; donde los meses húmedos en su mayoría van de mayo a agosto y los meses secos de septiembre a abril para los municipios de Berbeo, Campohermoso y Miraflores. El municipio de Zetaquirá difiere de los anteriores en que los valores máximos se observan en los meses de junio y julio y los mínimos se encuentran en los meses de diciembre y enero.

iv. Provincia De La Libertad

Su régimen de precipitación es unimodal, con tiempos de lluvia para la estación Pajarito comprendidos entre mayo y septiembre siendo los meses de menor precipitación de octubre a abril. La estación Corinto difiere de la anterior en que los meses húmedos van de mayo a octubre y los secos de noviembre a abril.

v. Provincia De Márquez

En la provincia de Márquez se evidencia un régimen de precipitación unimodal en la mayoría de las estaciones, en el municipio de Nuevo Colón, Tibana y Umbita se observan periodos húmedos en los meses de abril a agosto con descenso de la precipitación de septiembre a marzo. El municipio de Ramiriquí mantiene lluvia constante en los meses de abril a octubre, con disminución de la precipitación en los meses de diciembre y enero, mientras que en el municipio de Rondón la temporada de lluvias se observa en los meses de mayo a agosto, con baja precipitación en los meses de septiembre a abril, diferente del municipio de Turmequé el presenta temporada de lluvias en los meses de abril a octubre, con los menores registros en los meses de diciembre y enero.

vi. Provincia De Neira

La provincia de Neira evidencia un régimen de precipitación unimodal, con temporada de lluvias dentro de la jurisdicción de los municipios de Macanal, Santa María, Garagoa y Chinavita, en los meses de mayo a agosto, y bajas precipitaciones en los meses de septiembre a abril. El municipio de Chinavita difiere de los anteriores en que el periodo húmedo se evidencia de marzo a agosto y la temporada seca va de septiembre a febrero, por el contrario en el municipio de Garagoa junto con la estación Quebrada Honda se registran los máximos valores de abril a septiembre, con baja precipitación de octubre a marzo, diferente del municipio de Pachavita, San Luis de Gaceno y Santa María en los cuales los

valores más altos se presentan en los meses de abril a agosto, con un descenso de precipitación en los meses de septiembre a marzo.

vii. Provincia Del Norte

En la provincia norte prevalece el comportamiento bimodal, con periodo de lluvias predominante de marzo a mayo y de septiembre a noviembre en los municipios de Boavita, Covarachia, La Uvita, Sativanorte y Susacon, mientras que en el municipio de Sativanorte la diferencia es que los periodos húmedos se presentan marzo a mayo y octubre a noviembre, con escasas de precipitación en los meses de diciembre a febrero y de junio a septiembre.

viii. Provincia De Occidente

La provincia de Occidente presenta un régimen de precipitación de tipo bimodal, con tiempos de lluvia predominantes de marzo a mayo y septiembre a noviembre y estiaje en los meses de diciembre a febrero y de junio a septiembre en los municipios de Quipama, Muzo y Otanche. Los municipios de Buenavista y Coper presentan los mayores registros de marzo a mayo y de octubre a noviembre con disminución de la precipitación en los meses de diciembre a febrero y de junio a septiembre, mientras que en Pauna la temporada de lluvias se presenta en los meses de marzo a mayo y de septiembre a diciembre, con baja precipitación en los meses de enero a febrero y de junio a agosto.

ix. Provincia De Oriente

La provincia de Oriente, según los histogramas de las estaciones de la región, evidencia un régimen de precipitación unimodal, con temporada de lluvias en los meses de abril a septiembre y bajos niveles de precipitación en los meses de octubre a marzo para los municipios de Almeida y Guayatá, mientras que los municipios de Sutatenza y Tenza registran mayor intensidad en los meses de mayo a agosto y la temporada de menor precipitación va de septiembre a abril, diferente del municipio de Somondoco en el cual la temporada de lluvias se presenta en los meses de abril a agosto, con baja precipitación en los meses de septiembre a marzo.

x. Provincia De Ricaurte

La provincia de Ricaurte, se caracteriza por tener un régimen de precipitación bimodal, registrando los periodos de lluvias en los meses de marzo a mayo y octubre a noviembre, y estiaje en los meses de diciembre a febrero y de junio a septiembre, en los municipios de Arcabuco, Villa de Leyva, Gachantiva y Santa Sofía, por el contrario en el municipio de Santana y Moniquira la temporada de

lluvias se presenta en los meses de abril a mayo y de septiembre a octubre, con baja precipitación en los meses de noviembre a marzo y de junio a agosto, a diferencia de los anteriores en el municipio de Ráquira los periodos húmedos se registran en los meses de marzo a mayo y de octubre a noviembre, con un descenso de la precipitación en los meses de junio a septiembre y de diciembre a febrero.

xi. Provincia De Sugamuxi

El régimen de precipitación de la provincia de Sugamuxi, se divide en unimodal y bimodal, en los municipios de Sogamoso, Mongua, Gameza y Almeida el régimen de precipitación unimodal con periodos de lluvia más altos en los meses de abril a agosto y con temporada de baja precipitación en los meses de septiembre a marzo, el mismo régimen de precipitación se presenta en el municipio de Aquitania con tiempos de lluvia de mayo a septiembre y con un descenso de la precipitación en los meses de octubre a abril. Por el contrario los municipios con régimen de precipitación bimodal son Iza, Monguí, Pesca, Tibasosa y Cuitiva, con los valores más altos presentes en los meses de abril a mayo y de octubre a noviembre, con descenso de precipitación en los meses de diciembre a marzo y de junio a agosto, los municipios de Sogamoso y Nobsa presentan el mismo régimen de precipitación pero con tiempos de lluvia de marzo a mayo y septiembre a noviembre y descenso de la precipitación en los meses de diciembre a febrero y de junio a agosto, mientras que el municipio de Firavitoba presenta los periodos húmedos en los meses de marzo a mayo y de septiembre a octubre, con temporada de baja precipitación en los meses de diciembre a febrero y de junio a agosto.

xii. Provincia Tundama

La provincia de Tundama evidencia un régimen de precipitación bimodal en la totalidad de su territorio, con temporada de lluvias en los meses de marzo a mayo y de septiembre a noviembre y estiaje en los meses de diciembre a febrero y de junio a agosto para los municipios de Paipa, Duitama, Santa Rosa de Viterbo y Tutazá. Las estaciones Palermo, Antena TV Rusia La y Sierra La, registran los valores más altos presentes en los meses de marzo a mayo y octubre a noviembre, con escasas de precipitación en los meses de diciembre a febrero y de junio a agosto. Por su parte en la estación Tinguavita se evidencian los valores más altos presentes en los meses de abril a mayo y octubre a noviembre, con descenso de precipitación en los meses de junio a septiembre y de diciembre a marzo.

xiii. Provincia De Valderrama

La provincia de Valderrama presenta en su mayoría un régimen de precipitación bimodal, con predominio de lluvia de marzo a mayo y octubre a noviembre con

estiaje en los meses de diciembre a febrero y de junio a septiembre para el municipio de Buenavista. En el municipio de Socha los máximos valores se presentan en los meses de abril a mayo y de octubre a noviembre, siendo enero y diciembre los meses con menor precipitación, mientras que en el municipio de Jerico la temporada de lluvias se registra en los meses de abril a mayo y de septiembre a noviembre, con baja precipitación en los meses de diciembre a marzo y de junio a agosto, por el contrario en el municipio de Tasco es más notoria la intensidad de la precipitación en los meses de marzo a mayo y de septiembre a noviembre, con baja precipitación en los meses de diciembre a febrero y de junio a agosto. Los municipios de Socotá y Chita evidencian un régimen de precipitación unimodal, para el primer municipio la temporada de lluvias se observa en los meses de mayo a septiembre, y un descenso de la precipitación en los meses de octubre a abril, mientras que para el segundo los tiempos de lluvia se presentan de abril a octubre, con descenso de la precipitación en los meses de noviembre a marzo.

xiv. Zona De Manejo Especial

La zona de manejo especial del departamento de Boyacá, se caracteriza por presentar una tendencia de precipitación bimodal, con los valores más altos presentes en los meses de marzo a mayo y de septiembre a noviembre, con un descenso de la precipitación en los meses de diciembre a febrero y de junio a agosto.

b) Precipitación Máxima Mensual

Mediante la observación de cada uno de los hietogramas de precipitación máxima, realizados para cada una de las estaciones, fue posible describir en que meses se presentan los máximos valores de precipitación y el rango de su variación, lo anterior sintetizado de acuerdo con las provincias del departamento.

i. Provincia Centro

En la provincia del Centro, los máximos valores de precipitación se presentan en los meses de abril, mayo, octubre y noviembre. En cuyos meses la precipitación varía entre los 18,76 mm a 29,19 mm.

ii. Provincia De Gutiérrez

Los máximos valores registrados por las estaciones de la provincia del centro se encuentran en los meses de abril, mayo, octubre y noviembre, en donde la precipitación oscila entre 19,10 mm y 30,12 mm.

iii. Provincia De Lengupá

Según los hietogramas realizados para la precipitación máxima, en la provincia de Lengupá los meses de mayor intensidad van de mayo a junio y en algunas estaciones los meses de agosto y octubre, en las estaciones Campohermoso, Cedros Los y Vista Hermosa ubicada en el municipio de Campohermoso la precipitación tiene una variación entre los 62,94 mm a 86,82mm, mientras que en el municipio de Berbeo, Miraflores y Zetaquirá oscila entre los 36,21 mm a 46.61 mm de precipitación.

iv. Provincia De La Libertad

En la provincia de Libertad, la estación Pajarito registra los máximos valores en los meses de junio a agosto con una variación de 83,20 mm a 89,06 mm de precipitación, mientras que en la estación Corinto ubicada en el municipio de Pajarito, los meses de mayo, junio, septiembre y octubre los cuales se encuentran en el rango de 53,22 mm a 64,36 mm.

v. Provincia De Márquez

Los máximos valores registrados por las estaciones de la provincia de Márquez se encuentran en los meses de abril, mayo, junio, octubre y noviembre. En el municipio de Rondón la precipitación varía entre 41,30 mm y 45,50 mm, mientras que en los municipios de Nuevo Colon, Ramiriquí, Tibana, Turmequé y Umbita oscila entre los 20,10 mm a 26,14 mm de precipitación.

vi. Provincia De Neira

Según los hietogramas realizados para la precipitación máxima, en la provincia de Neira, los meses que registran mayor intensidad son mayo, abril, junio, agosto y octubre. En los municipios de Chinavita, Garagoa y Pachavita se aprecian variaciones entre los 29,06 mm a 46,36 mm de precipitación, por su parte el municipio de Macanal tiene una variación entre 51,99 mm a 59,65 mm, mientras que en los municipios de Santa María y San Luis de Gaceno se registran los valores más altos, los cuales oscilan entre 72,98 mm a 97,30 mm de precipitación.

vii. Provincia Del Norte

En la provincia de Norte, los meses que presentan los registros de precipitación más altos son abril, mayo, octubre y noviembre. En los municipios de Sativanorte y Susacon la precipitación varía entre 23,32 mm y 32,93 mm, mientras que en los municipios de Boavita, Covarachia y La Uvita esta oscila entre 26,48mm a 46,7 mm.

viii. Provincia De Occidente

Los máximos valores registrados por las estaciones de la provincia de Occidente se encuentran en los meses de abril, mayo, junio, octubre y noviembre. En los municipios de San Pablo de Borbur, Buenavista y Pauna, los valores de la precipitación se encuentran entre 46,23 mm a 59,79 mm, a diferencia de los municipios de Quipama, Coper, Muzo y Otanche quienes registran los máximos niveles, los cuales varían entre 60,6 mm a 77,93 mm de precipitación.

ix. Provincia De Oriente

Según los hietogramas realizados para la precipitación máxima, en la provincia de Oriente, los meses que registran mayor intensidad son mayo, junio, julio y agosto. En los municipios de Almeida, Guayata, Sutatenza y Tenza la precipitación oscila entre 25,52 mm a 38,39 mm, por el contrario en los municipios de Chivor y Somondoco varía entre 45,09 mm a 57,65 mm de precipitación.

x. Provincia De Ricaute

En la provincia de Ricaurte, los meses que presentan los registros de precipitación más altos son abril, mayo, octubre y noviembre. Los municipios de Arcabuco, Villa de Leyva, Gachantiva, Santa Sofía y Ráquira, presentan valores de precipitación desde 23,05 mm hasta 39,99 mm, mientras que los municipios de Santana y Moniquira la precipitación se encuentra en el rango de 42,07mm a 55,42 mm.

xi. Provincia De Sugamuxi

Los máximos valores registrados por las estaciones de la provincia de Sugamuxi se encuentran en los meses de abril, mayo, junio, octubre y noviembre. En los municipios de Nobsa, Firavitoba, Aquitania, Iza, Mongua, Mongui; Gameza, Pesca, Tibasosa y Cuitiva los niveles de precipitación varían entre 19,31mm y 32,29 mm, en cambio en los municipios de Sogamoso y Aquitania la precipitación oscila entre 27,55mm a 49,57 mm.

xii. Provincia Tundama

Según los hietogramas realizados para la precipitación máxima, en la provincia de Tundama, los meses que registran mayor intensidad son abril, mayo y octubre, dentro de los cuales los municipios de Duitama, Tutaza y Paipa registran valores que van desde los 22,48 mm hasta 29,14 mm de precipitación, mientras que los municipios de Santa Rosa de Viterbo y Tutaza los valores van de 25,64mm a 37,48 mm de precipitación.

xiii. Provincia De Valderrama

En la provincia de Valderrama, los meses que presentan los registros de precipitación más altos son abril, mayo, octubre y noviembre. En los municipios de Beteitiva, Chita, Socha y Tasco la precipitación máxima mensual oscila entre 20,53 mm a 28,6 mm, por su parte los municipios de Socota y Jerico presentan un rango de precipitación que va desde 29,21 mm hasta 49,9 mm.

xiv. Zona De Manejo Especial

Los máximos valores registrados por las estaciones ubicadas en la Zona de Manejo Especial, municipio de Puerto Boyacá se encuentran en los meses de abril, mayo y octubre, con un rango de precipitación entre los 66,24 mm a los 75,93 mm.

c) Precipitación Media Multianual

i. Provincia Centro

En la provincia del Centro la precipitación media varía entre 40,31mm a 466,76mm, en donde el rango de precipitación de los municipios de Cucaita, Chivata, Motavita, Oicata Sora y Soracá se encuentra entre 40,31mm a 67,04mm, mientras que en los municipios de Combita, Chiquiza, Samaca, Siachoque, Toca, Tunja y Ventaquemada va de 141,08 mm a 203,45 mm de precipitación, por su parte el municipio de Sotaquirá registra el mayor valor con 466,76 mm de precipitación media multianual.

ii. Provincia De Gutiérrez

La precipitación media que se registra en la provincia de Gutiérrez oscila entre 45,63mm a 1062,19mm, siendo el municipio de Panqueba el que presenta la menor intensidad, en los municipios de Guacamayas y El Espino los valores varían entre 69,38 mm y 84,76 mm de precipitación respectivamente, el municipio de El Cocuy no supera los 310,24 mm de precipitación, mientras que el municipio de Chiscas la intensidad de precipitación media corresponde a 698 mm, siendo el municipio de Güican el que registra el mayor valor con 1062,19 mm de precipitación.

iii. Provincia De La Libertad

En los municipios de Pisba y Pajarito la precipitación media varía entre 541,57 mm y 962,69 mm respectivamente, por su parte el municipio de Paya registra una precipitación media de 1247,78 mm y en el municipio de Labranzagrande se presenta la mayor intensidad equivalente a 1336,83 mm de precipitación.

iv. Provincia De Lengupá

En la provincia de Lengupá los municipios de Berbeo y San Eduardo registran los menores niveles de precipitación con 158,24 mm para el primero y 326,98 para el segundo, en Miraflores y Zetaquirá la precipitación varía entre los 650,60 mm y 744,65 mm, siendo Campohermoso y Miraflores quienes presentan los mayores de valores, los cuales van de 1333,74 mm a 1450,88 mm de precipitación media.

v. Provincia De Márquez

La precipitación media que se registra en la provincia de Márquez oscila entre 112,42 mm a 614,56 mm, en donde los valores en municipios de Boyacá, Ciénega, Jenesano, Nuevo Colón, Turmeque y Viracachá se encuentran entre 112,42 mm a 170,87 mm de precipitación, los municipios de Ramiriquí y Tibana difieren de los anteriores ya que la precipitación va de 309,77 mm a 351,71 mm respectivamente.

vi. Provincia De Neira

En los municipios de Pachavita, Chinavita y Garagoa el nivel de precipitación varía entre 147,23mm a 480,72mm, mientras que en el municipio de Macanal se registran 626,50mm de precipitación, por el contrario los municipios de Santa María y San Luis de Gaceno presentan la mayor intensidad con valores entre 1762 mm y 2824,32 mm respectivamente.

vii. Provincia Del Norte

En la provincia de Norte los municipios de Covarachia, Tipacoque y Sativasur contienen registros de precipitación que oscilan entre 96,92 mm a 265,96 mm, diferente de Soata y San Mateo en donde la precipitación aumenta con respecto a los municipios anteriores y se encuentra entre 233,70mm y 258,10 mm, en los municipios de Boavita, La Uvita y Sativanorte el valor de la precipitación varía entre 339,40mm a 383,88 mm, diferente de lo anterior en el municipio de Susacon se evidencia la mayor intensidad con 463,72 mm de precipitación.

viii. Provincia De Occidente

La precipitación media de la provincia de Occidente presenta valores desde los 73,73 mm a 1202,24 mm, donde la cantidad de lluvia en los municipios de La Victoria, Briceño, Tunungua, San Miguel de Sema y Caldas varía entre 73,73 mm a 129,94 mm, en los municipios de Buenavista y Chiquinquirá este valor fluctúa entre 214,88 mm y 230,64 mm respectivamente, mientras que los municipios de Maripi, Muzo, Saboya, San Pablo de Borbur y Coper presentan una variación entre los 330,98 mm mm a 390,64 mm, por su parte la precipitación media de los

municipios de Quipama y Pauna corresponde a 473,14 mm y 509,67 mm respectivamente, siendo el municipio de Otanche en donde se genera mayor precipitación con un valor de 1202,24 mm.

ix. Provincia De Oriente

En los municipios de Guateque, Sutatenza y Tenza el valor de la precipitación oscila entre 173,81 mm a 249,02 mm, valor que para los municipios de La Capilla, Somondoco y Almeida se encuentra entre 309,91 mm a 398,82 mm de precipitación, mientras que en el municipio de Guayatá se registra una intensidad de 646,67 mm, por último el municipio de Chivor presenta el mayor con 1066,75 mm de precipitación media multianual.

x. Provincia De Ricaute

En la provincia de Ricaurte, el municipio con menor intensidad de precipitación es Sachica, con un valor correspondiente a 80,84 mm, en los municipios de Tinjaca, Santa Sofia, Sutamarchan y Villa de Leyva la precipitación varía entre 146,04 mm a 198,09 mm, mientras que Gachantiva, Santana y San Jose de Pare presentan valores que van desde 205,96 mm a 219,65 mm, en los municipios de Togüi, Arcabuco y Ráquira se evidencia un aumento de la precipitación, la cual oscila entre 304,47 mm a 341,47 mm, por su parte en Chitaraque se alcanzan los 445,82 mm de precipitación, siendo el municipio de Moniquira la zona de mayor intensidad con 642,56 mm de precipitación.

xi. Provincia De Sugamuxi

La precipitación media de la provincia de Sugamuxi se encuentra en el rango de 26,74mm a 1131,01 mm, donde Iza, Topaga, Cuitiva y Nobsa registran los menores valores, que van desde los 26,74 mm a 46,37 mm, en los municipios de Mongui, Tibasosa y Firavitoba el rango va de 63,63 mm a 88,76 mm de precipitación, mientras que en Gameza, Tota y Sogamoso estos oscilan entre 115,97 mm a 186,26 mm, en los municipios de Pesca y Mongua los valores son 227,80 mm y 37840 mm respectivamente, a diferencia de lo anterior el municipio de Aquitania presenta la mayor intensidad con 1131,01 mm de precipitación.

xii. Provincia Tundama

El municipio de Busbanza registra el menor valor de la precipitación media, el cual corresponde a 43,85 mm, los municipios de Corrales, Cerinza y Floresta contienen niveles de precipitación desde los 103,09 mm a 165,48 mm, mientras que en

Santa Rosa de Viterbo, Tutaza y Belén este valor va desde los 237,15 mm a 356,54 mm de precipitación, contrario a los municipios anteriores, Duitama y Paipa registran la mayor intensidad, con 511,13 mm y 926,03 mm respectivamente.

xiii. Provincia De Valderrama

En la provincia de Valderrama la precipitación media oscila entre 115,65 mm a 988,36 mm, de los cuales en los municipios de Beteitiva, Paz de Rio, Jerico y Socha la precipitación media se encuentra en el rango de 115,65 mm a 194,72mm, en el municipio de Tasco este valor aumenta a 244,29mm, mientras que los mayores valores se presentan en los municipios de Socota y Chita con 940,85 mm y 988,36 mm respectivamente.

xiv. Zona De Manejo Especial

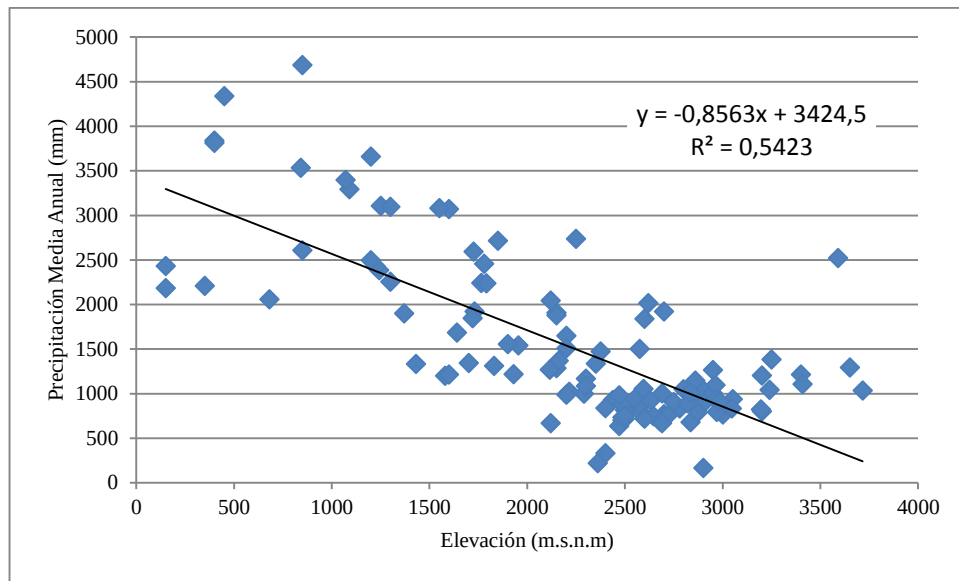
En el municipio de Puerto Boyacá, la precipitación media multianual alcanza los 5337,94 mm de precipitación, siendo la más alta del departamento.

d) Número de días de Precipitación

En términos generales, el máximo número de días con lluvias al año corresponde a 31, con una intensidad promedio de 14,94 mm, cuya desviación estándar promedio es de 6,57 mm, lo que indica que los valores fluctúan en 8,37 mm con respecto a la media, en donde la distribución asimétrica que predomina es negativa, indicando que la mayor parte de los valores se encuentran a la derecha de la media.

5.4.2 Análisis de la influencia de la altura en la precipitación

Gráfica 3. Correlación Elevación vs Precipitación Media Anual



Fuente: autor, mayo 2014.

En la gráfica anterior se observa que no es muy alta la dependencia entre la altura y la precipitación, con un R^2 de 0.54, pero tampoco es despreciable. Sin embargo en relación a esta dependencia, no se puede afirmar que existe una dependencia directa, ya que dentro de la gráfica se observa que en elevaciones entre 0 a 2500 m.s.n.m la precipitación es alta mientras que en el rango de 2500 a 4000 m.s.n.m el grado de variación es menor en comparación a lo anterior.

5.5 DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LA LLUVIA

Se procede a evaluar la precisión de los métodos de interpolación Kriging, IDW y Spline, con el fin de seleccionar el más acorde con los datos y elaborar los mapas de la distribución espacial de la precipitación. El objetivo de los métodos de interpolación es pasar de una red de observaciones irregularmente distribuida a un grid regular de forma que este mantenga las características climáticas de las observaciones.

5.5.1 Resultado validación cruzada

Con la densidad de estaciones de trabajo, se creó un grid regular que permitió la aplicación de los métodos de interpolación, los cuales representaron la variabilidad de la precipitación de la zona de estudio, para realizar la validación de los métodos, comparando el error obtenido y eligiendo el menor de estos. La validación cruzada consiste en escoger como conjunto de entrenamiento todas las estaciones menos una, estudiar el error cometido en la estación restante y repetir el proceso con todas las estaciones de la red. Entre menor sea la diferencia mejor

será el ajuste del modelo y mejor será la calidad del mapa. Se comparan el coeficiente de correlación (R^2) y el error medio cuadrático entre las tendencias y los datos estimados para cada una de las variables.

Se comparó la variación de la correlación entre Kriging Ordinario y Universal, donde se observó que no existen discrepancias entre estos, al presentarse el mismo ajuste, para el método Spline se manejó Spline with tension y en el caso de IDW se trabajó con potencia de segundo orden.

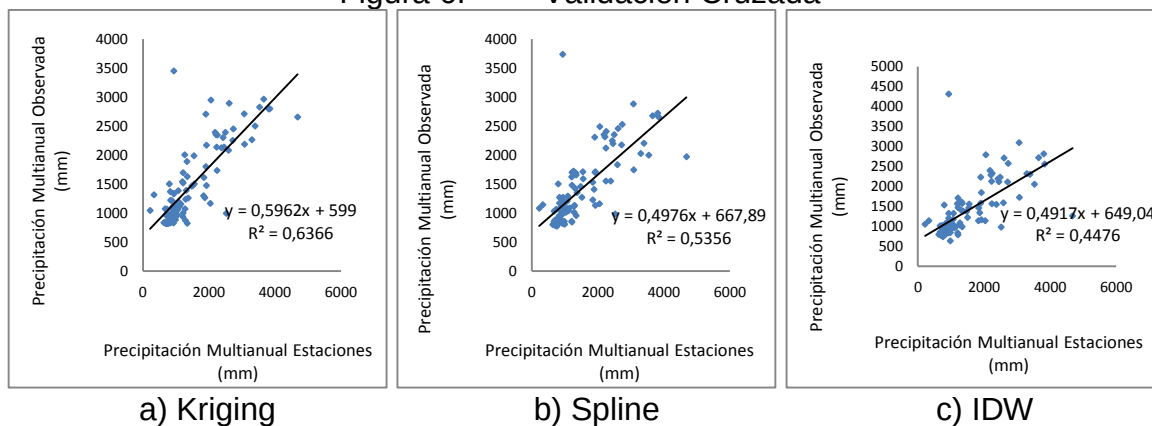
Se evaluó su precisión a través de la validación cruzada, mediante la herramienta “Geostatistical Analyst” de ArcGis, donde se realizó el proceso de interpolación para cada uno de los meses con cada uno de los métodos, resultado que arroja una serie de gráficas en las cuales se observa la tendencia de los datos (Ver **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** Métodos de interpolación), de lo anterior se obtuvo que el método Kriging presento mayor ajuste en 8 de los 12 meses, mientras que el Spline lo fue en los 4 restantes y el IDW no supero los métodos anteriores en ninguno de los meses, como se observa en la Tabla 8.

Tabla 8. Coeficientes de correlación interpolación espacial de lluvia.

		ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
KRIGING	R2	0,5156	0,5256	0,5282	0,5163	0,5523	0,5694	0,6023	0,6167	0,601	0,5451	0,4927	0,5381
SPLINE	R2	0,571	0,5907	0,5863	0,5465	0,5493	0,5625	0,5795	0,5842	0,5775	0,52	0,4322	0,4607
IDW	R2	0,5597	0,5879	0,5565	0,4926	0,4663	0,4445	0,4823	0,4827	0,4721	0,4629	0,422	0,4746

En la Figura 6 se observa la relación entre la precipitación multianual medida y la prevista para cada uno de los métodos, donde afirmando lo obtenido en cada uno de los meses, el método Kriging es quien presenta el mejor ajuste.

Figura 6. Validación Cruzada



Fuente: el autor, abril 2014.

Con base a los resultados obtenidos y teniendo en cuenta la revisión bibliográfica realizada, se elaboraron los mapas de distribución espacial de la lluvia para cada uno de los meses, de acuerdo con los resultados obtenidos en la Tabla 8, para las series de datos completadas en los años de 1980 a 2012 en las estaciones seleccionadas. Estos mapas permitirán observar la variación espacial de la precipitación en el Departamento de Boyacá.

5.5.2 Comportamiento espacial de la lluvia

Por medio de la representación gráfica, se elaboraron mapas (Ver **Anexo B**) que muestran la distribución y comportamiento espacial de las lluvias en las diferentes zonas del Departamento de Boyacá, en los cuales se identificó lo siguiente:

a) Precipitación media mensual y multianual

En el Mapa 9, es posible observar el comportamiento de la distribución espacial de la precipitación, en el mes de enero, se evidencia que esta variable, presenta un aumento en sentido este – oeste, con mayor intensidad en la provincia de Occidente y zona de Puerto Boyacá, se observan algunas islas aledañas al sector de Aquitania, probablemente producto de algún error en la interpolación.

En el Mapa 10, se aprecia que el mes de febrero, presenta un aumento en sentido este – oeste, con mayor intensidad en la provincia de Occidente, Puerto Boyacá y parte del sur de la provincia de Neira, en el sector del municipio de Santa María; se identifican zonas de menor precipitación en las provincias de Gutiérrez, Valderrama, Norte, Distrito fronterizo, Márquez y parte de la región Centro, comportamiento que se evidencia de la misma manera en el Mapa 11, correspondiente al mes de marzo.

El comportamiento de la distribución espacial de la precipitación para el mes de abril, se aprecia en el Mapa 12, a diferencia del mes anterior, se observa un crecimiento en la provincia de libertad y sur del departamento en general.

El Mapa 13, representa la distribución espacial de la precipitación para el mes de Mayo, donde las zonas de mayor intensidad se evidencian al Sur de las provincias de Neira, Oriente, Lengupa, parte de Libertad y Sugamuxi, al igual que en el Suroeste de Puerto Boyacá y provincia de Occidente. Las menores intensidades son apreciables en el Centro y noreste del Departamento de Boyacá.

En contraste con el mes anterior, los meses de Junio (Mapa 14) y Julio (Mapa 15), presentan disminución de la precipitación en el noroeste del departamento y

aumenta levemente en el sureste de la provincia de Valderrama y Libertad, condición que es apreciable también en el mes de agosto (Mapa 16) con la diferencia que en las provincias de Márquez, Sugamuxi y Valderrama aumenta levemente su intensidad.

El comportamiento de la precipitación correspondiente al mes de septiembre, se puede observar en el Mapa 17, en el cual, en el sur de la provincia de Neira, Oriente, Lengupá, Sugamuxi y Libertad junto con el Noroeste del municipio de Puerto Boyacá y parte de la provincia de Occidente, corresponden a las zonas con mayor intensidad de precipitación, por su parte las provincias de Ricaurte, Centro, Márquez, Tundama, Valderrama, Norte, Gutiérrez y el municipio de Cubara, presentan menor intensidad de lluvia, lo anterior se presenta de manera similar en el mes de octubre (Mapa 18) con la diferencia que en el norte de las provincias de Centro, Tundama y Norte, la precipitación aumenta.

El Mapa 19 representa la distribución espacial de la precipitación para el mes de Noviembre, en el cual se registra mayor intensidad en el municipio de Puerto Boyacá, junto con la provincia de Occidente y Sur de las provincias de Neira y Lengupá, por el contrario, en el municipio de Cubara y las provincias de Gutiérrez, Norte, Valderrama, Tundama, Centro, Márquez, parte de Sugamuxi y Ricaurte, se observa baja precipitación, comportamiento que es análogo para el mes de Diciembre (Mapa 20).

En el Mapa 21, se observa la distribución espacial de la precipitación Máxima en el Departamento de Boyacá para el mes de Enero, con notable intensidad de precipitación en el municipio de Puerto Boyacá y la provincia de Occidente, por su parte en el Norte de las provincias de Ricaurte, Centro, Tundama junto con el Sur de la provincia de Neira y Libertad se evidencia menor régimen de precipitación que las mencionadas anteriormente, mientras que en el municipio de Cubara con las provincias de Gutiérrez, Norte, Valderrama, Sugamuxi, Márquez y Oriente se observan los más bajos niveles de precipitación, en contraste con lo anterior, el mes de Febrero (Mapa 22) presenta una condición similar, con la diferencia que en las provincias de Neira y Lengupá se evidencia un leve aumento.

La distribución espacial máxima para el mes de Marzo, se puede apreciar en el Mapa 23, en el cual la mayor intensidad se evidencia en el municipio de Puerto Boyacá y en la provincia de Occidente; a diferencia del mes anterior la precipitación incrementa en sentido Sur-Norte en las provincias de Oriente, Neira, Lengupá y Libertad, lo antepuesto es apreciable también en el Mapa 24, correspondiente a la distribución espacial de la precipitación máxima en el mes de Abril, pero difieren, en que en este último mes esta variable disminuye en la provincia de occidente.

El Mapa 25, representa la distribución espacial máxima de la precipitación para el mes de Mayo, donde el Sur de las provincias de Neira, Lengupá, Sugamuxi y

Libertad se evidencia un aumento de la precipitación en sentido Sur-Norte, siendo el sur de la provincia de Neira junto con el municipio de Puerto Boyacá y la provincia de Occidente las zonas con mayor intensidad de precipitación, por el contrario, en las provincias de Márquez, Tundama, Centro, Valderrama, Norte, Gutiérrez y el municipio de Cubara se observa baja intensidad de precipitación.

La distribución espacial máxima para el mes de Junio, se puede apreciar en el Mapa 14, en el cual la mayor intensidad se evidencia en el Sureste del Departamento de Boyacá, en las provincias de Oriente, Neira, Lengupá, Sugamuxi y Libertad, por el contrario en el municipio de Puerto Boyacá junto con el Noroeste de las provincias de Occidente y Ricaurte y el Noreste de las provincias de Libertad y Valderrama corresponden a zonas con menor precipitación que las mencionadas anteriormente pero no menores a los niveles de precipitación observados en las provincias de Márquez, Centro, Tundama, Norte, Gutiérrez y el Municipio de Cubará; el comportamiento anterior se evidencia de manera similar en los meses de Julio (Mapa 27) y Agosto (Mapa 16).

En el Mapa 29, se observa la distribución espacial de la precipitación máxima en el Departamento de Boyacá para el mes de Septiembre, en este se observa que las provincias de Márquez, Centro, Tundama, Sugamuxi, Valderrama, Norte, Gutiérrez y el municipio de Cubará, tienen una intensidad menor en comparación con la provincia de Occidente, el Sur de Neira y Libertad junto con el municipio de Puerto Boyacá, en donde se aprecia mayor intensidad; la anterior condición es pareja a lo que se observa en el mes de Octubre (Mapa 30) y Noviembre (Mapa 31).

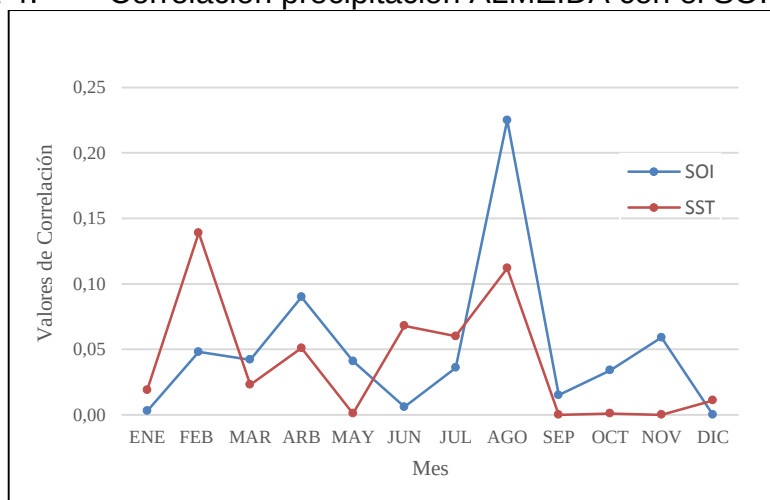
La distribución espacial máxima para el mes de Diciembre, se puede apreciar en el Mapa 32, en el cual con referencia al mes anterior, se reduce los niveles de precipitación en el Sur de las provincias de Libertad, Sugamuxi, Lengupá y Oriente y Neira.

El Mapa 33, representa la distribución espacial de la precipitación Anual que se genera en el Departamento de Boyacá, en el cual es posible apreciar un aumento de la precipitación en sentido Sur – Norte en las provincias de Oriente, Neira, Lengupá, Sugamuxi y Libertad, siendo las zonas de mayor intensidad el municipio de Puerto Boyacá, la provincia de Occidente y el sur de la provincia de Neira, también es posible identificar que los sitios de menor precipitación corresponden a la provincia de Ricaurte, Centro, Márquez, Tundama y Sugamuxi superando en intensidad de precipitación a las provincias de Valderrama, Norte, Gutiérrez y el municipio de Cubará quienes evidencian un bajo régimen de lluvias.

5.6 CORRELACIÓN LINEAL DE LAS VARIABLES MACROCLIMÁTICAS SOI Y SST CON LA PRECIPITACIÓN.

Con los datos mensuales del Índice de Oscilación del Sur (SOI) y el Índice de las anomalías en la temperatura de la superficie marina en el Pacífico Ecuatorial (SST), los cuales se encuentra disponibles en la página de la NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) <http://www.cpc.ncep.noaa.gov/data/indices/>, se realizó la correlación con los valores de precipitación mensual de cada estación para cada uno de los meses, mediante la utilización del programa estadístico SPSS, dando como resultado un coeficiente de correlación (R^2) que define la relación entre la anomalía y la precipitación y un nivel de significancia (P) que se define como la probabilidad de tomar la decisión de rechazar la hipótesis nula cuando ésta es verdadera, si el valor P es inferior al nivel de significación, entonces la hipótesis nula es rechazada; cuanto menor sea el valor P, más significativo será el resultado. El valor P que indica que la asociación es estadísticamente significativa ha sido seleccionado arbitrariamente y para este caso se considera de 0.05 para una seguridad del 95%. Dada la extensión en cuanto al número de estaciones, se hace un análisis general, el cual se puede verificar en la Tabla 9 (Ver Anexo C) y en las gráficas realizadas para cada una de las estaciones como la Gráfica 4.

Gráfica 4. Correlación precipitación ALMEIDA con el SOI y SST.



Fuente: autor, mayo 2014.

5.6.1 Correlación SOI con la precipitación

En el mes de Enero, el rango de correlación que predomina va de 0,0 a 0,1, valor que se evidencia en el 50% del total de las estaciones, en el 23% de las estaciones el coeficiente de correlación oscila de 0,1 a 0,2, mientras que el 5% de estas presenta una variación que va de 0,3 a 0,4, finalmente el 1% se encuentra en el rango de 0,4 a 0,5; por su parte la aprobación de la hipótesis cumple en un 56% de las estaciones.

El 60% de las estaciones en el mes de Febrero presentan una variación de 0,0 a 0,1 con respecto al rango de correlación, a diferencia de lo anterior el 29% de las estaciones varían de 0,1 a 0,2, un 4% de la muestra oscila entre 0,2 y 0,3 y tan solo el 1% presenta un rango de correlación de 0,3 a 0,4; en este mes el 70% de las estaciones aprueba el rango de la hipótesis.

El rango de correlación que más se evidencia en el mes de Marzo se encuentra entre 0,0 a 0,1 en el 86% de las estaciones, mientras que en 10% de las estaciones este valor oscila de 0,1 a 0,2, el 2% del total de las estaciones muestra un rango de correlación entre 0,2 y 0,3, por el contrario el 2% restante varía de 0,3 a 0,4; en cuanto a la aprobación de la hipótesis, el 92% cumple ese criterio.

En el mes de Abril, el rango de correlación que predomina va de 0,0 a 0,1, valor que se evidencia en el 94% del total de las estaciones, en el 3% de las estaciones el coeficiente de correlación oscila de 0,1 a 0,2, mientras que el 1% de estas presenta una variación que va de 0,3 a 0,4; por su parte la aprobación de la hipótesis cumple en un 97% de las estaciones.

El 95% de las estaciones en el mes de Mayo presentan una variación de 0,0 a 0,1 con respecto al rango de correlación, a diferencia de lo anterior el 3% de las estaciones varían de 0,1 a 0,2, el 1% de la muestra oscila entre 0,2 y 0,3, y el 1% presenta un rango de correlación de 0,5 a 0,6; en este mes el 98% de las estaciones aprueba el rango de la hipótesis.

El rango de correlación que más se evidencia en el mes de Junio se encuentra entre 0,0 a 0,1 en el 49% de las estaciones, mientras que en 19% de las estaciones este valor oscila de 0,1 a 0,2, el 25% del total de las estaciones muestra un rango de correlación entre 0,2 y 0,3, por el contrario el 6% restante varía de 0,3 a 0,4 y el 2% presenta un rango de correlación de 0,4 a 0,5; en cuanto a la aprobación de la hipótesis, el 55% cumple ese criterio.

En el mes de Julio, el rango de correlación que predomina va de 0,0 a 0,1, valor que se evidencia en el 67% del total de las estaciones, en el 27% de las estaciones el coeficiente de correlación oscila de 0,1 a 0,2, mientras que el 6% de estas presenta una variación que va de 0,3 a 0,4; por su parte la aprobación de la hipótesis cumple en un 73% de las estaciones.

El 54% de las estaciones en el mes de Agosto presentan una variación de 0,0 a 0,1 con respecto al rango de correlación, a diferencia de lo anterior el 31% de las estaciones varían de 0,1 a 0,2, el 14% de la muestra oscila entre 0,2 y 0,3, y el 1% presenta un rango de correlación de 0, a 0,5; en este mes el 59% de las estaciones aprueba el rango de la hipótesis.

El rango de correlación que más se evidencia en el mes de Septiembre se encuentra entre 0,0 a 0,1 en el 77% de las estaciones, mientras que en 20% de

las estaciones este valor oscila de 0,1 a 0,2, el 2% del total de las estaciones muestra un rango de correlación entre 0,2 y 0,3, y el 1% restante varía de 0,5 a 0,6; en cuanto a la aprobación de la hipótesis, el 80% cumple ese criterio.

En el mes de Octubre, el rango de correlación que predomina va de 0,0 a 0,1, valor que se evidencia en el 52% del total de las estaciones, en el 20% de las estaciones el coeficiente de correlación oscila de 0,1 a 0,2, mientras que el 2% de estas presenta una variación que va de 0,2 a 0,4 y el 1% 0,5 a 0,6; por su parte la aprobación de la hipótesis cumple en un 73% de las estaciones.

El 54% de las estaciones en el mes de Noviembre presentan una variación de 0,0 a 0,1 con respecto al rango de correlación, a diferencia de lo anterior el 31% de las estaciones varían de 0,1 a 0,2, el 14% de la muestra oscila entre 0,2 y 0,3, y el 1% presenta un rango de correlación de 0,5 a 0,6; en este mes el 80% de las estaciones aprueba el rango de la hipótesis.

El rango de correlación que más se evidencia en el mes Diciembre se encuentra entre 0,0 a 0,1 en el 66% de las estaciones, mientras que en el 18% de las estaciones este valor oscila de 0,1 a 0,2, el 12% del total de las estaciones muestra un rango de correlación entre 0,2 y 0,3, y el 5% restante varía de 0,5 a 0,6; en cuanto a la aprobación de la hipótesis, el 72% cumple ese criterio.

5.6.2 Correlación SST con la precipitación

Los resultados obtenidos en este ítem se pueden apreciar en la Tabla 10 (Ver Anexo C).

En el mes de Enero, el rango de correlación que predomina va de 0,0 a 0,1, valor que se evidencia en el 57% del total de las estaciones, en el 30% de las estaciones el coeficiente de correlación oscila de 0,1 a 0,2, mientras que el 11% de estas presenta una variación que va de 0,2 a 0,3, finalmente el 2% se encuentra en el rango de 0,3 a 0,4; por su parte la aprobación de la hipótesis cumple en un 68% de las estaciones.

El 70% de las estaciones en el mes de Febrero presentan una variación de 0,0 a 0,1 con respecto al rango de correlación, a diferencia de lo anterior el 17% de las estaciones varían de 0,1 a 0,2, un 1% de la muestra oscila entre 0,2 y 0,3, el 3% presenta un rango de correlación de 0,3 a 0,4 y el 1% restante se encuentra de 0,6 a 0,7; en este mes el 85% de las estaciones aprueba el rango de la hipótesis.

El rango de correlación que más se evidencia en el mes de Marzo se encuentra entre 0,0 a 0,1 en el 74% de las estaciones, mientras que en 25% de las estaciones este valor oscila de 0,1 a 0,2 y el 2% del total de las estaciones

muestra un rango de correlación entre 0,2 y 0,3; en cuanto a la aprobación de la hipótesis, el 82% cumple ese criterio.

En el mes de Abril, el rango de correlación que predomina va de 0,0 a 0,1, valor que se evidencia en el 83% del total de las estaciones, en el 13% de las estaciones el coeficiente de correlación oscila de 0,1 a 0,2, mientras que el 2% de estas presenta una variación que va de 0,2 a 0,3, un 1% de la muestra total varía de 0,3 a 0,4 y el 1% restante presenta un rango de correlación de 0,4 a 0,5; por su parte la aprobación de la hipótesis cumple en un 85% de las estaciones.

El 82% de las estaciones en el mes de Mayo presentan una variación de 0,0 a 0,1 con respecto al rango de correlación, a diferencia de lo anterior el 14% de las estaciones varían de 0,1 a 0,2 y el 4% de la muestra oscila entre 0,2 y 0,3; en este mes el 87% de las estaciones aprueba el rango de la hipótesis.

El rango de correlación que más se evidencia en el mes de Junio se encuentra entre 0,0 a 0,1 en el 86% de las estaciones, mientras que en 9% de las estaciones este valor oscila de 0,1 a 0,2, el 2% del total de las estaciones muestra un rango de correlación entre 0,2 y 0,3, por el contrario un 1% varía de 0,6 a 0,7 y el 1% restante presenta un rango de correlación de 0,7 a 0,8; en cuanto a la aprobación de la hipótesis, el 95% cumple ese criterio.

En el mes de Julio, el rango de correlación que predomina va de 0,0 a 0,1, valor que se evidencia en el 87% del total de las estaciones, en el 12% de las estaciones el coeficiente de correlación oscila de 0,1 a 0,2, mientras que el 1% de estas presenta una variación que va de 0,6 a 0,7; por su parte la aprobación de la hipótesis cumple en un 96% de las estaciones.

El 84% de las estaciones en el mes de Agosto presentan una variación de 0,0 a 0,1 con respecto al rango de correlación, a diferencia de lo anterior el 15% de las estaciones varían de 0,1 a 0,2 y un 1% de la muestra oscila entre 0,2 y 0,3; en este mes el 93% de las estaciones aprueba el rango de la hipótesis.

El rango de correlación que más se evidencia en el mes de Septiembre se encuentra entre 0,0 a 0,1 en el 57% de las estaciones, mientras que en 36% de las estaciones este valor oscila de 0,1 a 0,2, el 5% del total de las estaciones muestra un rango de correlación entre 0,2 y 0,3, un 1% varía de 0,3 a 0,4 y el 1% restante oscila en el rango de 0,8 a 0,9; en cuanto a la aprobación de la hipótesis, el 67% cumple ese criterio.

En el mes de Octubre, el rango de correlación que predomina va de 0,0 a 0,1, valor que se evidencia en el 99% del total de las estaciones y el 1% restante oscila de 0,8 a 0,9; por su parte la aprobación de la hipótesis se cumple correctamente en todas las estaciones.

El 89% de las estaciones en el mes de Noviembre presentan una variación de 0,0 a 0,1 con respecto al rango de correlación, a diferencia de lo anterior el 7% de las estaciones varían de 0,1 a 0,2, el 2% de la muestra oscila entre 0,2 y 0,3, un 1% presenta un rango de correlación de 0,3 a 0,4 y el 1% faltante varía de 0,4 a 0,5; en este mes el 97% de las estaciones aprueba el rango de la hipótesis.

El rango de correlación que más se evidencia en el mes Diciembre se encuentra entre 0,0 a 0,1 en el 57% de las estaciones, mientras que en el 32% de las estaciones este valor oscila de 0,1 a 0,2, el 9% del total de las estaciones muestra un rango de correlación entre 0,2 a 0,3, un 1% varía de 0,3 a 0,4, y el 1% demás presenta una correlación que oscila de 0,4 a 0,5; en cuanto a la aprobación de la hipótesis, el 67% cumple ese criterio.

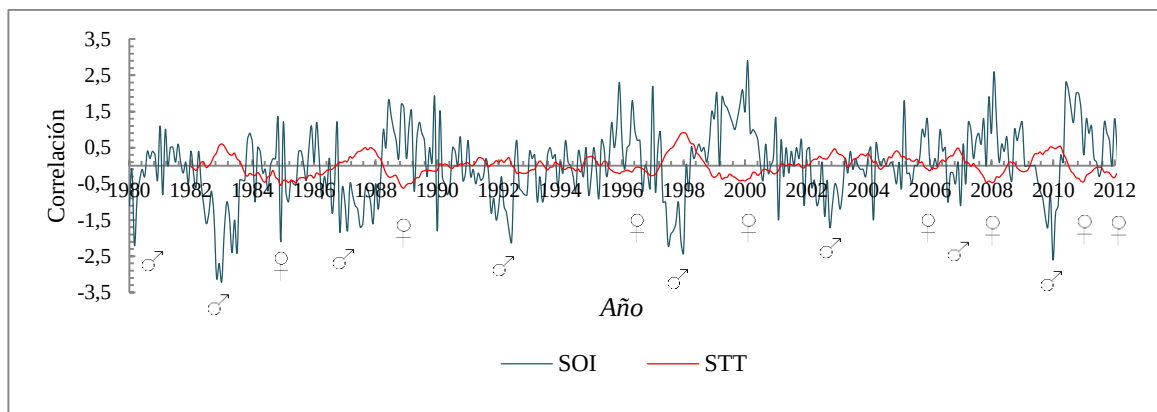
La descripción anterior se puede verificar con las gráficas elaboradas para cada una de las estaciones, en las cuales se observa el comportamiento de la correlación de la precipitación con las variables macroclimáticas SOI y SST en cada mes, las cuales por efecto de espacio se muestran en el **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** (Correlación Precipitación - SOI & SST).

Adicionalmente, se elaboraron mapas mensuales para cada una de las variables macroclimáticas (SOI y SST), donde se observa el rango de correlación y la incidencia en las diferentes zonas del departamento de Boyacá, lo anterior se encuentra a partir del 0 en adelante (Ver Anexo B).

5.6.3 Identificación de la presencia de los fenómenos El Niño y La Niña en el Departamento de Boyacá

Se identificó dentro de la serie de datos del SOI y SST los años Niño y Niña (Ver Gráfica 5), con el fin de compararlos con las series mensuales de cada una de las estaciones e identificar según la ubicación de estas, las zonas en donde se ejerce mayor incidencia de estas variables macroclimáticas.

Gráfica 5. Años Niña y Niño según los registros de la NOAA



Fuente: autor, mayo 2014.

En una condición Niño, la Temperatura superficial del mar (SST) presenta valores positivos y el Índice de oscilación del Sur (SOI) valores negativos, mientras que en la condición Niña cuando la Temperatura superficial del mar es negativa el Índice de oscilación del sur es positivo, por lo tanto en la Gráfica 5 se identificaron los años de 1981, 1984, 1985, 1986, 1989, 1996, 1997, 1999, 2000, 2006, 2008, 2009, 2011 y 2012 como años Niña y los años de 1980, 1983, 1987, 1988, 1992, 1998, 2003, 2007 y 2010 como años Niño.

Al comparar estos años con las series mensuales de la precipitación de cada estación, se encontró que los años en donde hay mayor incidencia de las variables macroclimáticas en cuanto al fenómeno de la Niña son de 1985, 1986, 1996, 1999, 2000, 2008, 2011 y 2012 mientras que para el caso del fenómeno de El Niño los años que tuvieron mayor concordancia con estas variables fueron 1980, 1983, 1992 y 2003.

De igual manera fueron comparados los años resaltados de la Gráfica 5 que fueron en total 14 para la condición Niña y 9 para la condición Niño con las series de precipitación de cada estación, donde se encontró que las variables macroclimáticas SOI & SST influyen en la precipitación de la mayoría de las estaciones, donde la condición Niña es quien tiene predominio, sin embargo en el caso de la estación Curital de la provincia Valderrama la condición Niño tiene mayor incidencia, lo anterior se puede observar en el **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** Correlación SOI & SST, gráficas Identificación de la presencia de los fenómenos El Niño y La Niña en el Departamento de Boyacá .

6 CONCLUSIONES

El terreno característico en el departamento de Boyacá se define como Fuertemente accidentado, por presentar en su mayoría pendientes entre 35% y 50%, lo cual influye directamente en la variabilidad de la precipitación, pues dadas estas condiciones, junto con la influencia de los vientos, el régimen de lluvias se intensifica en unas zonas y se debilita en otras, especialmente en los sectores de Occidente, Ricaurte, Lengupa y Gutiérrez.

La forma de precipitación que predomina en el Departamento de Boyacá, según la información analizada y los resultados obtenidos es de tipo bimodal, correspondiente al 59%, con predominio en los meses de marzo a mayo y de septiembre a noviembre, mientras que el régimen unimodal alcanza el 41% y se presenta de manera más notoria en las provincias de Oriente, Neira, Márquez, Lengupa y Libertad.

Para las estaciones con ciclo unimodal, los niveles de precipitación más altos ocurren en los meses de abril a septiembre, mientras que para las estaciones con régimen de precipitación bimodal, los valores máximos ocurren en los meses de marzo a mayo y de septiembre a noviembre.

Las provincias que presentan una similitud en cuanto al régimen de precipitación bimodal son Zona de Manejo Especial, Occidente, Ricaurte, Centro, Sugamuxi, Tundama, Valderrama, Norte y Gutiérrez; mientras que en el régimen de precipitación unimodal se encuentran las provincias de Oriente, Neira, Lengupa, Márquez y Libertad.

La precipitación media multianual en el departamento de Boyacá, es más alta en las provincias de Neira (4079 mm), Zona de manejo especial (3498 mm), Occidente (3458 mm) y Lengupa (3330 mm); seguidas de las provincias de Libertad (2716 mm), Oriente (2505 mm) y Ricaurte (2328 mm). Las provincias de Valderrama, Tundama y Sugamuxi presentan una precipitación media multianual similar, con valores que varían entre 1779 mm y 1897 mm, mientras que las provincias de Centro, Distrito Fronterizo, Gutiérrez y Márquez presentan la menor precipitación, la cual oscila de 1518 mm a 1721 mm.

De las 118 estaciones de estudio, 3 presentan una precipitación media entre 13,8 mm y 27,4 mm; en 7 de estas el valor oscila de 52,7 mm a 58,3 mm; en 19 estaciones se obtuvo un valor de 60,2 mm a 69,7 mm; 16 presentan una precipitación media entre 72,8 mm y 78,4 mm; en 12 estaciones se obtuvo un valor entre 81,8 y 87,8 mm; 4 estaciones presentan una precipitación media entre 94,4 y 97 mm; en 39 estaciones la precipitación varía de 100,1 mm a 197,6 mm;

en el rango de 201,8 mm a 283,3 mm se encuentran 13 estaciones; por último en 5 estaciones la precipitación oscila entre 304,5 mm y 393,5 mm.

De acuerdo con la revisión de cada uno de los datos de precipitación de las estaciones en el periodo de 1980 – 2012, alrededor de un 0.22% de la muestra total analizada, corresponde a valores atípicos, siendo un porcentaje que no altera significativamente los resultados del análisis; por su parte un 9.01% concierne a los datos faltantes dentro del total de la muestra.

De acuerdo a los cálculos realizados, las zonas que requieren inclusión de estaciones son Gutiérrez, Valderrama, Lengupa, Libertad, Occidente, y Zona de manejo especial.

Debido a la escases de estaciones en la zona correspondiente al Distrito Fronterizo, no se tiene una distribución espacial significativa de la precipitación en esta zona, por lo que fue necesario realizar una expansión de la interpolación que diera una idea global del posible valor de precipitación que se registra en dicha zona.

En la interpolación de la precipitación realizada para cada mes y por cada uno de los métodos, se observó que en los meses de Enero, Febrero, Marzo y Abril el método Spline tuvo un mayor coeficiente de correlación (R^2), mientras que en los meses de Mayo, Junio, Julio, Agosto, Septiembre, Octubre, Noviembre y Diciembre el Kriging fue el método con mejor ajuste, por su parte el método IDW no supero los valores obtenidos por los métodos anteriores.

Luego de evaluar la precisión de los métodos de interpolación Spline, Kriging e IDW mediante la herramienta Geostatistical Analyst de ArcGis, se obtuvo mayor precisión en el método Kriging, seguido del Spline y por último el IDW, con coeficientes de correlación de 0.63, 0.56, y 0.44 respectivamente.

La distribución espacial de la precipitación evidencia un incremento en sentido Sur – Norte en las provincias de Oriente, Neira, Lengupá, Sugamuxi y Libertad, siendo las zonas de mayor intensidad el municipio de Puerto Boyacá, la provincia de Occidente y el sur de la provincia de Neira, también es posible identificar que los sitios de menor precipitación corresponden a la provincia de Ricaurte, Centro, Márquez, Tundama y Sugamuxi superando el nivel de precipitación de las provincias de Valderrama, Norte, Gutiérrez y el municipio de Cubará quienes evidencian un bajo régimen de lluvias.

El departamento de Boyacá presenta una variación en el comportamiento de la precipitación que en algunas ocasiones depende de las condiciones orográficas presentes en la zona de estudio, pero al hacer un análisis de dependencia entre la

precipitación media multianual y la altura su correlación no es muy alta dando un resultado de 0,5.

Se encontró que el Departamento presenta un predominio de correlación entre 0.1 – 0.3, con mayor efecto en los meses de Enero (zona Este) y Junio (zona Norte) para la variable SOI. La variable SST, tiene mayor influencia en Enero y Diciembre en el centro del departamento, con un rango de correlación predominante entre 0.1 – 0.2; sin embargo en la provincia de Márquez, sector Umbita se evidencia un alto grado de correlación entre estas variables, que corresponde a 0,97.

La correlación del SST con la precipitación presenta mayores rangos de correlación en los meses de septiembre y octubre, con valores de 0,89 y 0,85 respectivamente, los cuales se evidencian en la zona de Pajarito y Santa Rosa.

Al analizar el grado de significancia de correlación en la variable SOI se observa que aproximadamente el 75% del periodo analizado presenta un intervalo de confianza superior a 0.05, demostrando que estas anomalías climáticas inciden en el comportamiento de la precipitación en el Departamento de Boyacá.

La baja correlación determinada se atribuye a las condiciones orográficas (Cordillera Oriental) y geográficas del Departamento.

De acuerdo con la comparación realizada entre la serie de las variables macroclimáticas SOI y SST y la serie de la precipitación de cada una de las estaciones, en lo que concierne a la presencia del fenómeno de La Niña, se encontró que los años de 1985, 1986, 1996, 1999, 2000, 2008, 2011 y 2012 tienen la mayor coincidencia con respecto al actuación de estas variables, indicando que en ese periodo el comportamiento de la precipitación se vio influenciada por estas.

En los años de 1980, 1983, 1992 y 2003 el comportamiento de la precipitación comparado con los registros de SOI y SST tiene la mayor coincidencia, ocasionando en este tiempo la aparición del fenómeno de El Niño.

En la comparación de las series de precipitación con el SOI y SST, se encontró que la actividad de estas variables macroclimáticas influyen en el comportamiento de la precipitación, donde la condición Niña presenta predominio en la mayoría de las estaciones, no obstante el Niño se manifiesta también pero en menor media, encontrando una condición particular en la estación Curital de la provincia de Valderrama donde prevalece la condición Niño.

Según el análisis realizado se identificó la presencia del fenómeno de El Niño con una periodicidad de 3 a 7 años, mientras que el fenómeno de La Niña se observa entre 5 y 2 años, con mayor frecuencia en los últimos años; siendo La Niña quien presenta predominio en el Departamento.

Esta investigación permite analizar los posibles impactos del cambio climático y orientar las acciones de investigación en el tema, de la misma manera es una base para el diseño de medidas de adaptación y mitigación ante los efectos macroclimáticos.

7 RECOMENDACIONES

Es necesario realizar una supervisión de las estaciones localizadas en los diferentes puntos del Departamento de Boyacá con el fin de establecer el estado en el que se encuentran, si es necesario mantenimiento o reactivación y así lograr que la calidad de la información sea más exacta para futuros análisis de las variables hidrometeorológicas como la precipitación.

En el proceso de ordenar los datos, se debe tener cuidado con obstruir algún valor de la carta hidrológica, para evitar la generación de resultados erróneos.

Se recomienda que la densidad de las estaciones hidrometeorológicas sea la adecuada, para tener mejor cubrimiento de la zona y exactitud en los resultados, por lo que se sugiere incluir 6 en la provincia de Gutiérrez, 5 en Valderrama, 2 en Lengupa, 5 en Libertad, 7 en Occidente y 6 en la Zona de manejo especial, siendo estas últimas en las que se produce un alto régimen de lluvias durante el año.

Para la elaboración de los mapas de la distribución espacial de la precipitación media y máxima, es recomendable que se evalúe el mayor número de métodos de interpolación para cada uno de los meses y así aplicar el método con mayor ajuste.

Se aconseja hacer distribución de la precipitación por tipo de régimen, para verificar el método de interpolación más preciso.

Se observó que ninguno de los métodos tuvo un coeficiente de correlación mayor a 0.8, por lo que se recomienda evaluar la densidad y distribución de las estaciones.

Profundizar en investigaciones de este tipo, con el fin de ampliar el análisis en cuanto a la influencia que tienen las condiciones orográficas sobre la precipitación en determinada zona de estudio.

Con el fin de aportar en la mitigación y prevención de los diferentes peligros o riesgos que se generan en el departamento de Boyacá por consecuencia de la variabilidad de la precipitación, se sugieren algunas actividades que podrían ser útiles para reducir su impacto. Dentro de los eventos que se pueden presentar por el comportamiento de esta variable se destaca el incremento de las infiltraciones subterráneas provocando deslizamientos, así como el incremento de las escorrentías superficiales, de la erosión superficial en el suelo, crecidas importantes de los caudales transportados por las fuentes superficiales, aumento

del transporte de sólidos en suspensión generando acumulación de sedimentos que evitan la recolección de las aguas por parte de los colectores, por lo que su curso cambia y se producen las inundaciones. Por lo anterior se recomiendan las siguientes medidas:

- ✓ Repoblaciones forestales y control de pastoreo a fin de crear estabilidad con el medio ambiente.
- ✓ Conservación de suelos para evitar la alteración de su capa freática.
- ✓ Proteger las márgenes de los cauces con vegetación de riberas, malecones, jarillones, sobretodo en la sección más poblada y con cultivos de mayor costo económico.
- ✓ Construcción de pozos que permitan la llegada de corrientes subterráneas y el almacenamiento del recurso hídrico, para que pueda ser utilizado si es posible para el uso doméstico, irrigación y demás actividades que requieran de su servicio.
- ✓ Desviación del flujo en zonas susceptibles a deslizamientos por medio de obras de drenaje, como las zanjas de coronación, cunetas, canales, etc.

Para la minimización de los riesgos por sequía y prevención de incendios se recomienda:

- ✓ Aplicar métodos de riego de bajo consumo de agua, como los de goteo o aspersión.
- ✓ Evitar la acumulación de basuras, recoger los restos de vidrios que se detecten dentro de los cultivos y evitar cualquier tipo de quemas.
- ✓ Realizar campañas de concientización a los campesinos sobre los riesgos de realizar quemas y las posibles consecuencias ambientales y económicas que pueden causar por estas acciones.
- ✓ Priorizar en los distritos de riego los cultivos más susceptibles a la sequía.
- ✓ Evitar el excesivo uso de fertilizantes, pues éstos promueven el desarrollo vegetativo y por tanto el alto consumo de agua.
- ✓ Realizar aplicaciones de materia orgánica para aumentar la retención de humedad.

GLOSARIO

ANÁLISIS ESTADÍSTICO: asociado al uso de herramientas estadísticas, que permiten describir el comportamiento de unos datos que están indexados en el tiempo.

ANOMALIA CLIMATICA: corresponde a una singularidad en un patrón cíclico o bien un cambio imprevisto en algo que es considerado estable y permanente.

AGROMETEOROLOGIA: ciencia que estudia las condiciones meteorológicas, climáticas e hidrológicas y su interrelación en los procesos de la producción agrícola, debe cooperar con la agricultura para utilizar mejor los recursos climáticos y luchar contra las adversidades del tiempo para obtener altos y mejores rendimientos.

CALENTAMIENTO GLOBAL: aumento en el tiempo de la temperatura media de la atmosfera terrestre y los océanos.

CAMBIO CLIMÁTICO: Cambio del clima atribuido directa o indirectamente a actividades humanas que alteran la composición de la atmósfera mundial, y que viene a añadirse a la variabilidad natural del clima observada durante periodos de tiempo comparables. (CMCC)

CLIMA: Descripción estadística del tiempo en términos de valores medios y de variabilidad de las cantidades de interés durante periodos de varios decenios (normalmente, tres decenios, según la definición de la OMM). Dichas cantidades son casi siempre variables de superficie (por ejemplo, temperatura, precipitación o viento), aunque en un sentido más amplio el "clima" es una descripción del estado del sistema climático.

DISTRIBUCIÓN ESPACIAL: relacionada con el espacio tridimensional en que se reportan los datos de una variable.

DISTRIBUCIÓN TEMPORAL: asociada al modo en que cambia una variable en el tiempo.

ENSO: Evento natural con mayor importancia en la variación del clima mundial resultado de las interacciones entre el océano y la atmósfera en la región del Océano Pacífico Ecuatorial, originalmente se refería a la ocurrencia conjunta de la Oscilación del Sur y el fenómeno de El Niño, pero actualmente se generaliza a la ocurrencia en sus diferentes fases (Niño, Niña). En éste, el término Oscilación del Sur se refiere a la componente atmosférica del fenómeno, mientras que El Niño

representa la componente oceánica en la que la temperatura de la superficie marina es el principal factor.

ESTACIÓN METEOROLÓGICA: punto en el cual se observan y miden periódicamente uno o varios parámetros o variables durante un período de tiempo lo suficientemente largo para determinar el comportamiento de la variable. Una estación cuenta con una infraestructura de protección y está dotada con instrumentos de registro continuo o de observación directa.

METEOROLOGÍA: ciencia que estudia el estado del tiempo, el medio atmosférico, los fenómenos allí producidos y las leyes que lo rigen.

MITIGACIÓN: es el conjunto de medidas para aminorar o eliminar el impacto de las amenazas naturales mediante la reducción de la vulnerabilidad del contexto social, funcional o físico.

PATRÓN ESPACIO – TEMPORAL: asociado a la forma o a la respuesta de los registros históricos que describen una variable.

PLUVIOMETRO: instrumento que se emplea en las estaciones meteorológicas para la recogida y medición de la precipitación.

PRECIPITACIÓN: es definida como la caída de hidrometeoros que alcanzan el suelo, con gran variabilidad espacial y temporal.

RECURSO HÍDRICO: proviene de aguas oceánicas, aguas de escorrentía, de ríos y quebradas, aguas depositadas en lagunas, ciénagas y represas, y aguas subterráneas.

RED: es el conjunto de estaciones, convenientemente distribuidas, en las que se observan, miden y/o registran los diferentes fenómenos y elementos que son necesarios en la determinación del estado y el comportamiento de los recursos ambientales, agua, aire y suelo en una región, para su posterior aplicación a diversos usos y objetivos.

RED AGROMETEOROLÓGICA: son estaciones climatológicas, complementadas con la medición de variables del suelo como la humedad o la tensión de poros para efectos de estudios agrologicos, estas estaciones se encuentran distribuidas en las zonas agrícolas existentes y localizadas dentro de estaciones experimentales o institutos de investigación aplicada dedicados a la agricultura, horticultura, ganadería, silvicultura y edafología. Los datos se miden en las mismas horas de las estaciones climatológicas.

RED CLIMATOLÓGICA: esta red la componen las denominadas estaciones climatológicas en las cuales se miden, además de la precipitación, otras variables meteorológicas como la temperatura, la humedad del aire, el brillo solar, el viento.

RED METEOROLÓGICA: incluye las estaciones en las que se realizan mediciones de parámetros atmosféricos y se compone de varias redes: red pluviométrica, red climatológica, red agrometeorológica, red sinóptica y red aerológica. El propósito principal de esta red es el estudio y seguimiento del clima.

RED PLUVIOMÉTRICA: es la red de mayor cubrimiento a nivel nacional en la cual se hace la medición de la precipitación con registros continuos en pluviógrafos o por observaciones directas efectuadas una vez al día en un pluviómetro.

TEMPERATURA: es un parámetro del estado térmico de la materia, su medida se hace posible debido a la transferencia de calor entre cuerpos de niveles distintos de energía cinética molecular y es variable en función de su elevación.

VULNERABILIDAD: es el factor de riesgo interno que tiene una población, infraestructura o sistema que está expuesto a una amenaza y corresponde a su disposición intrínseca de ser afectado o susceptible de sufrir daños.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACEVEDO, Eduardo. Panorama Geoeconómico del Departamento de Boyacá en anales de Economía y Estadística. Tercera Época, N° 7. 1952. p.p 24.

AMADOR, Jairo. Predicción Agrometeorológica y Agricultura en Boyacá. Cultura Científica. p.p 44-48.

Atlas de Viento y Energía Eólica de Colombia. Capítulo 1. Velocidad del viento en superficie. p.p 18-33.

BERNAL, Gladys. POVEDA, Germán. ROLDÁN, Paola. ANDRADE. Patrones de variabilidad de las temperaturas superficiales del mar en la Costa Caribe Colombiana. Universidad Nacional de Colombia. Medellín. 2006. p.p 195-208.

BORJA, S. El Niño y La Niña. Por encima de la Tierra. p.p 150-155.

CARO, Carlos. VILLATE, José & MARTINEZ, Edgar. Efectos de los Fenómenos macroclimáticos (El Niño y La Niña) sobre diferentes variables climatológicas en Boyacá. p.p 5-11.

CASTRO, M. RAIGOSO, M. VELOSA, A. & CASTAÑEDA, W. Energía Eólica en el departamento de Boyacá, Rosa de los Vientos. ENGI. Revista electrónica de la Facultad de Ingeniería, Vol 2. N° 1. ISSN 2256-5612. 2013. p.p 24-29.

CASTRO, Lina. Análisis de tendencia y homogeneidad de series climatológicas. Escuela de Ingeniería de Recursos Naturales y del Ambiente. Revista EIDENAR. Ejemplar 9. Universidad del Valle. Cali. 2010. Disponible en: <http://revistaeidenar.univalle.edu.co/revista/ejemplares/9/c.htm>.

CHOW, Ven Te. Hidrología aplicada. Bogotá. Editorial Mc Graw Hill. 1994.

CORTES, Adriana. RODRIGUEZ, María. REY, Juan. OVALLES, Francisco. GONZALES, Walter. PARRA, Raquel. Caracterización espacio temporal de la precipitación en el estado Guárico. Universidad Central de Venezuela.

CORTÉS, Melquisedec. Análisis de variables de caudal y precipitación de sectores en los departamentos de Boyacá y Casanare y su alteración por fenómenos macroclimáticos y de cambio global. L'esprit Ingénieux. Universidad Santo Tomas, Tunja. p.p. 114-132

GALLEGO, María de la cruz. GARCÍA, José. & VAQUERO, José. Distribución espacial de índices de frecuencia de precipitación diaria en la Península Ibérica. Universidad de Extremadura. ISSN: 0214-4557. 2004. p.p 161-174.

GARCIA, Pedro. MONSALVE, Elkin. & BUSTAMANTE, Augusto. Estudio de la Variabilidad de la precipitación y la temperatura en la cuenca del Río Quindío. Universidad del Quindío. 2009. p.p. 135-143.

GUENNI, Lelys. DEGRYZE. & ALVARADO, Katiuska. Análisis de la tendencia y la estacionalidad de la precipitación mensual en Venezuela. Revista Colombiana de Estadística. Vol 31. 2008., p.p 41-65.

Guía de referencia para sistemas de alerta temprana de crecidas repentinas. Capítulo 3. Redes de monitoreo Hidrometeorológico., p.p. 3.1 – 3.17.

GUTIERREZ, Sergio. CARVAJAL, Yesid. & Ávila, Javier. Estudio de la Influencia del Fenómeno El Niño – Oscilación del Sur en la Oferta Hídrica de la Cuenca Hidrográfica del Río Dagua. Ciencia e Ingeniería, ISSN 1909-8367. 2013. p.p. 26-33.

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). Atlas Climatológico de Colombia. Parte I Aspectos Nacionales. p.p. 1-18. Disponible en: <https://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/Bvirtual/019711/019711.htm>.

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). Efectos Naturales y Socioeconómicos del Fenómeno El Niño en Colombia. Ministerio del Medio Ambiente. Bogotá D.C. 2002.

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). Posibles efectos naturales y socioeconómicos del fenómeno EL NIÑO en el periodo 1997-1998 en Colombia. Bogotá. 1997.

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). Posibles efectos naturales y socioeconómicos del fenómeno “EL NIÑO” en el periodo 2012-2013 en Colombia. Bogotá. 2012. p.p. 1-22.

LOBO, L. Guía Metodológica para la Delimitación del Mapa de Zonas Áridas, Semiáridas y Subhúmedas Secas de América Latina y el Caribe. Centro del Agua para Zonas Áridas y Semiáridas de América Latina y El Caribe. 2004. CAZALAC – UNESCO PHI – Gobierno de Flandes. http://www.cazalac.org/mapa_alc_guia.php.

MACHADO, Diego. PUCHE, Mariela. VILORIA, Jesús. PARRA, Mayela. Geoespacialización de información climática mediante la utilización de sistemas de información geográfica. Caso Cuenca Alta del Río Guárico. p.p. 1-12.

MARÍN, Rodrigo. Colombia: Potencia Hídrica. Subdirección de Hidrología, IDEAM. 2003. p.p. 1-15.

MEJÍA, Freddy. MESA, Oscar. POVEDA, Germán. VÉLEZ, Jaime. HOYOS, Carlos. BARCO, Janet. CUARTAS, Adriana. MONTTOYA, María. & BOTERO, Blanca. Distribución espacial y ciclos anual y semianual de la precipitación en Colombia. Universidad Nacional de Colombia.

MONTEALEGRE, José. & PABÓN, José. La variabilidad climática interanual asociada al ciclo EL NIÑO-LA NIÑA-OSCILACIÓN DEL SUR y su efecto en el patrón pluviométrico de Colombia. Meteorología Colombiana. Vol 2. Bogotá D.C. 2000. p.p 7-21.

NOE, Daniel. BRAZ, Fernando. FERITAS, Yane. & GONCALVES, Diego. Análisis de métodos de interpolación espacial utilizando datos de evapotranspiración. Instituto Regional de Ciencias Ambientales – UNAS. Castilla Postal 985. Arequipa, Perú. 2013.

OBREGÓN, Nelson & ROSAS, Jorge. Hacia la predicción de la precipitación puntual en tiempo real mediante el Filtro Kalman. Universidad del Valle/Instituto Cinara. 2003. p.p 1-4.

Organización Meteorológica Mundial (OMM). Guía de prácticas climatológicas. 2011.

ORTIZ, J. IGLESIAS, D. DELGADO, T. HERNANDEZ, M. GÓMEZ, M. LOPEZ, B & BALLESTEROS, A. Programas para el tratamiento de series hidrológicas y evaluación de aportaciones hídricas subterráneas. HIDROBAS 3.0. Universidad Politécnica de Madrid.

PABÓN, José. ZEA, Jorge. LEÓN, Gloria. HURTADO, Gonzalo. GONZÁLEZ, Olga. MONTEALEGRE, José. La atmósfera, el tiempo y el clima. Universidad Nacional de Colombia. p.p. 34-91.

PABÓN, José. ESLAVA RAMÍREZ, Jesús. & GOMÉZ TORRES, Raúl. Generalidades de la distribución espacial y temporal de la temperatura, del aire y de la precipitación en Colombia. Meteorología Colombiana. Bogotá, D.C. 2001. p.p 47-59.

PÉREZ, Carlos. POVEDA, Germán. MESA, Oscar. CARVAJAL, Luis. & OCHOA, Andrés. Evidencias del cambio climático en Colombia: Tendencias y cambios de fase y amplitud de los ciclos anual y semianual. Medellín. Universidad Nacional de Colombia. 1998. p.p 537-546.

POVEDA, Germán. VÉLEZ, Jaime. MESA, Oscar. HOYOS, Carlos. MEJÍA, Freddy. BARCO, Olga & CORREA, Paula. Influencia de los fenómenos macroclimáticos sobre el ciclo anual de la Hidrología colombiana: Cuantificación lineal, no lineal, percentiles probabilísticos. Meteorología Colombiana. N°6. Universidad Nacional de Colombia, Medellín. Bogotá. 2002. p.p 121-130.

POVEDA, Germán. La Hidroclimatología de Colombia: Una síntesis desde la escala inter – decadal hasta la escala diurna. Rev. Acad. 2004. p.p 201-222.

PRIETO. Carlos. El Agua, sus formas, efectos, abastecimientos, usos, daños, control y conservación. 2ª Edición. EcoEdiciones. Bogotá. 2004. p.p. 1-277.

RIVERA, Aurora. & GRANADOS, Mario. Tendencias e incidencias de los fenómenos macroclimáticos en la hidrología del alto y medio magdalena. Ciencia e Ingeniería Neogranadina. Vol. 16. N° 2. Universidad Militar Nueva Granada. 2006. p.p. 29-44.

RODRIGUEZ, Marcela & OBREGÓN, Nelson. Avances en el estudio de la correlación entre los indicadores del ENSO y algunas series de caudales de ríos Colombianos. XV Seminario Nacional de Hidráulica e Hidrología. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá.

ROJAS, Edwin. ARCE, Blanca. PEÑA, Andrés. BOSHELL, Francisco. & AYARZA, Miguel. Cuantificación e interpretación de tendencias locales de temperatura y precipitación en zonas alto andinas de Cundinamarca y Boyacá. Corporación colombiana de investigación agropecuaria. 2010. p.p 173-182.

SACCHI, O.DALLA, Martha. COSTANZO, M. & CORONEL, A. Caracterización de las precipitaciones en la localidad de Zavalls (Argentina). Revista de investigación de la Facultad de Ciencias Agrarias. Vol II. 2002.

SAWUNYAMA, Tendai. & HUGHES, Denis. Rainfall variability and uncertainty in water resource assessments in South Africa. IAHS. 2009. p.p 287-293.

SIABATO, W. y YUDEGO, C. “Geoestadística y Medio Ambiente”. Territorio y Medio Ambiente: Métodos Cuantitativos y Técnicas de Información Geográfica. Aportaciones al XI Congreso de Métodos Cuantitativos, SIG y Teledetección (Asociación de Geógrafos Españoles) y Departamento de Geografía, Universidad de Murcia. 2004. p.p.11-25.

VELASCO, Aurora. DÍAZ, Mario. Tendencias e incidencias de los fenómenos macroclimáticos en la hidrología del alto y medio magdalena. Ciencia e Ingeniería Neogranadina. Vol 16. N° 2. Universidad Militar Nueva Granada. 2006.

VILLATORO, Mario. HERNÍQUEZ, Carlos. SANCHO, Freddy. Comparación de los interpoladores IDW Y KRIGING en la variación espacial de PH, CA, CICE y P del Suelo. ISSN: 0377-9424. 2008.

APENDICES Y ANEXOS

Anexo A. MORFOLOGÍA

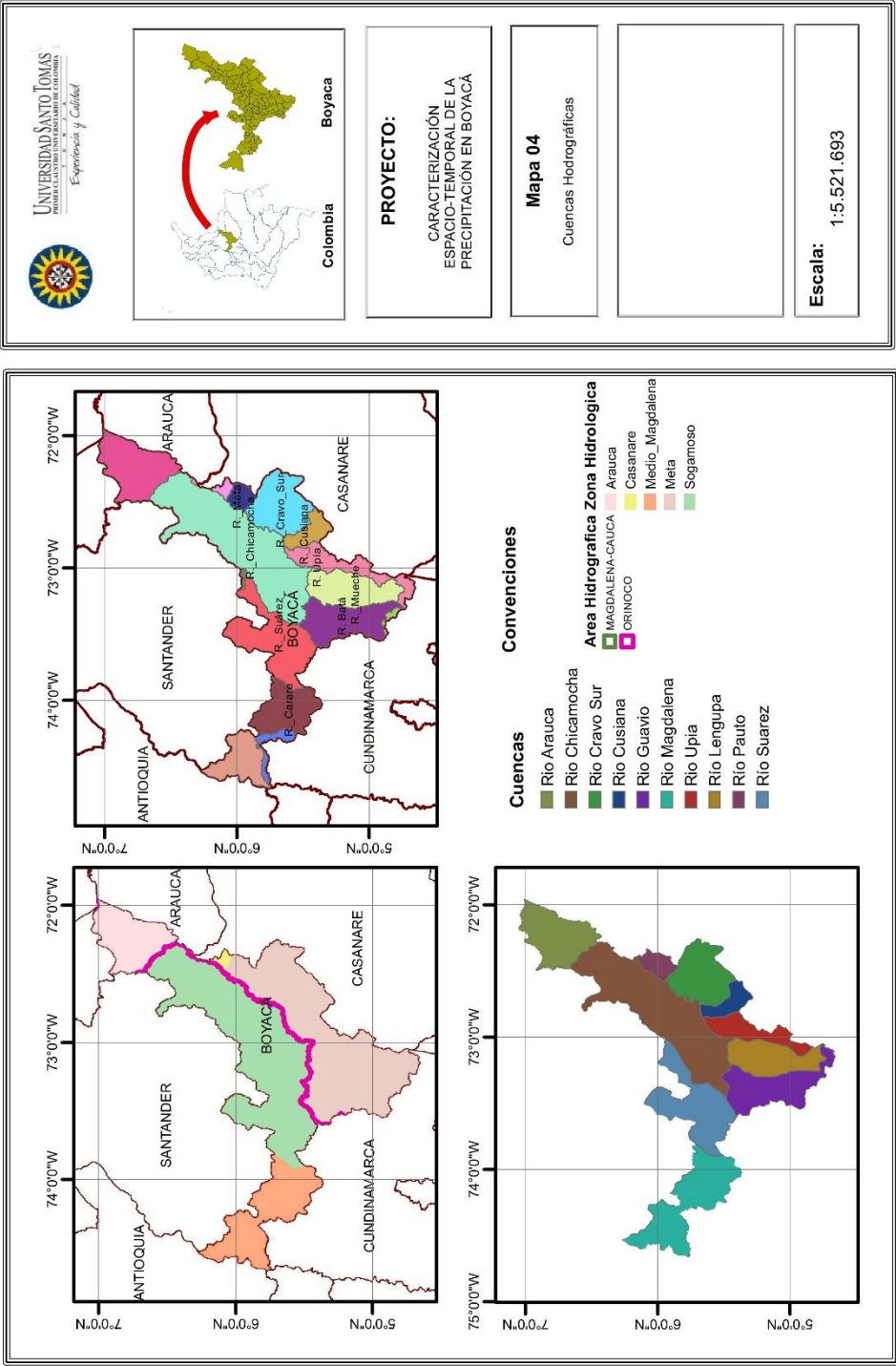
Parámetro de Forma												
Parámetro		Und	Cuenca									
			Magdalena	Suarez	Guavio	Lengupa	Pauto	Upia	Cravosur	Arauca	Chicamocha	Cusiana
Área	A	m²	3,2E+09	2,8E+09	2,3E+09	1,8E+09	5,1E+08	1,2E+09	2,0E+09	2,3E+09	5,8E+09	6,2E+08
Perímetro	P	m	401661	367337	318641	219172	99652	227229	218198	237051	506511	130224
Longitud Cuenca	L	m	69831	61234	73723	74340	31278	82035	61078	66087	168491	45454
Longitud Corriente Principal	Lc	m	48796	63538	69102	109511	23554	66434	59615	38137	165135	50132
Longitud Máxima	Lm	m	62909	207059	200474	201775	73021	159059	119308	60167	203582	121057
Ancho Máximo	Am	m	96490	56878	44186	30644	29479	23280	51934	59388	39222	22422
Ancho	W	m	46320	45000	30931	24074	16169	14306	32829	34349	34449	13707
Factor de Forma	Kf	---	1,36	0,68	0,48	0,15	0,91	0,27	0,56	1,56	0,21	0,25
Coefficiente de compacidad	Kc	---	1,99	1,97	1,88	1,46	1,25	1,87	1,37	1,40	1,87	1,47
Índice de Alargamiento	Ia	---	0,65	3,64	4,54	6,58	2,48	6,83	2,30	1,01	5,19	5,40
Relación de Elongación	Re	---	1,02	0,29	0,27	0,24	0,35	0,24	0,42	0,89	0,42	0,23
Parámetro de Relieve												
Altura Media	hm	m.s.n.m.	814	2573	2155	1861	2900	2286	2095	2471	2966	2507
Altura Máxima	hmax	m.s.n.m.	3394	3964	3558	3810	3828	3865	3909	5343	5222	3981
Altura Mínima	hmin	m.s.n.m.	97	1096	268	289	1181	320	422	67	951	750
Pendiente Media	S	%	29,1	25,2	32,5	35,4	38,1	33,8	43,0	50,6	31,2	36,5
Parámetro de Drenaje												
Orden	O	---	7	7	7	7	6	7	7	7	7	6
Longitud de Drenaje	L	Km	7928	7049	5818	4730	1206	2941	4736	5571	14441	1532
Densidad de Drenaje	Dd	Km/Km²	2,45	2,56	2,55	2,64	2,38	2,51	2,36	2,45	2,49	2,46

Anexo B. MAPAS

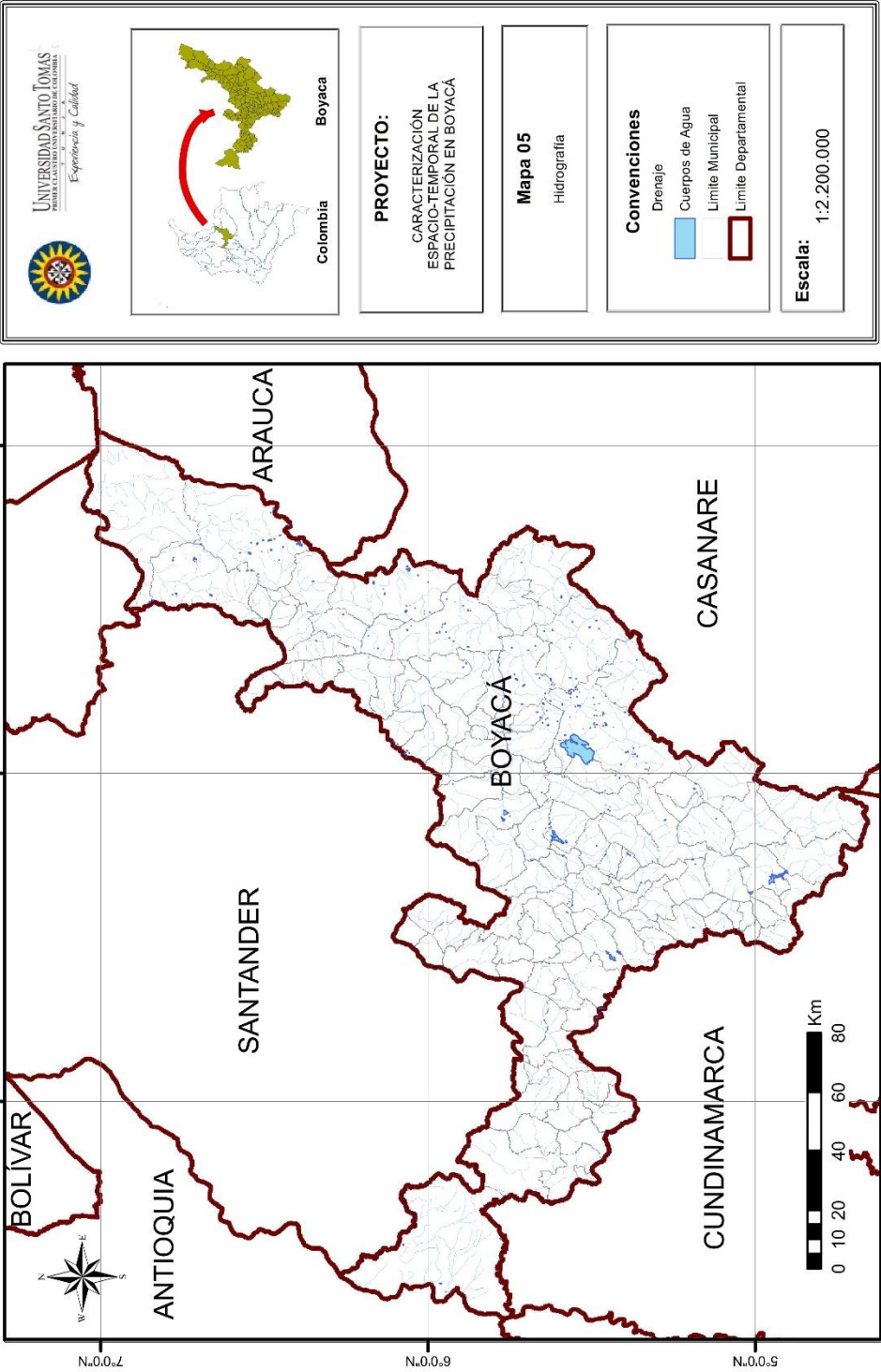
 UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS EXACTAS Escuela de Ingeniería de Sistemas Experiencia y Calidad	 Colombia Boyacá	PROYECTO: CARACTERIZACIÓN ESPACIO-TEMPORAL DE LA PRECIPITACIÓN EN BOYACÁ	Mapa 03 División Política de Boyacá Provincias	Convenciones  Límite Departamental	Escala: 1:2.200.000
--	--	---	---	--	-----------------------------------



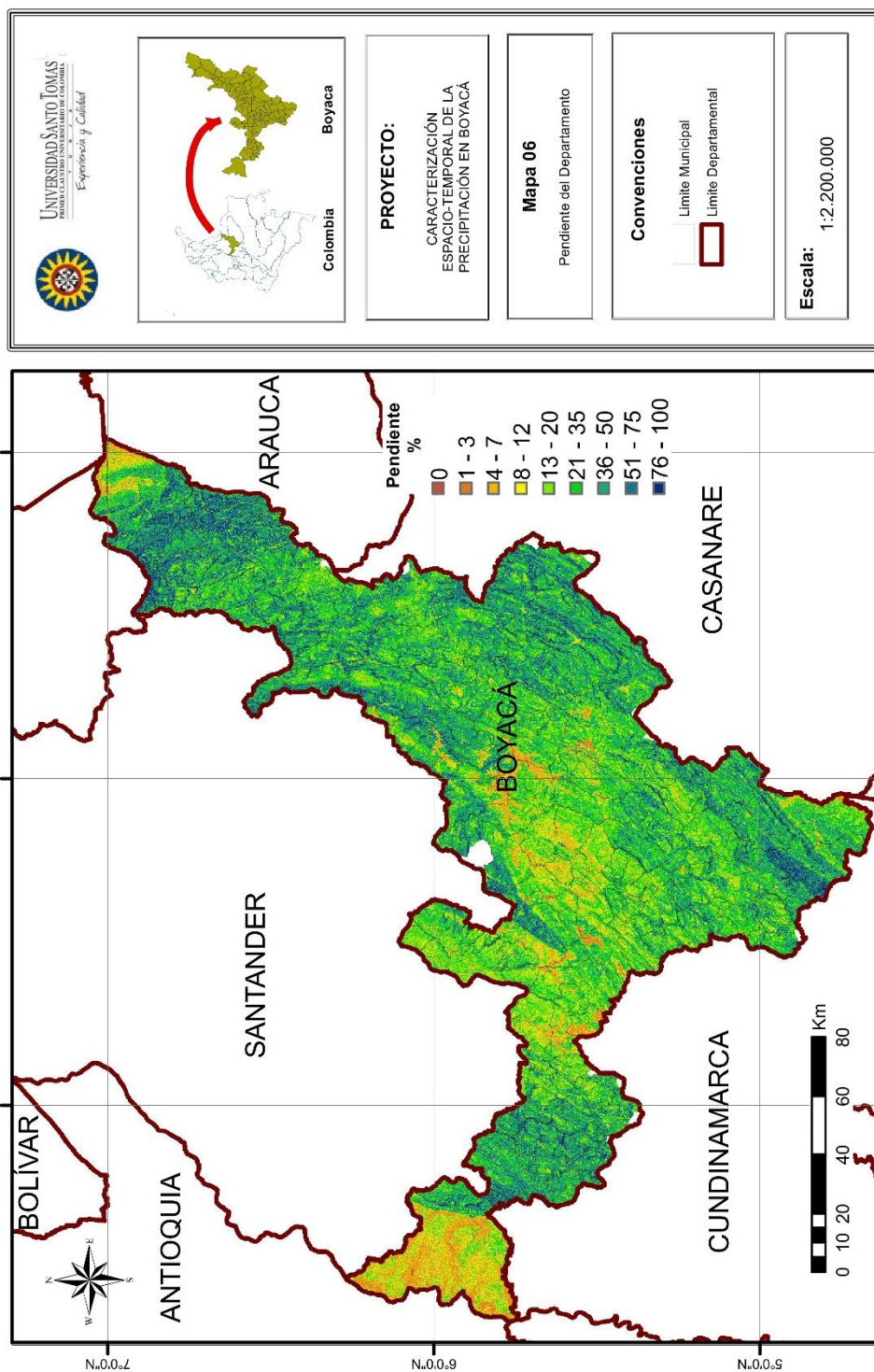
Mapa 4. Cuencas Hidrográficas del departamento de Boyacá.



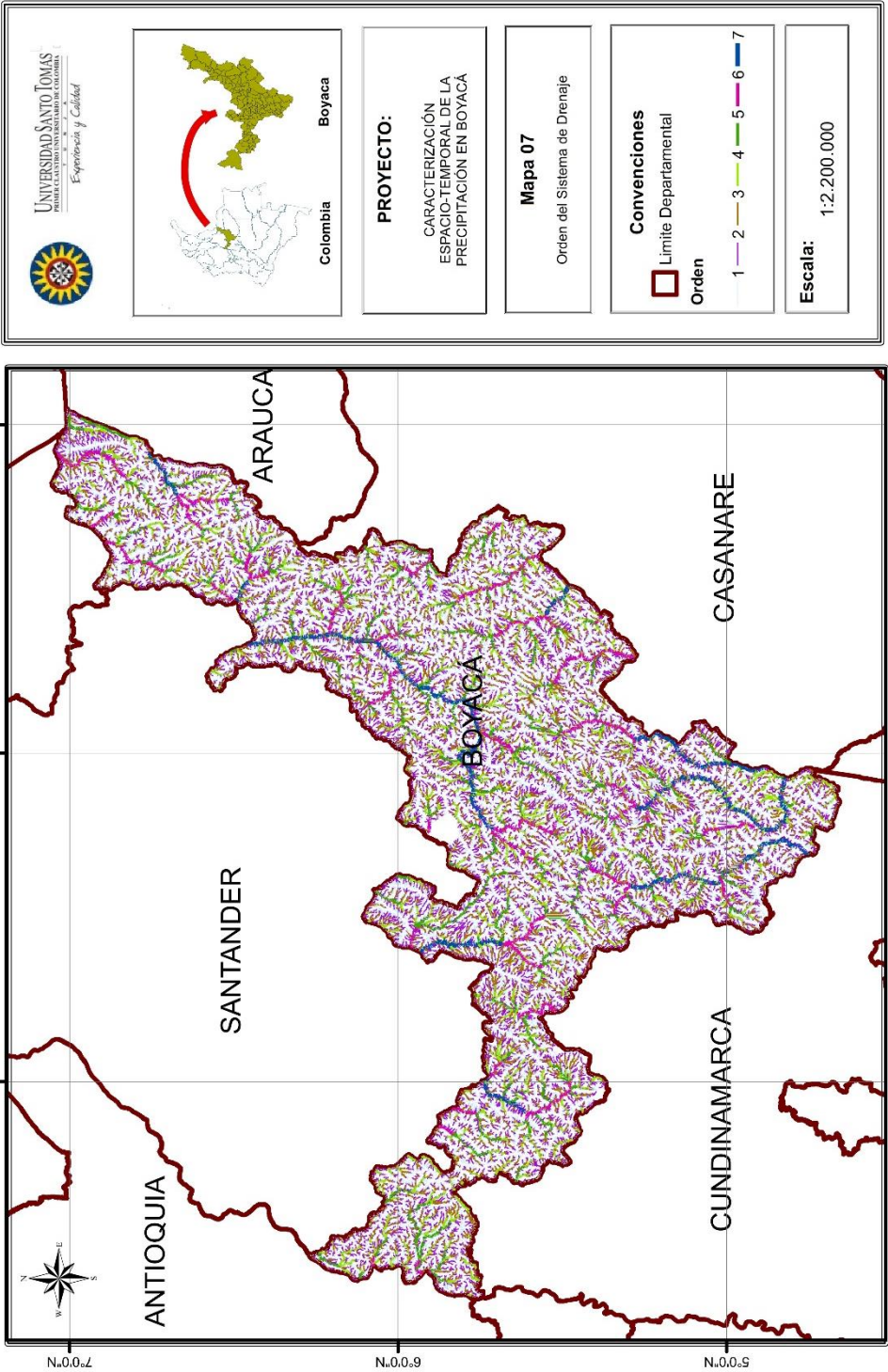
Mapa 5. Hidrografía.



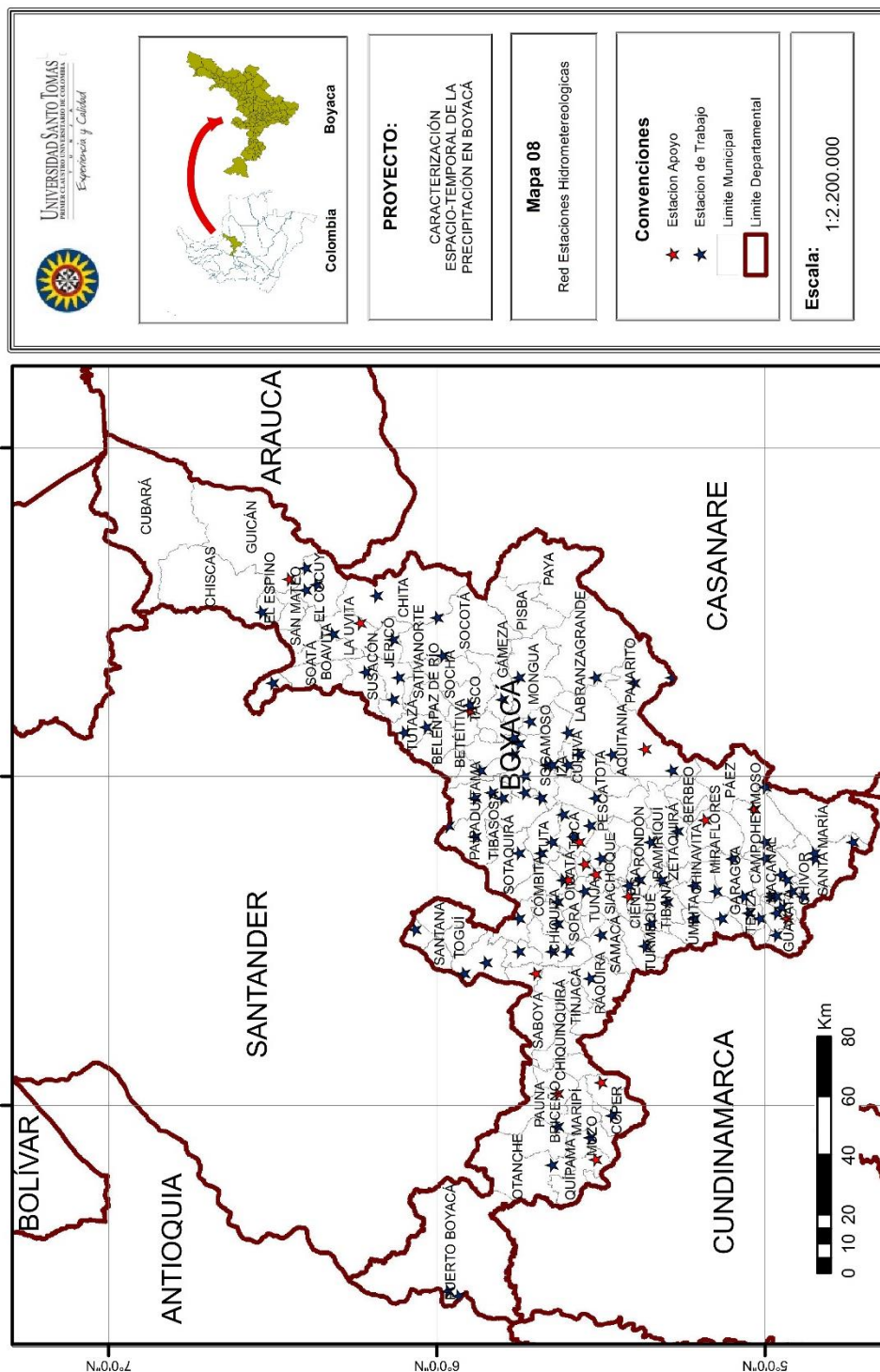
Mapa 6. Pendiente del Departamento de Boyacá.



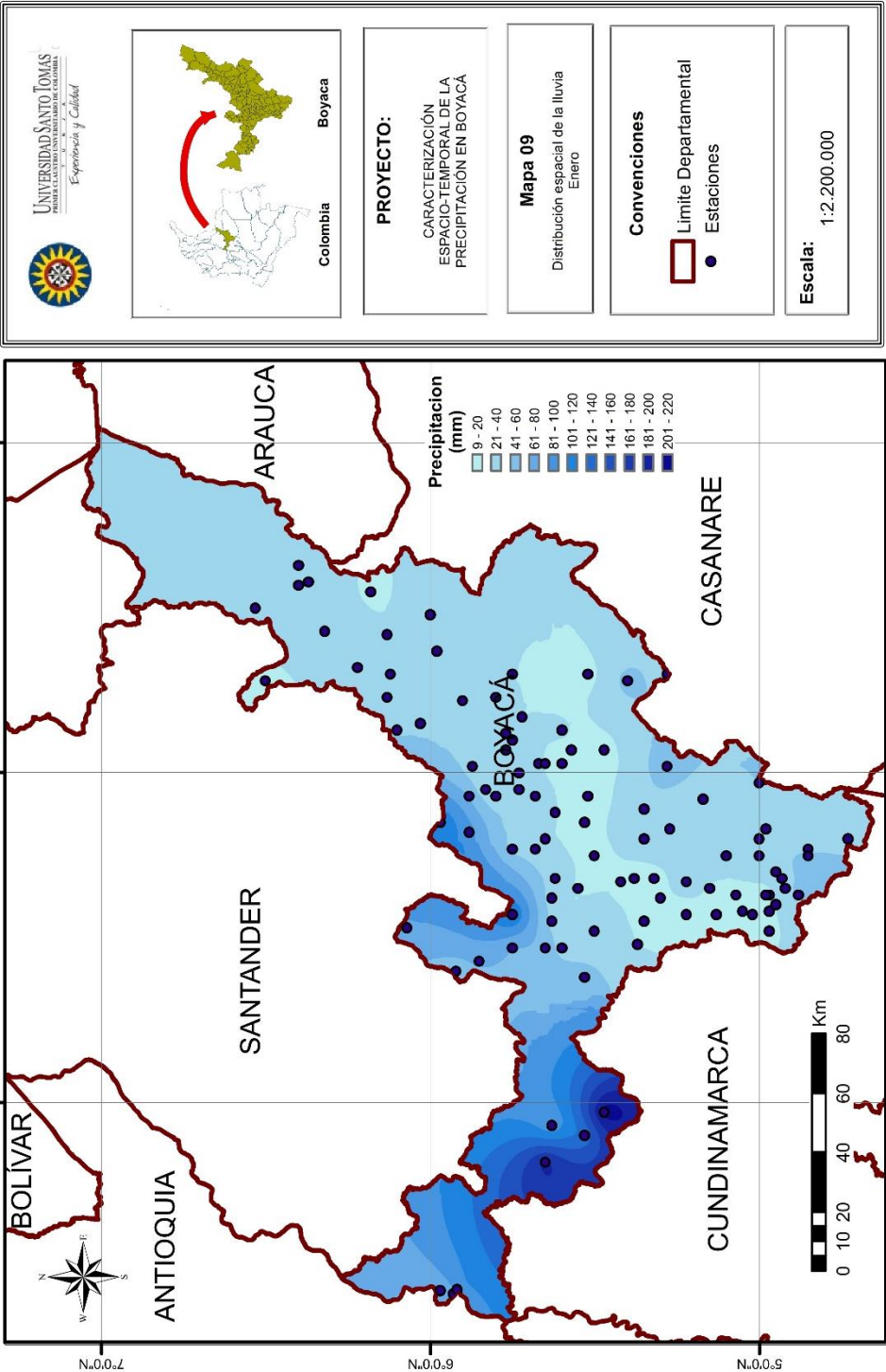
Mapa 7. Orden del Drenaje.



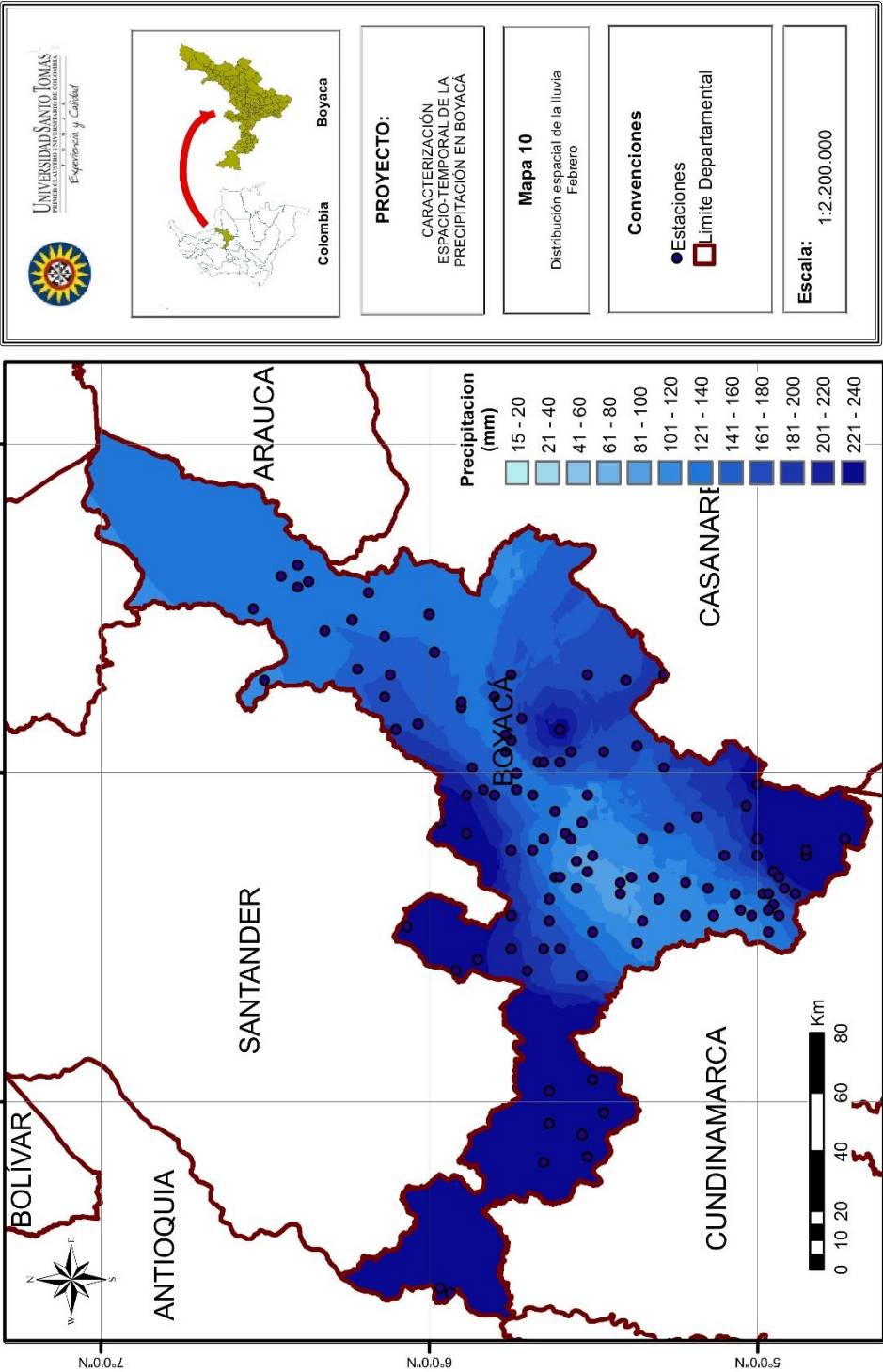
Mapa 8. Red Meteorológica de Boyacá.



Mapa 9. Distribución espacial de la lluvia en el mes de Enero.



Mapa 10. Distribución espacial de la lluvia en el mes de Febrero.



UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS Y AGRARIAS
Experiencia y Calidad

Colombia **Boyaca**

PROYECTO:
CARACTERIZACIÓN ESPACIO-TEMPORAL DE LA PRECIPITACIÓN EN BOYACÁ

Mapa 11
Distribución espacial de la lluvia
Marzo

Convenciones
● Estaciones
□ Limite Departamental

Escala: 1:2.200.000

Precipitación (mm)

38 - 60
61 - 90
91 - 120
121 - 150
151 - 180
181 - 210
211 - 240
241 - 270
271 - 300

BOYACÁ

ARAUCA

CASANARE

SANTANDER

CUNDINAMARCA

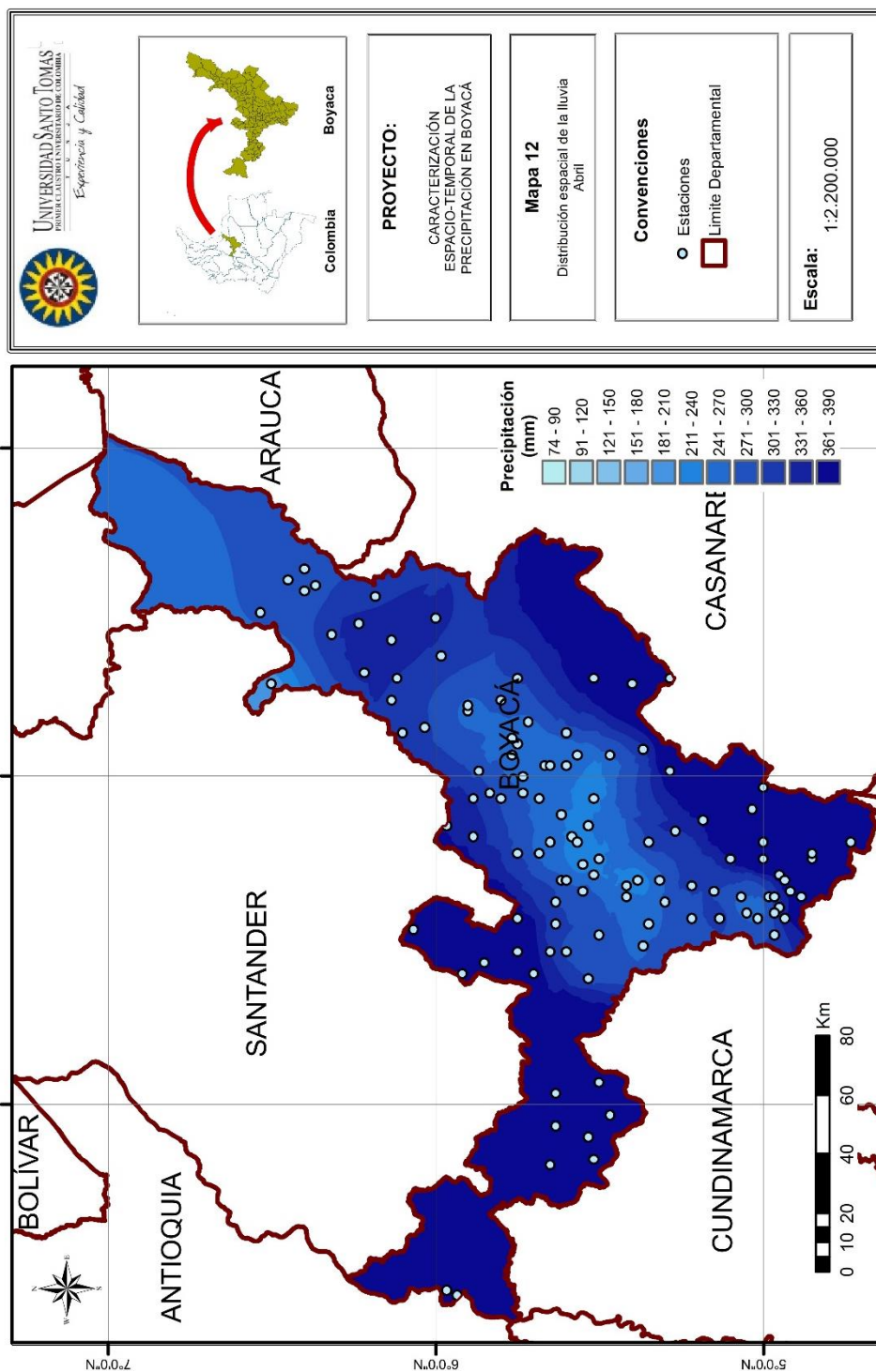
ANTIOQUIA

BOLÍVAR

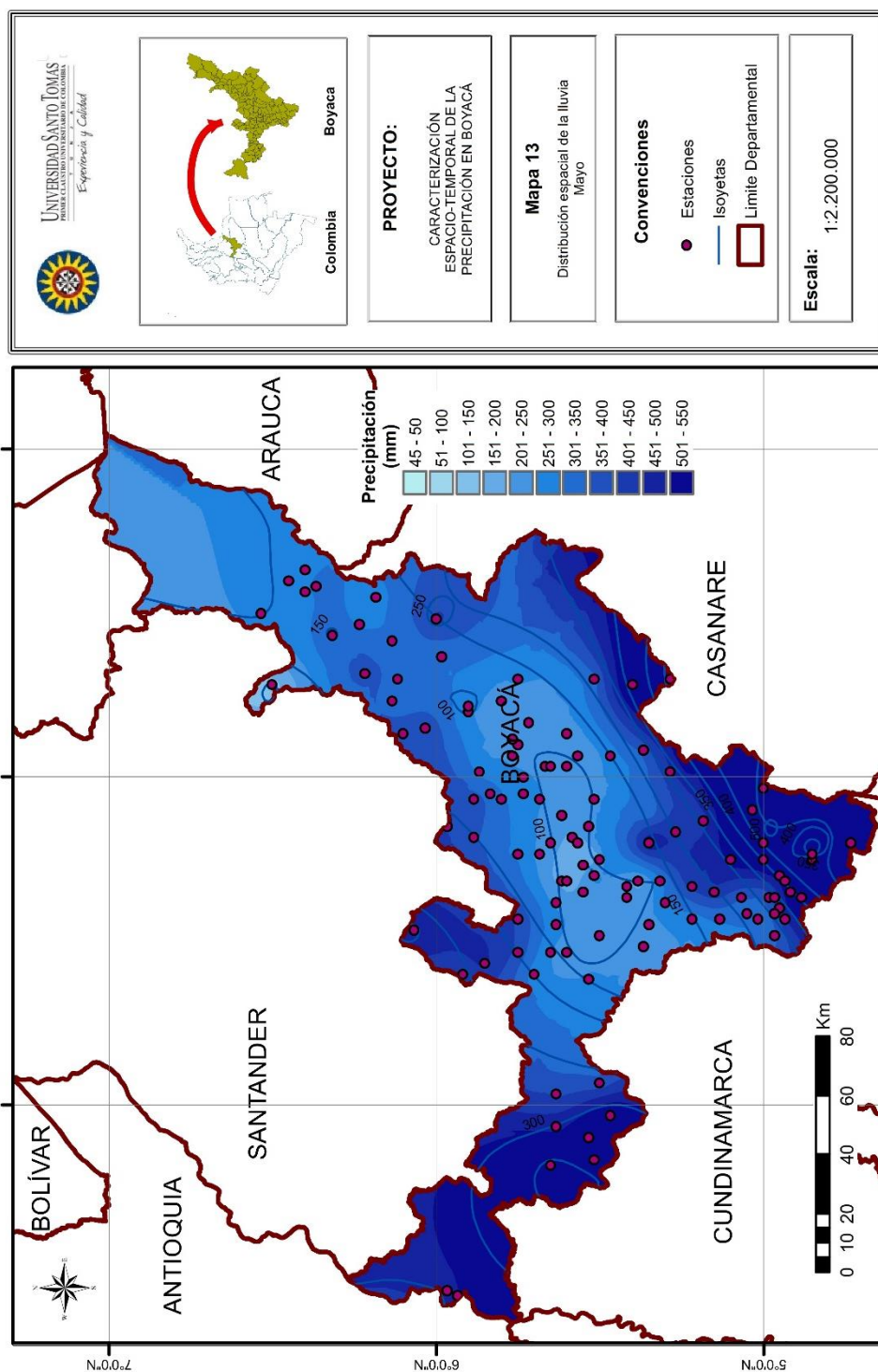
0 10 20 40 60 80 Km

N.0.0.7 N.0.0.9 S.0.0.5

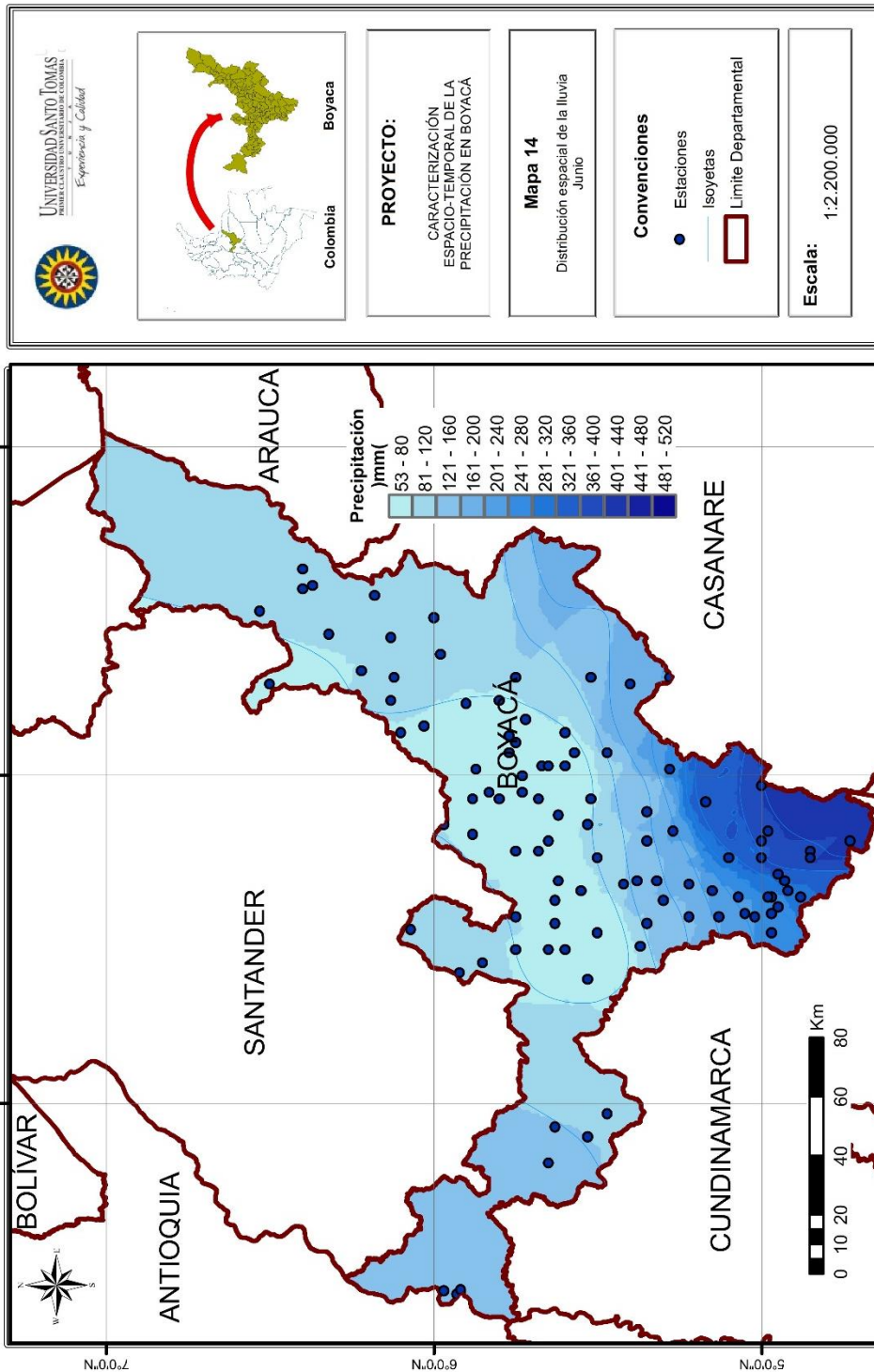
Mapa 12. Distribución espacial de la lluvia en el mes de Abril.



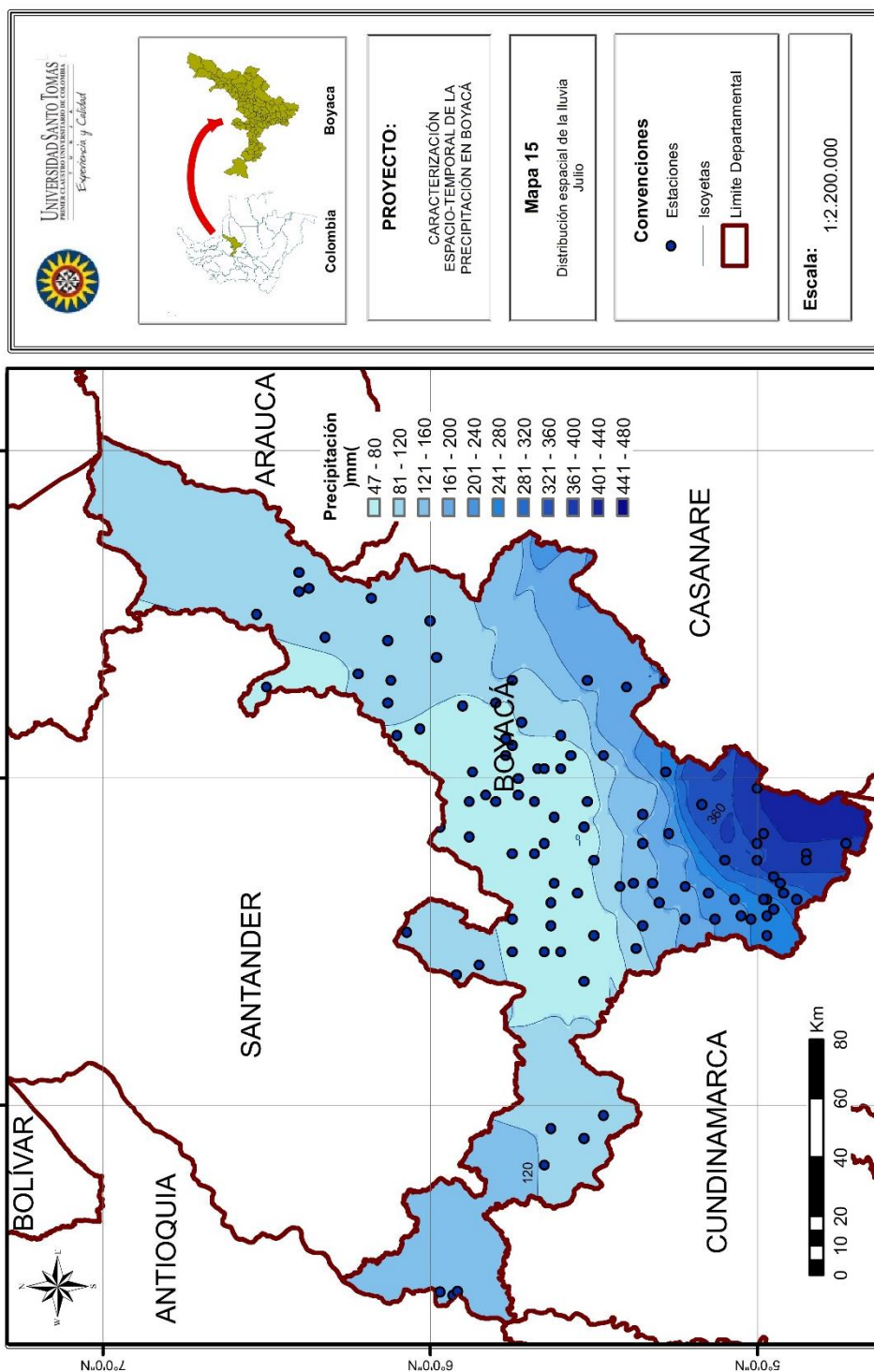
Mapa 13. Distribución espacial de la lluvia en el mes de Mayo.



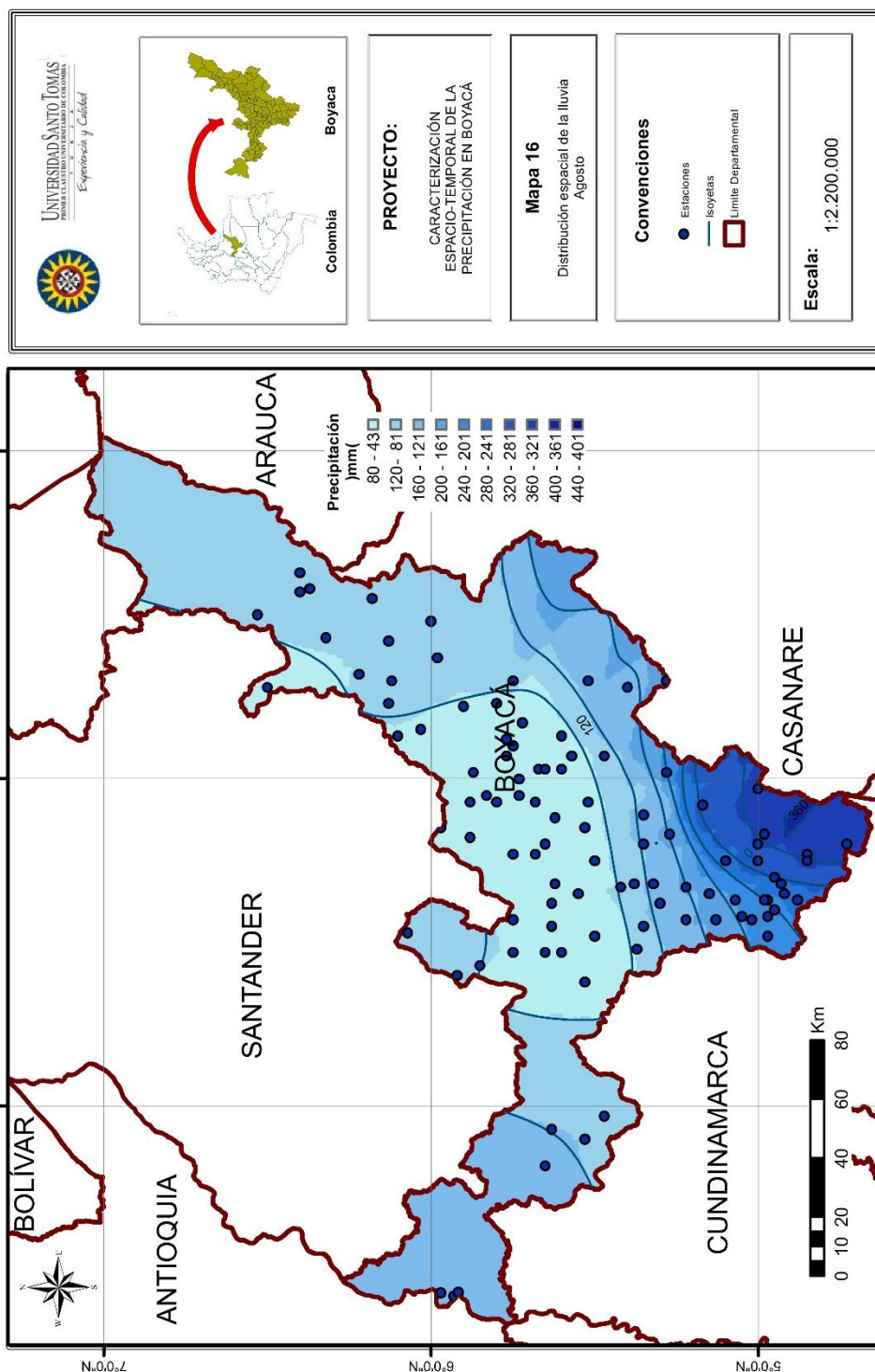
Mapa 14. Distribución espacial de la lluvia en el mes de Junio.



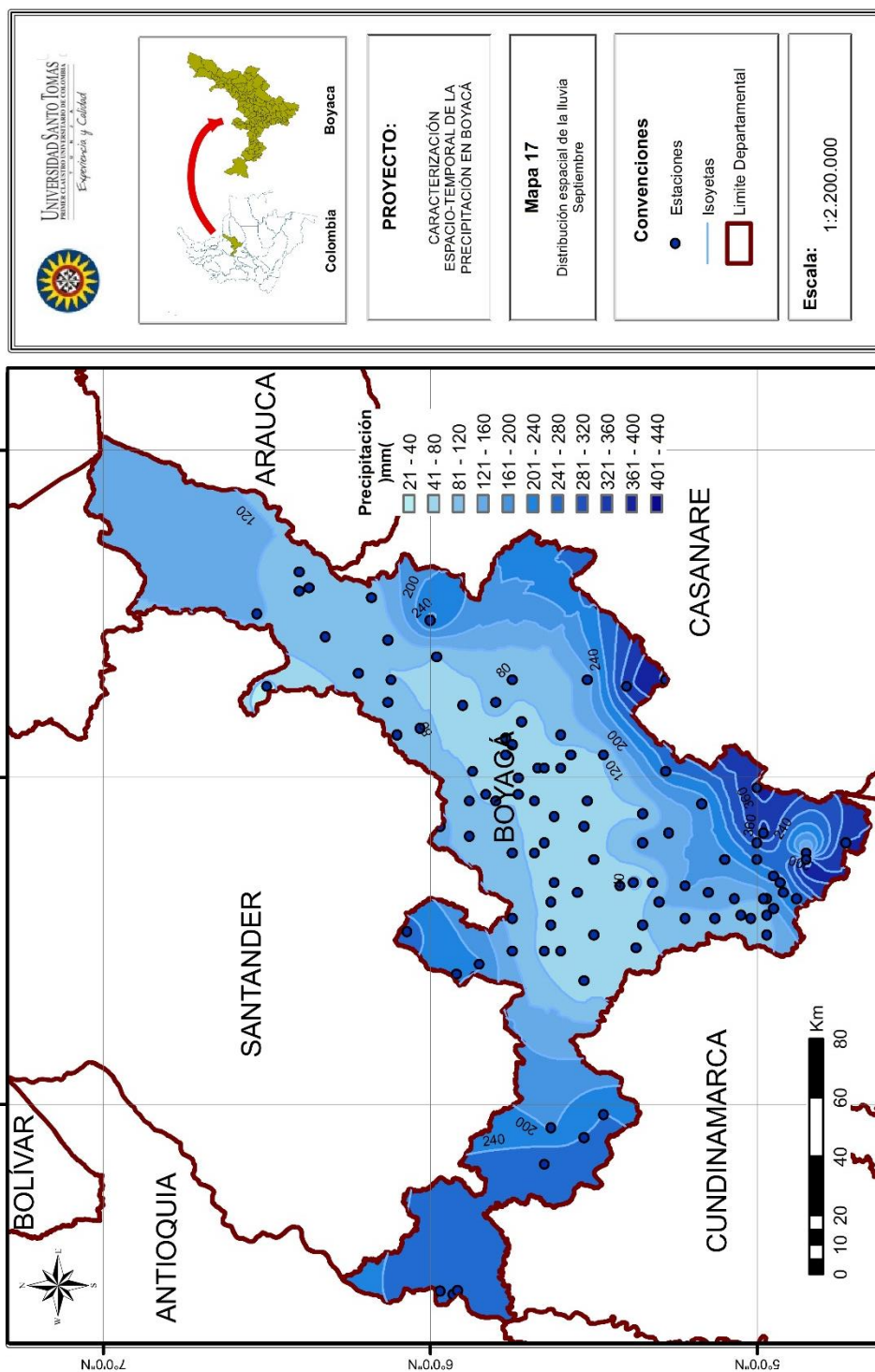
Mapa 15. Distribución espacial de la lluvia en el mes de Julio.



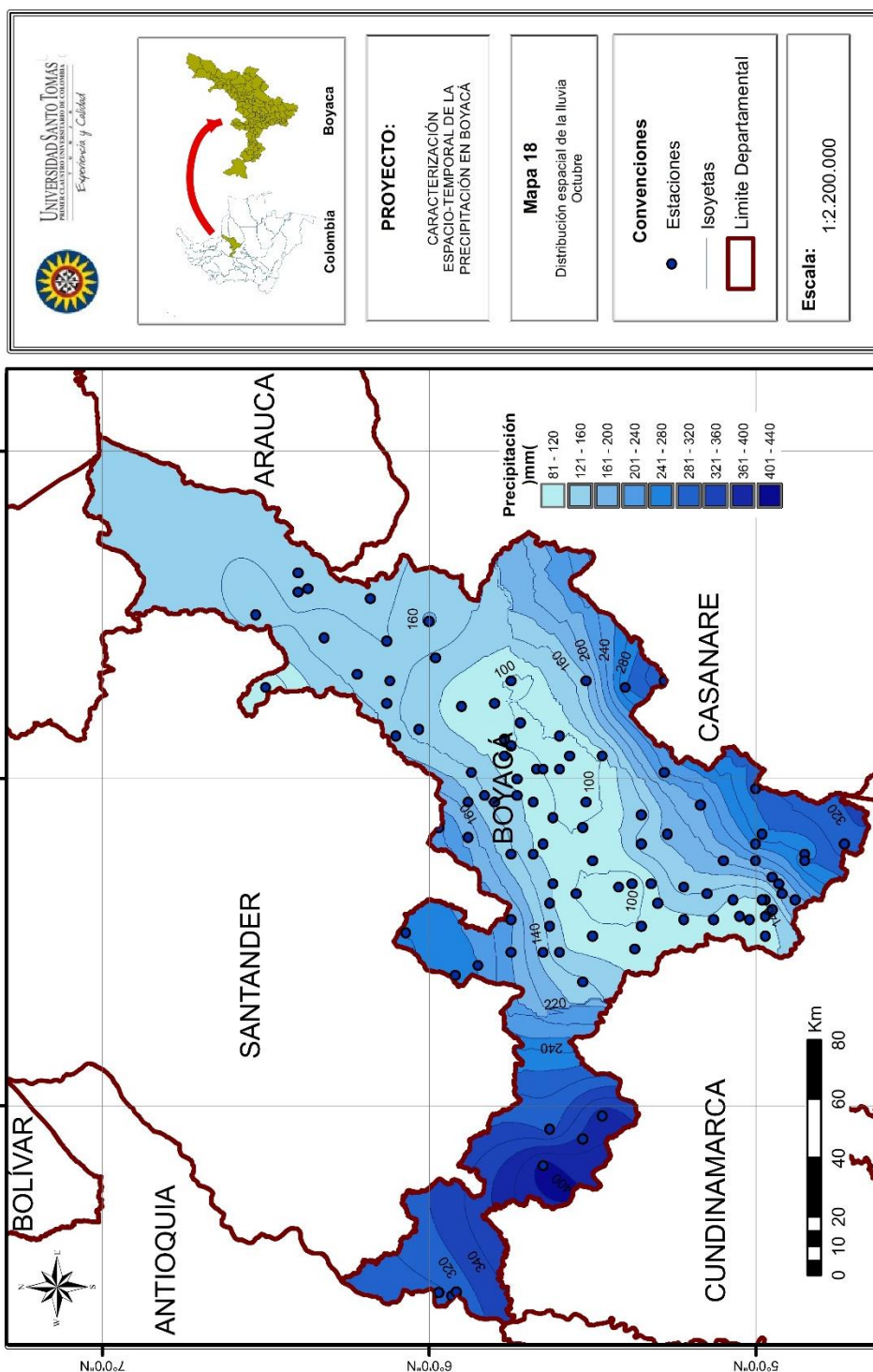
Mapa 16. Distribución espacial de la lluvia en el mes de Agosto.



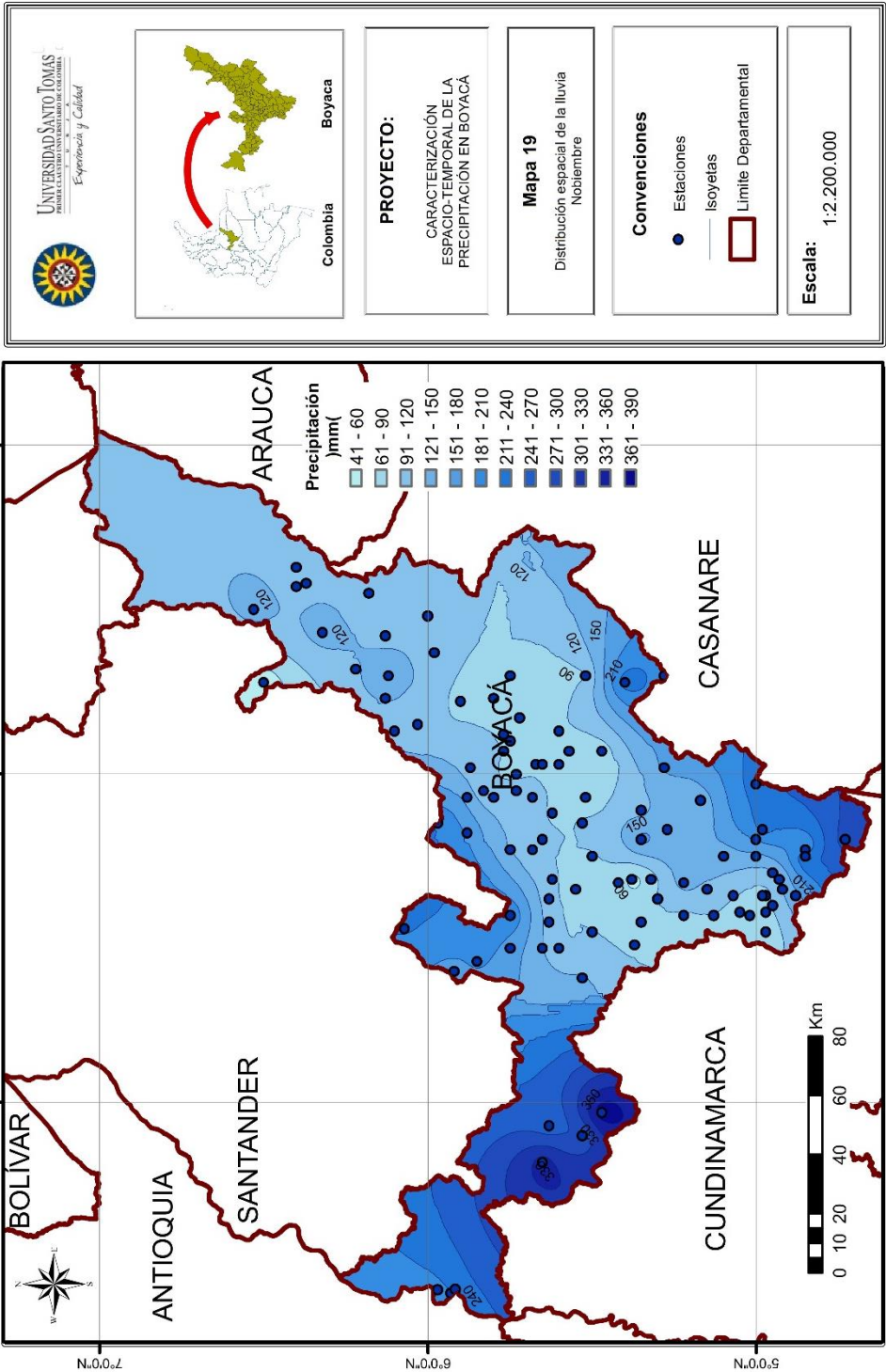
Mapa 17. Distribución espacial de la lluvia en el mes de Septiembre.



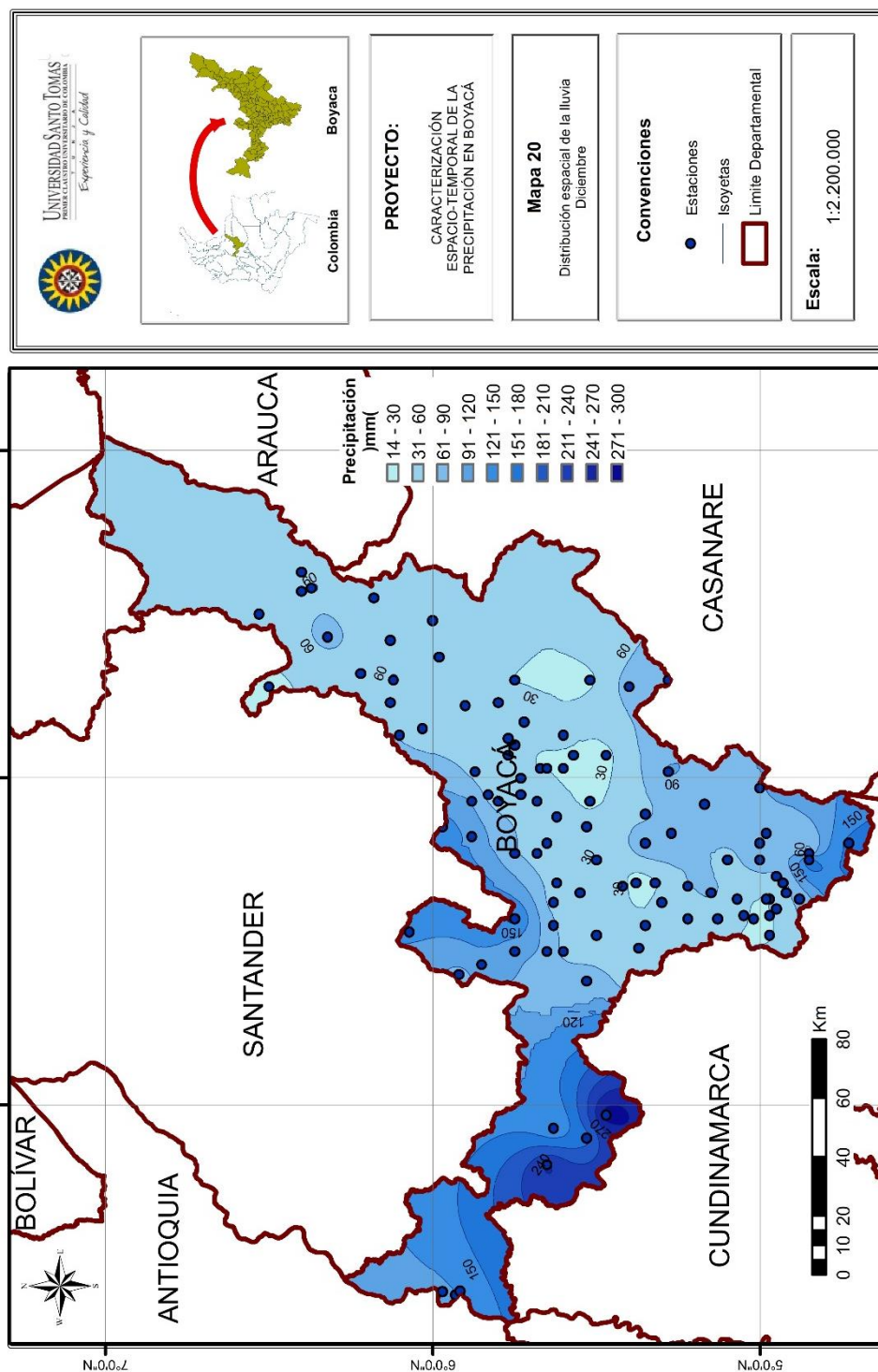
Mapa 18. Distribución espacial de la lluvia en el mes de Octubre.



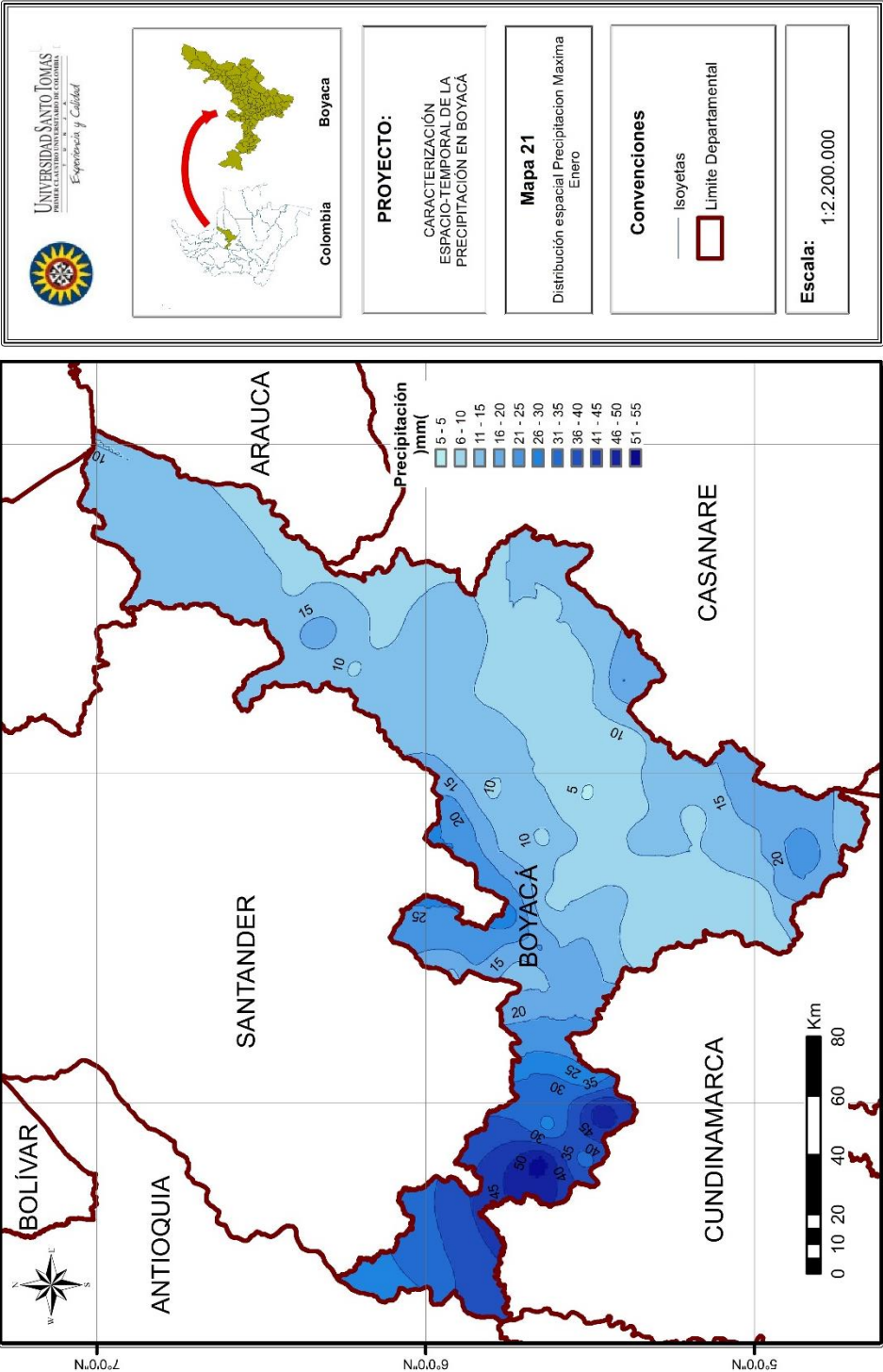
Mapa 19. Distribución espacial de la lluvia en el mes de Noviembre.



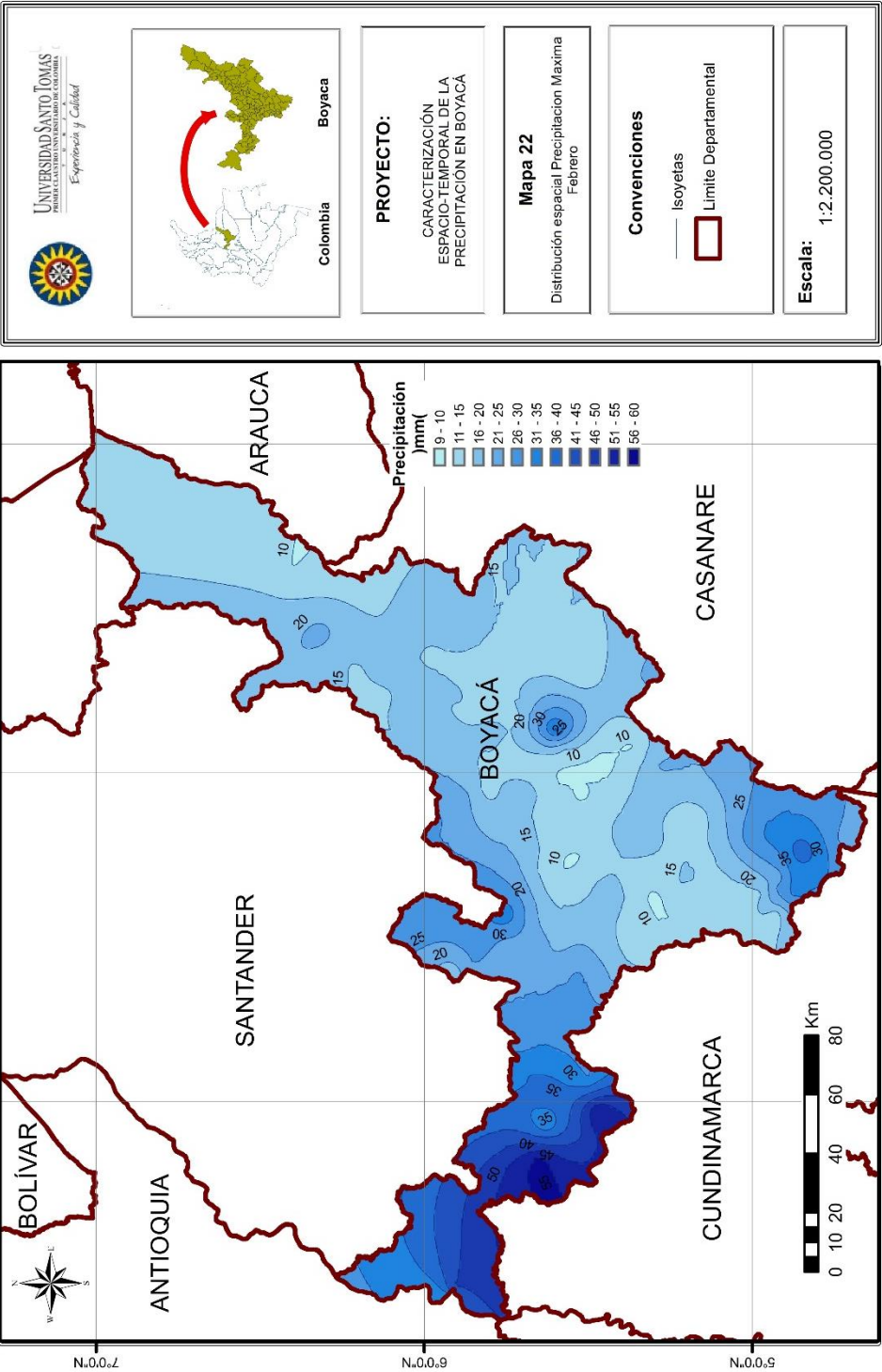
Mapa 20. Distribución espacial de la lluvia en el mes de Diciembre.



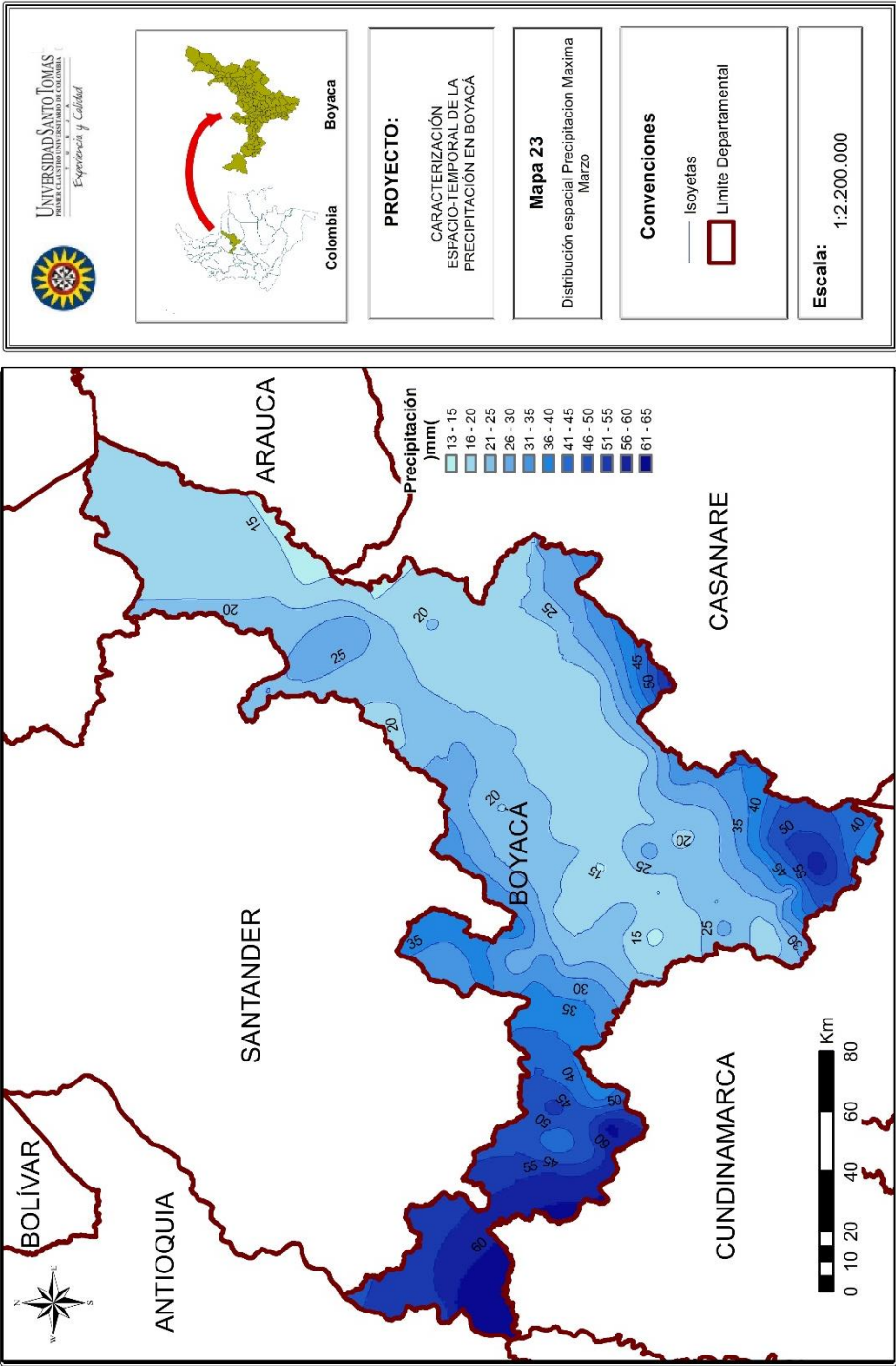
Mapa 21. Distribución espacial de la precipitación máxima media de Enero.



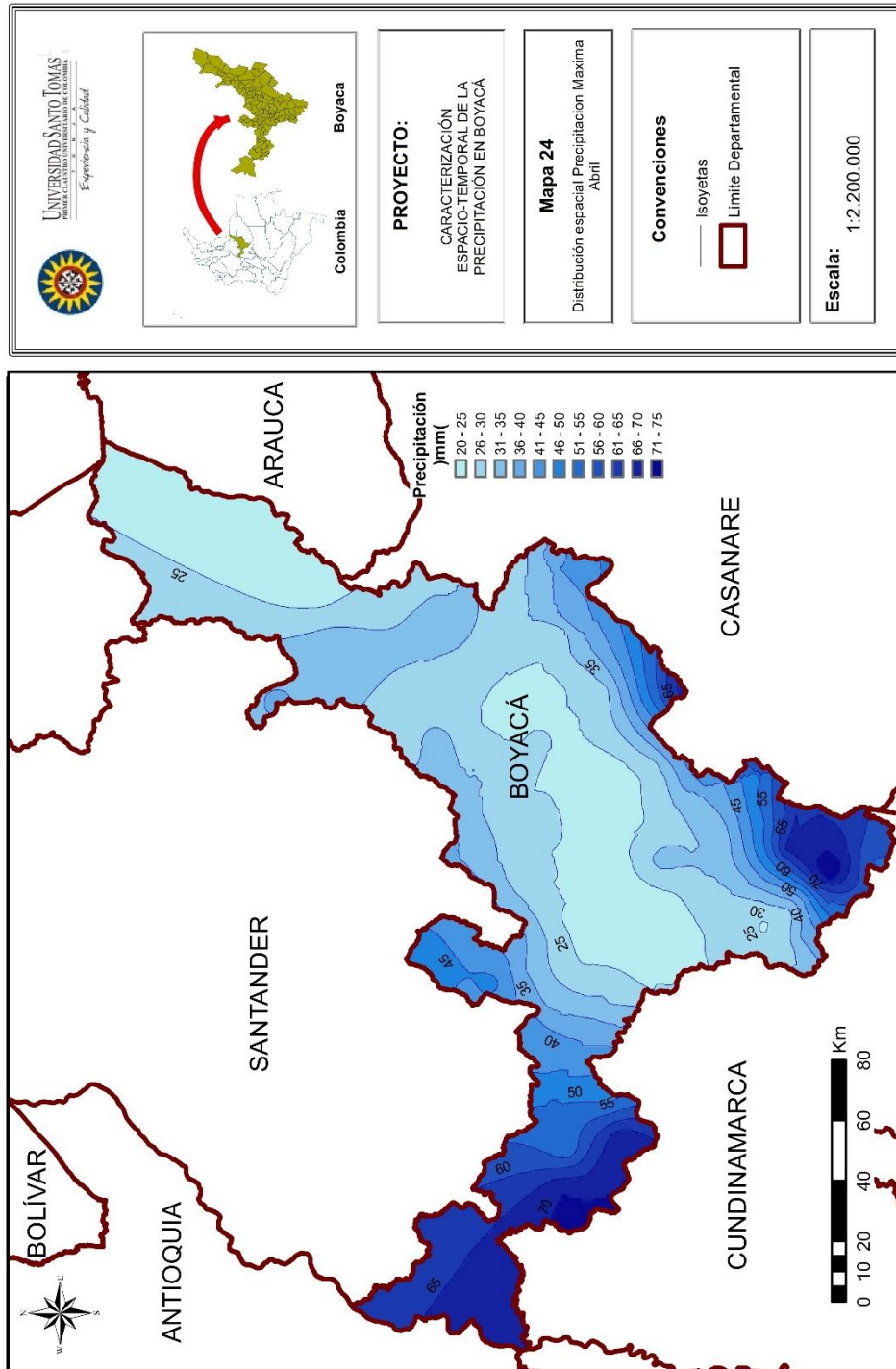
Mapa 22. Distribución espacial de la precipitación máxima media de Febrero.



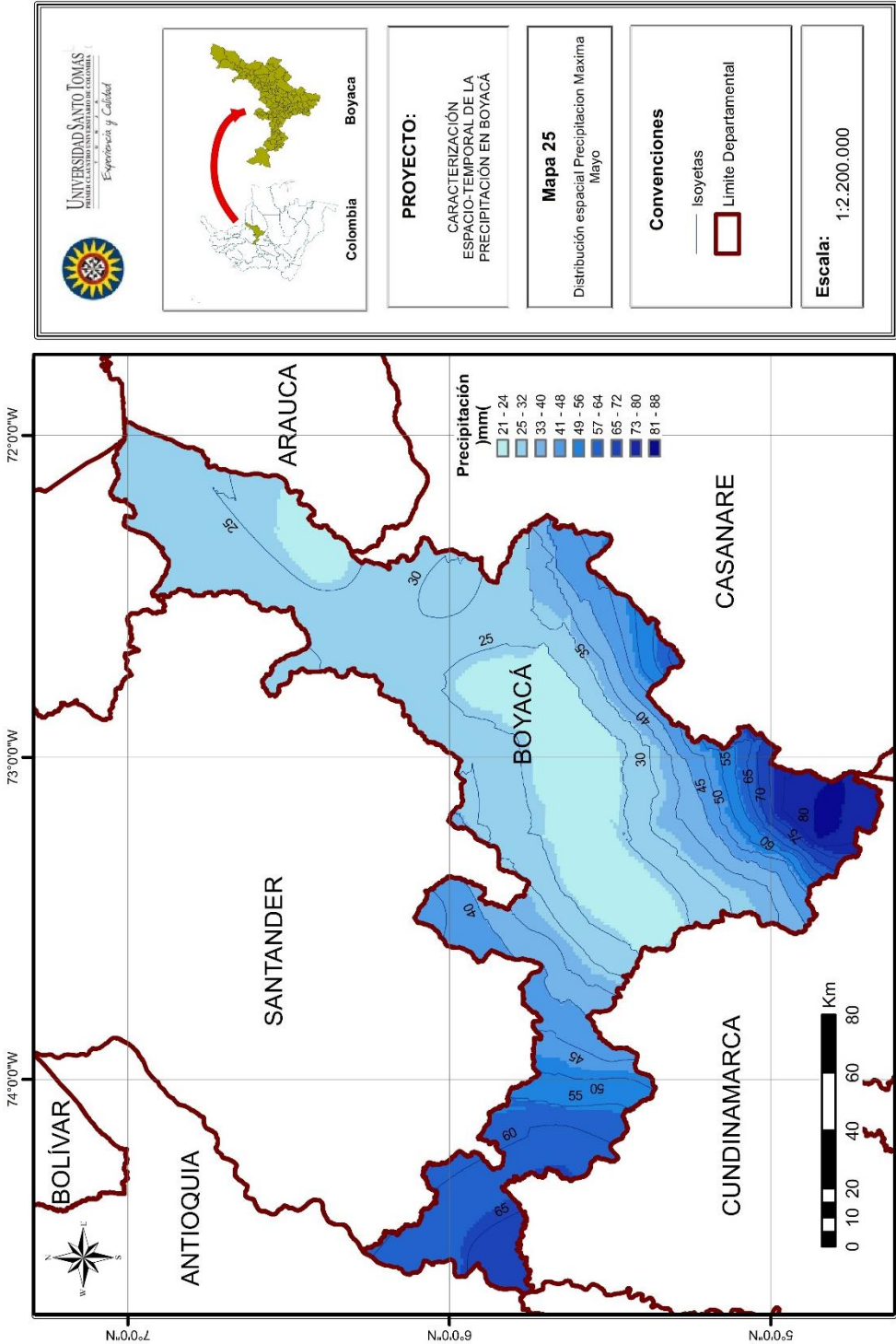
Mapa 23. Distribución espacial de la precipitación máxima media Marzo.



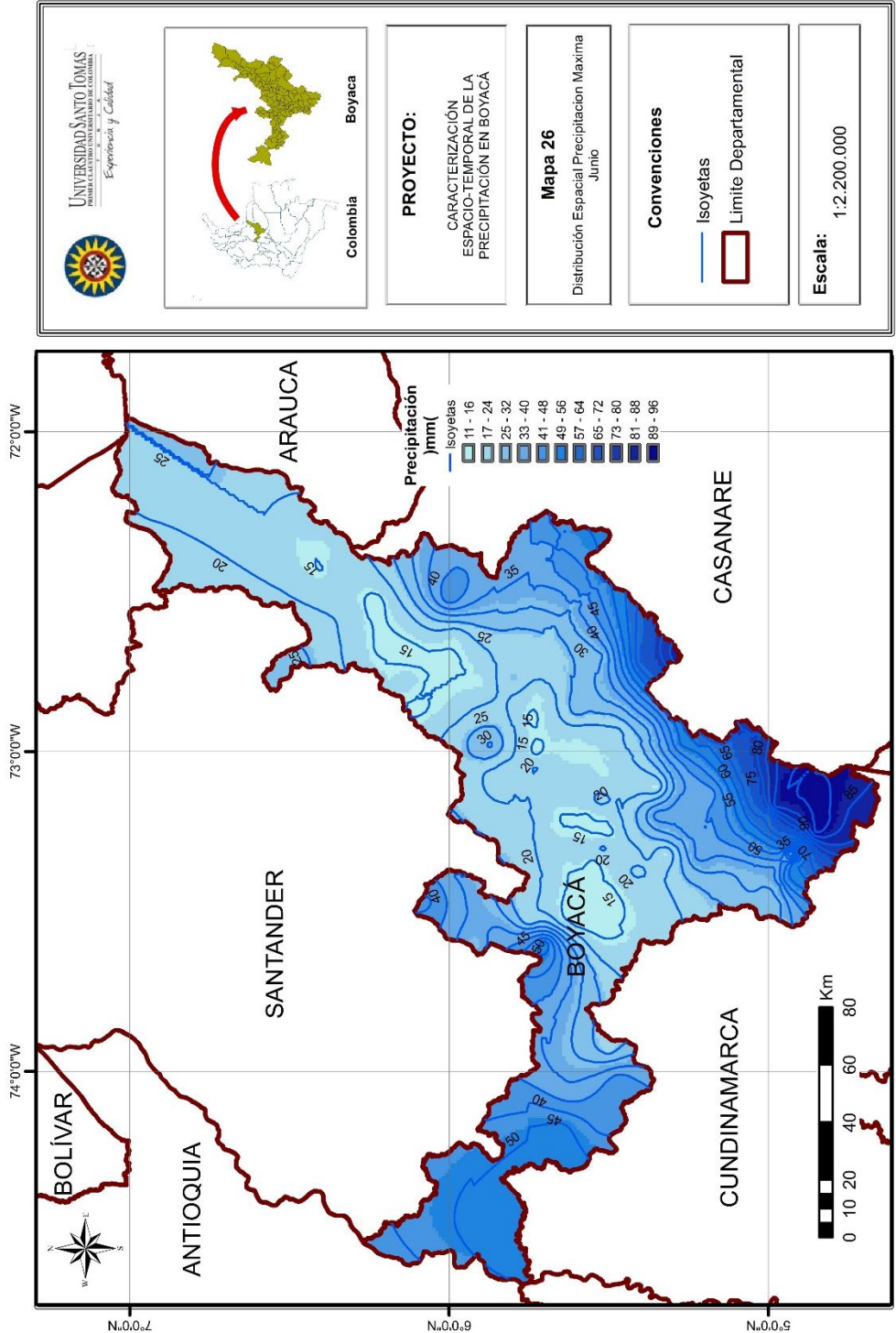
Mapa 24. Distribución espacial de la precipitación máxima media de Abril.



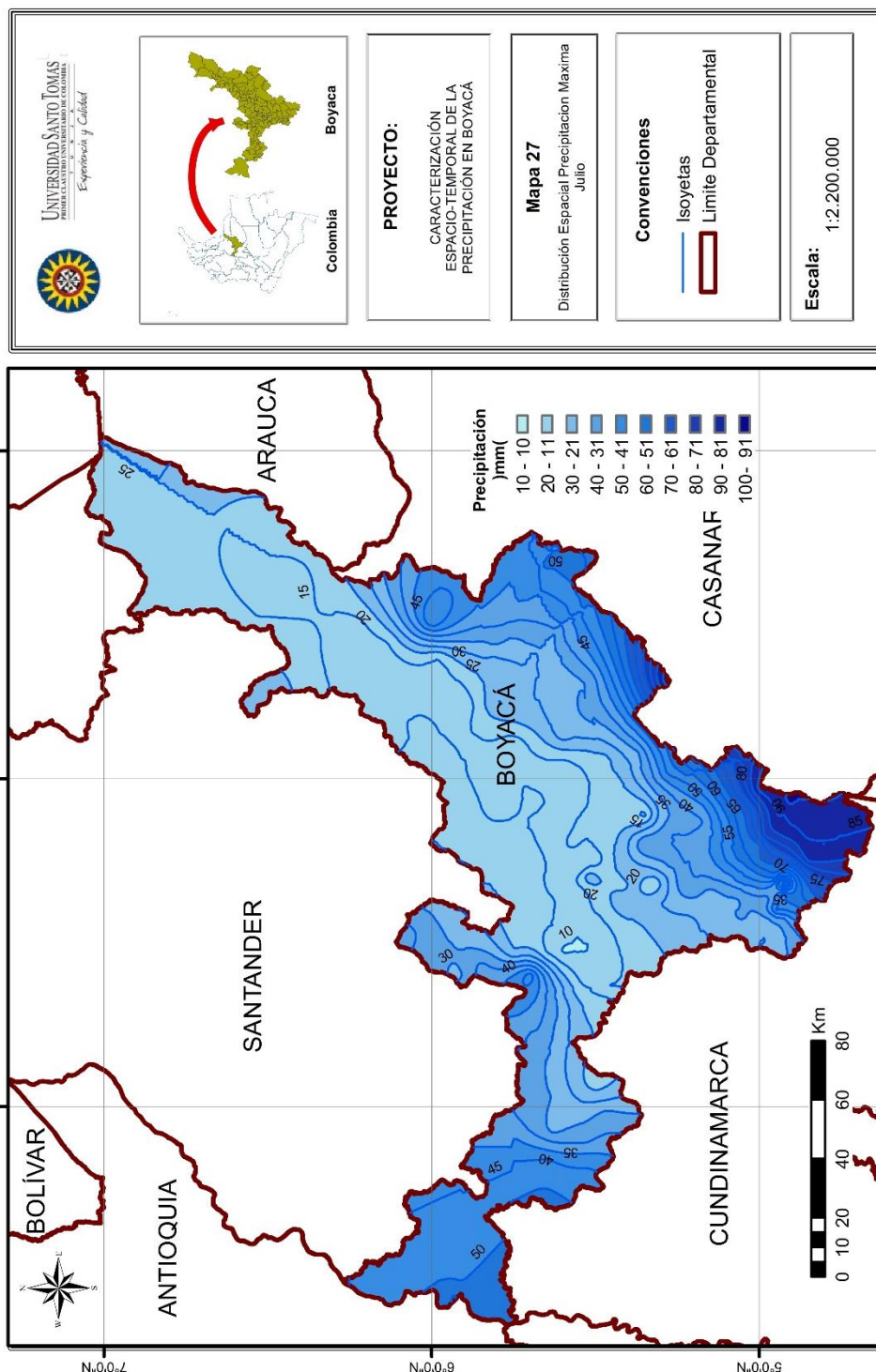
Mapa 25. Distribución espacial de la precipitación máxima media de Mayo.



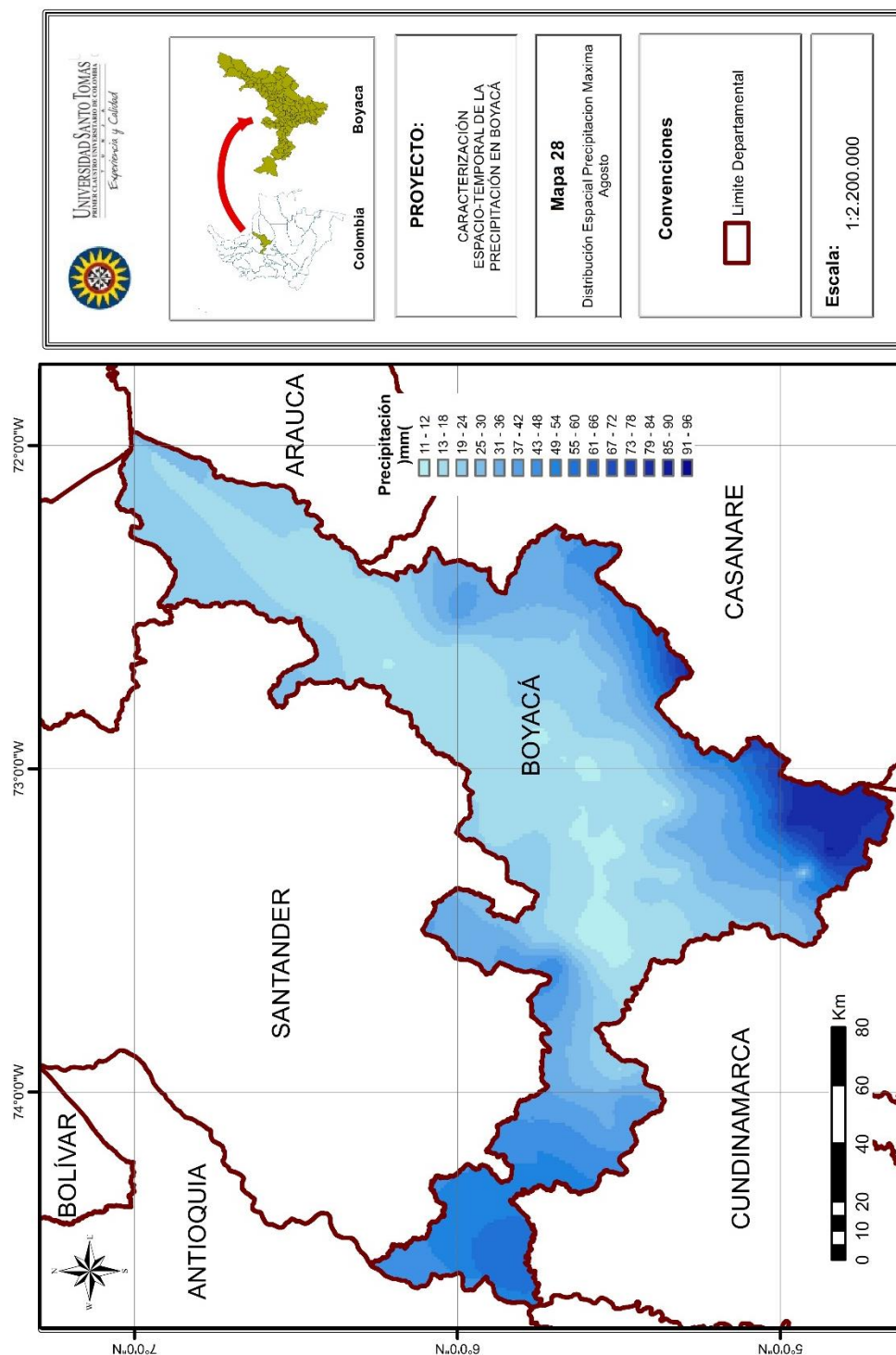
Mapa 26. Distribución espacial de la precipitación máxima media de Junio.



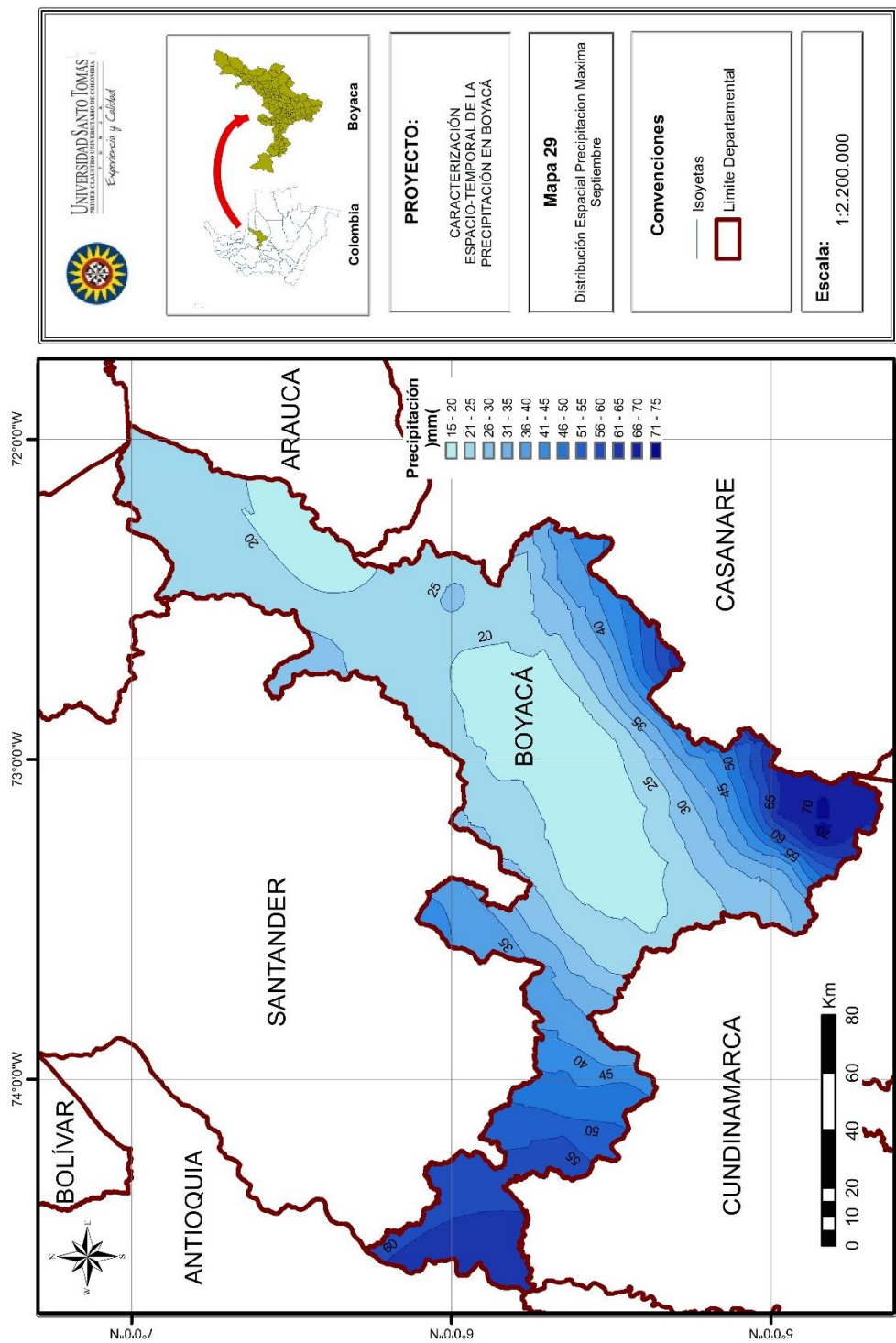
Mapa 27. Distribución espacial de la precipitación máxima media de Julio.



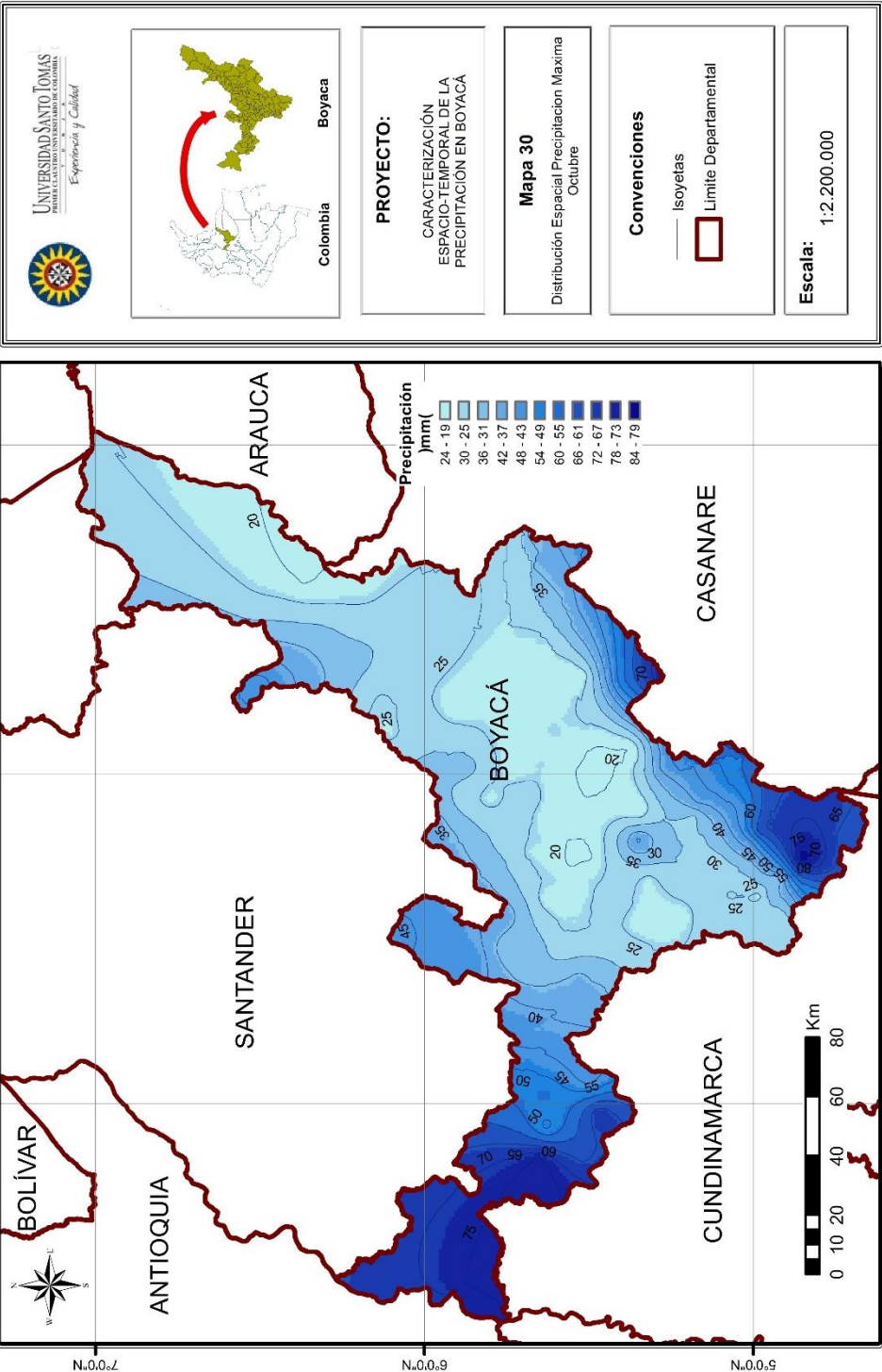
Mapa 28. Distribución espacial de la precipitación máxima media de Agosto.



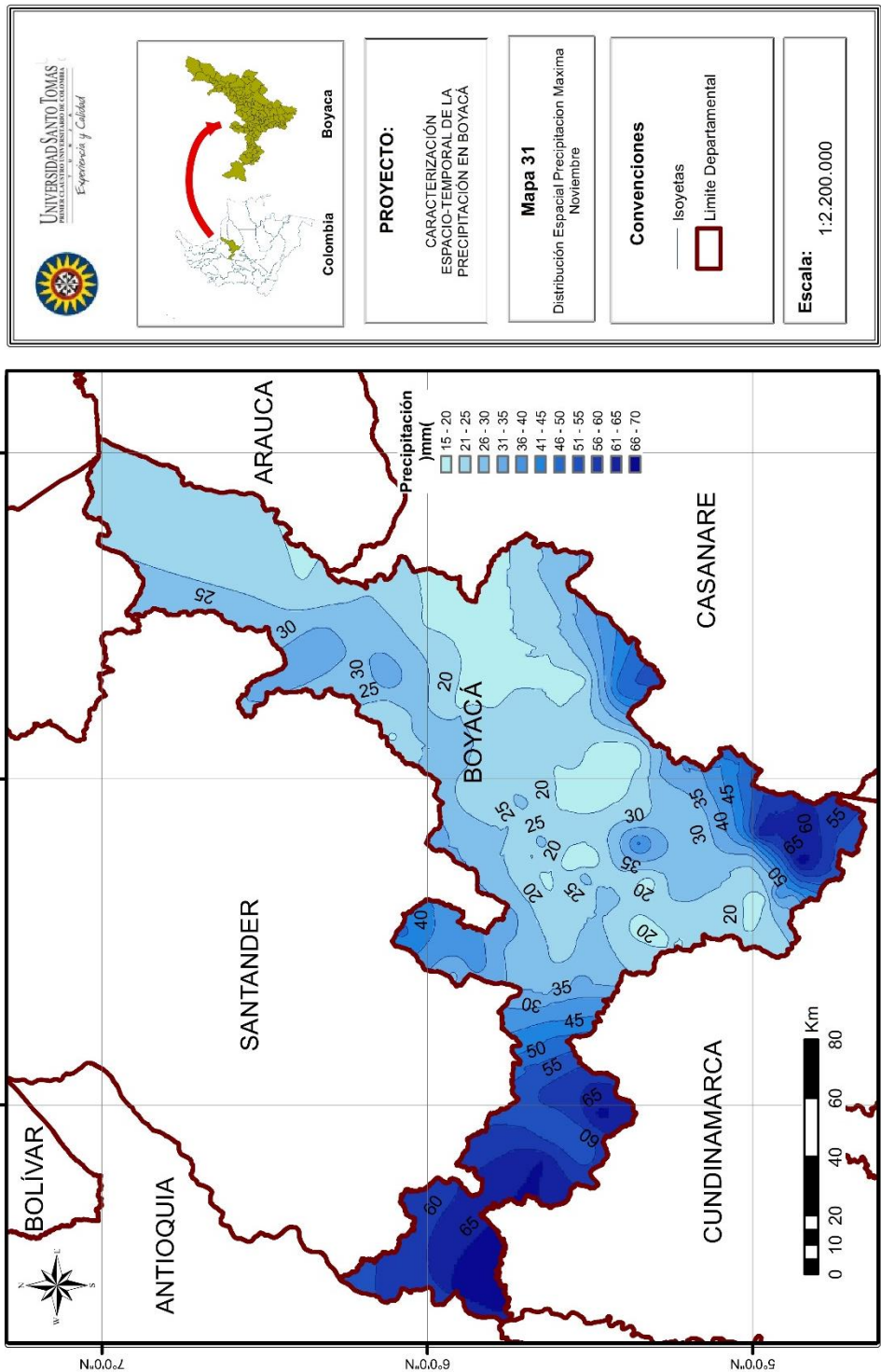
Mapa 29. Distribución espacial de la precipitación máxima media de Septiembre.



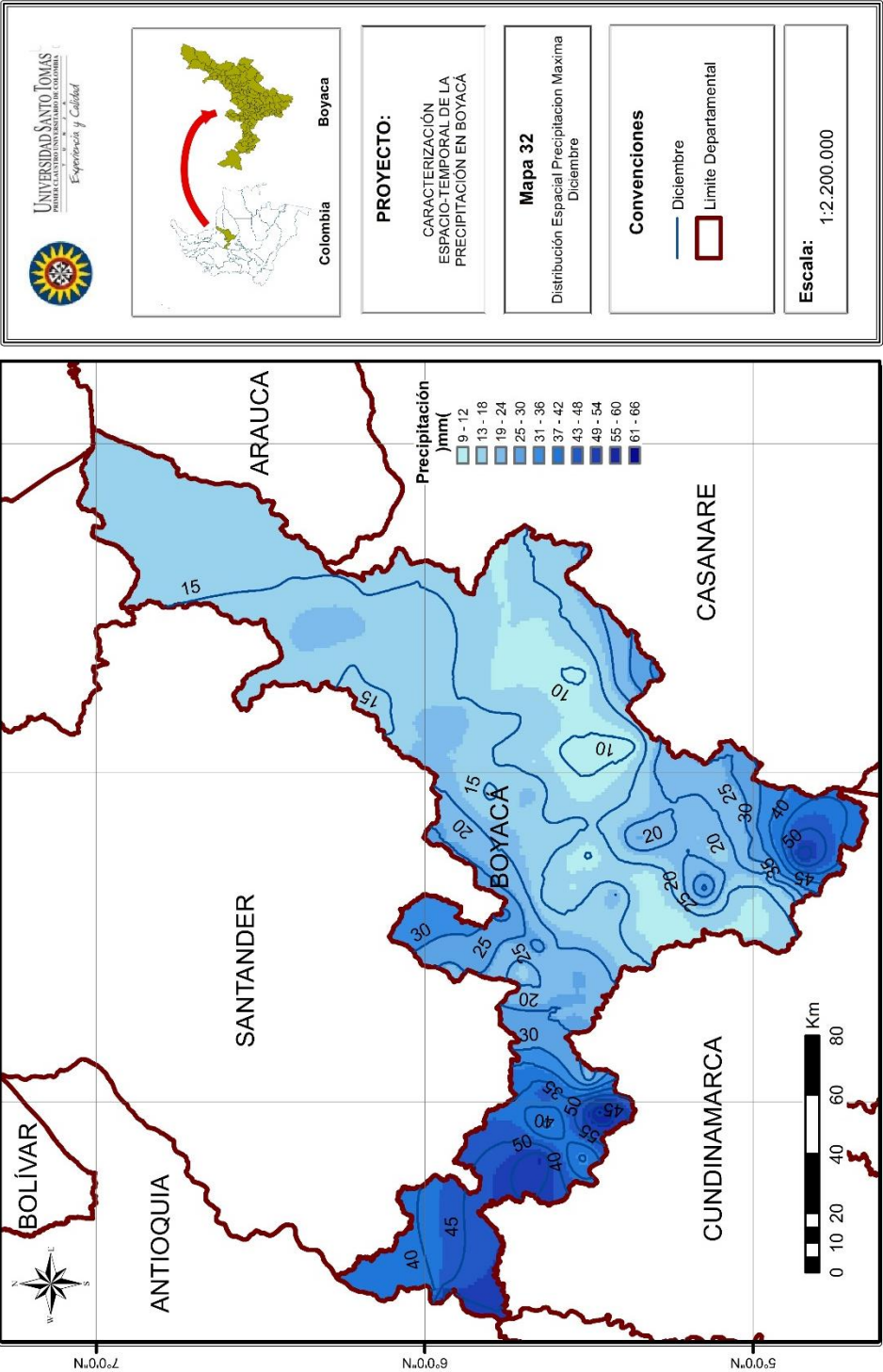
Mapa 30. Distribución espacial de la precipitación máxima media de Octubre.



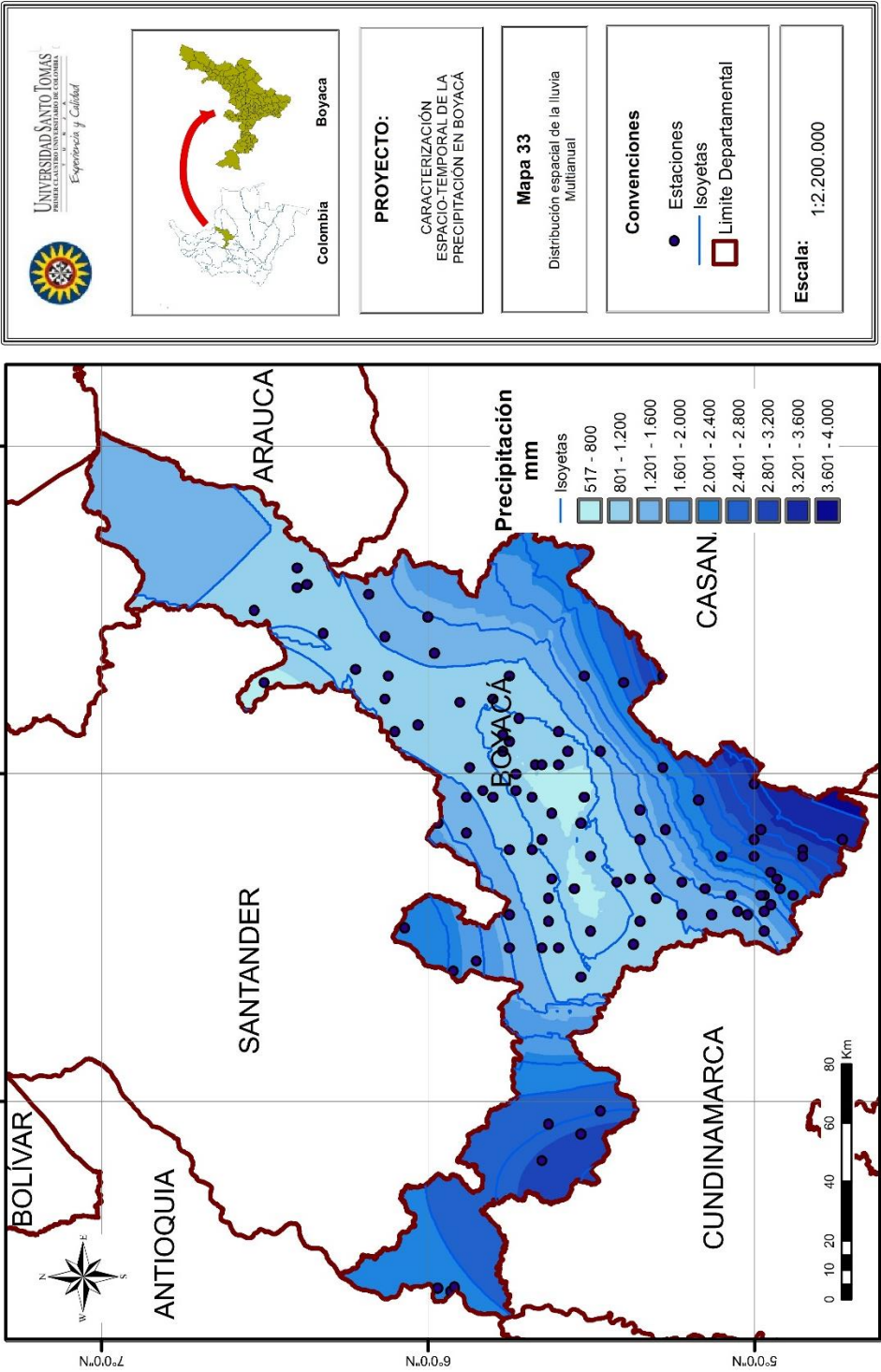
Mapa 31. Distribución espacial de la precipitación máxima media de Noviembre.



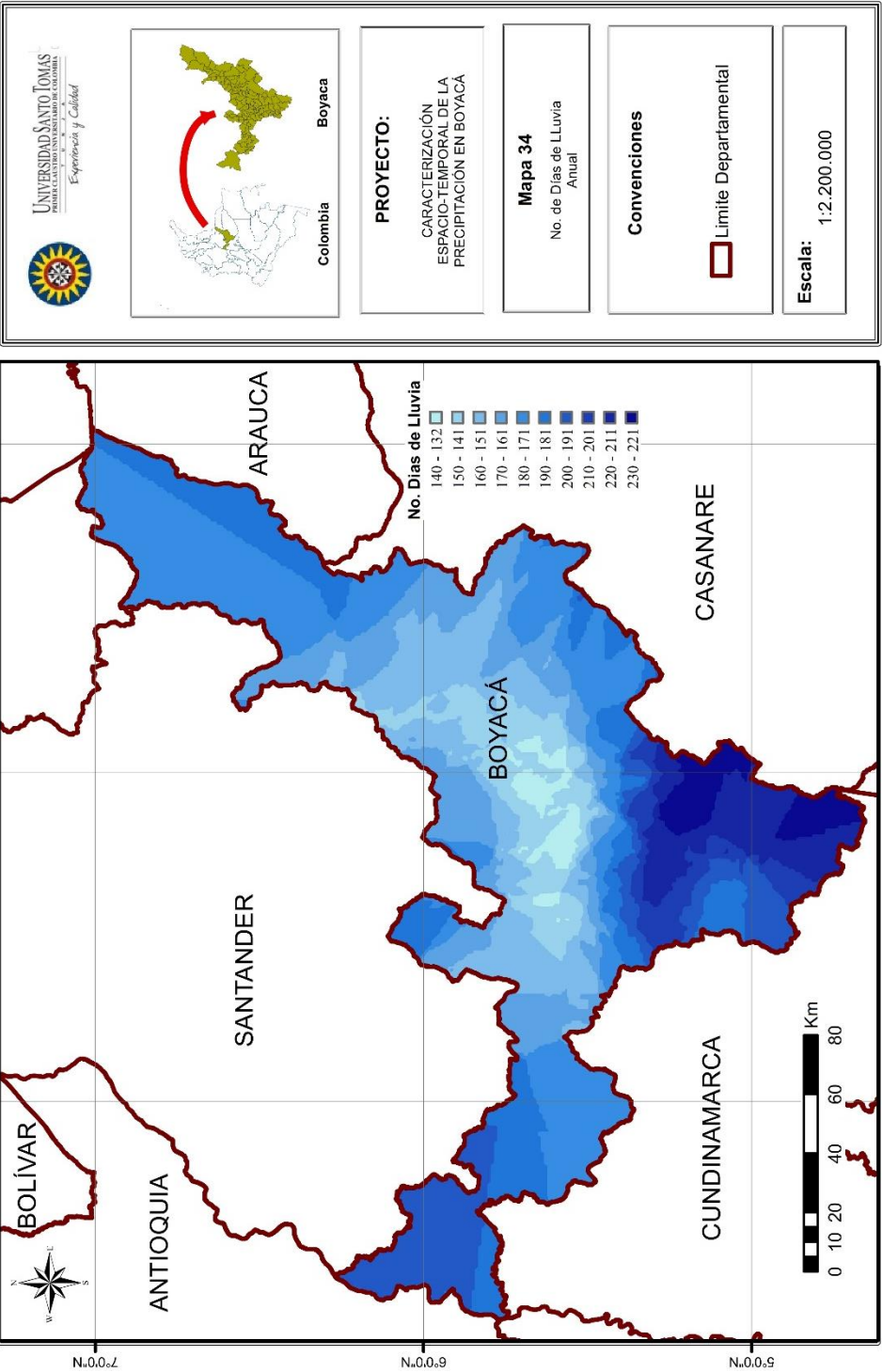
Mapa 32. Distribución espacial de la precipitación máxima media de Diciembre.



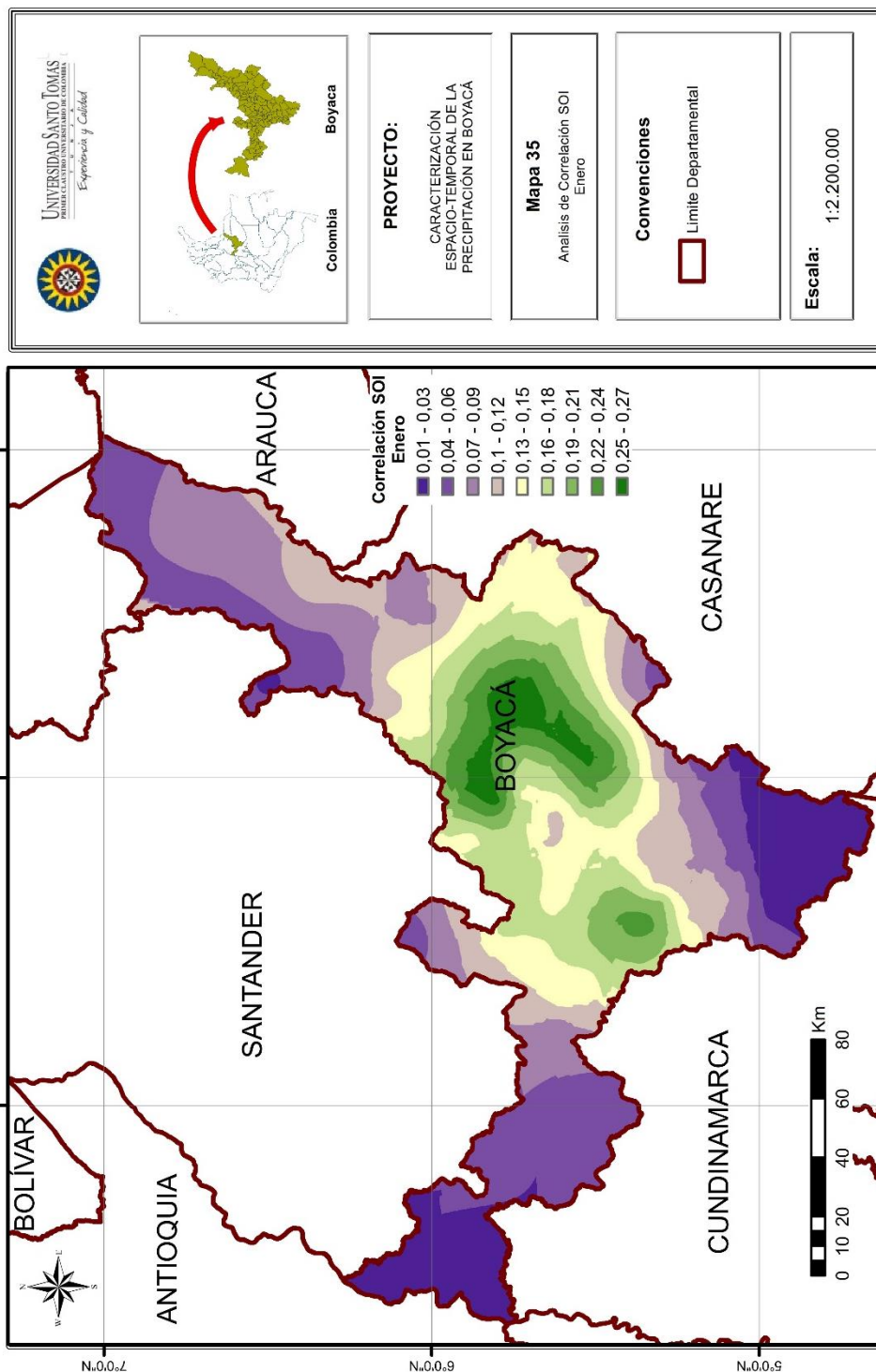
Mapa 33. Distribución espacial de la precipitación anual.



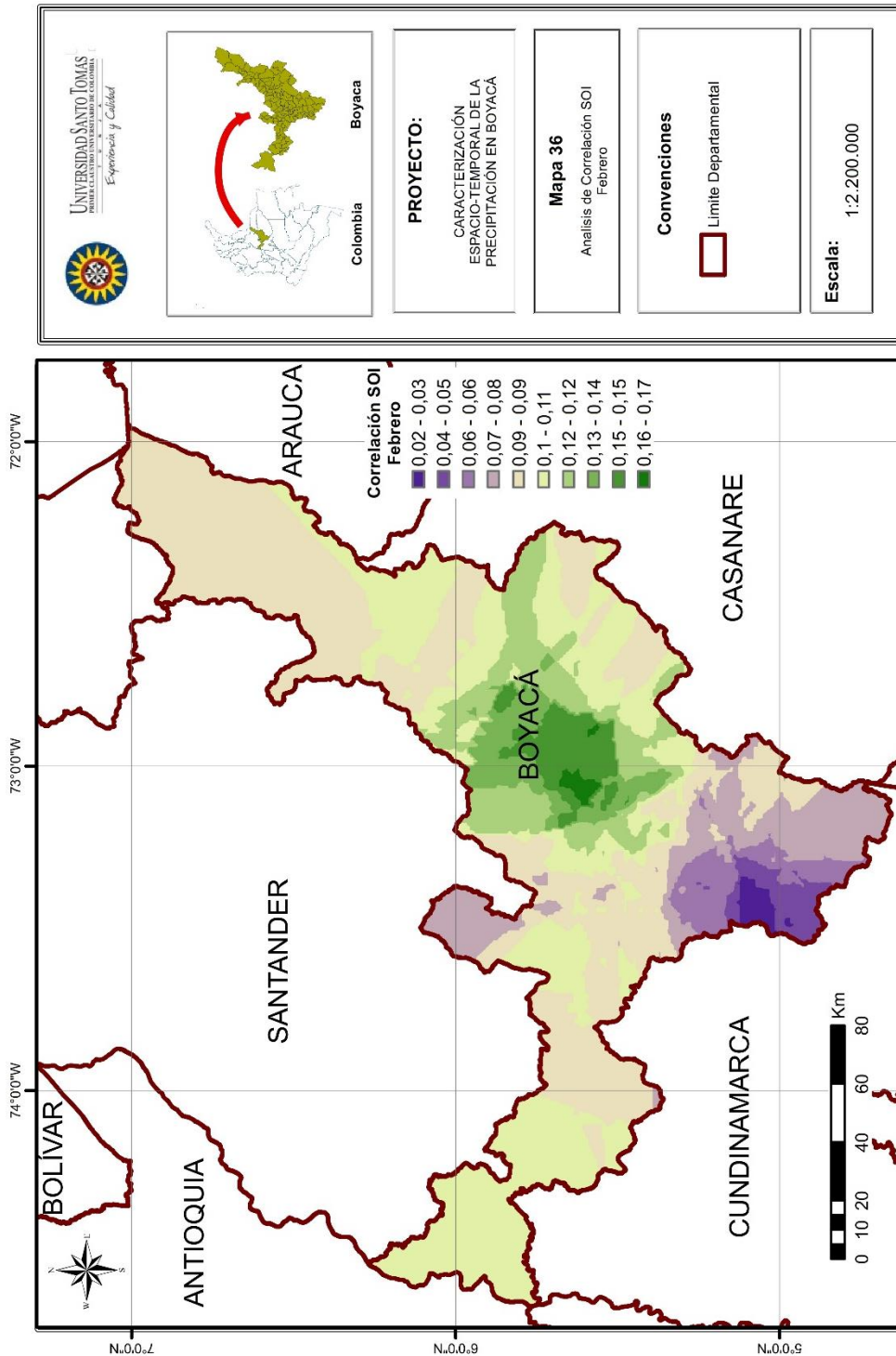
Mapa 34. Distribución espacial del número de días de lluvias anuales.



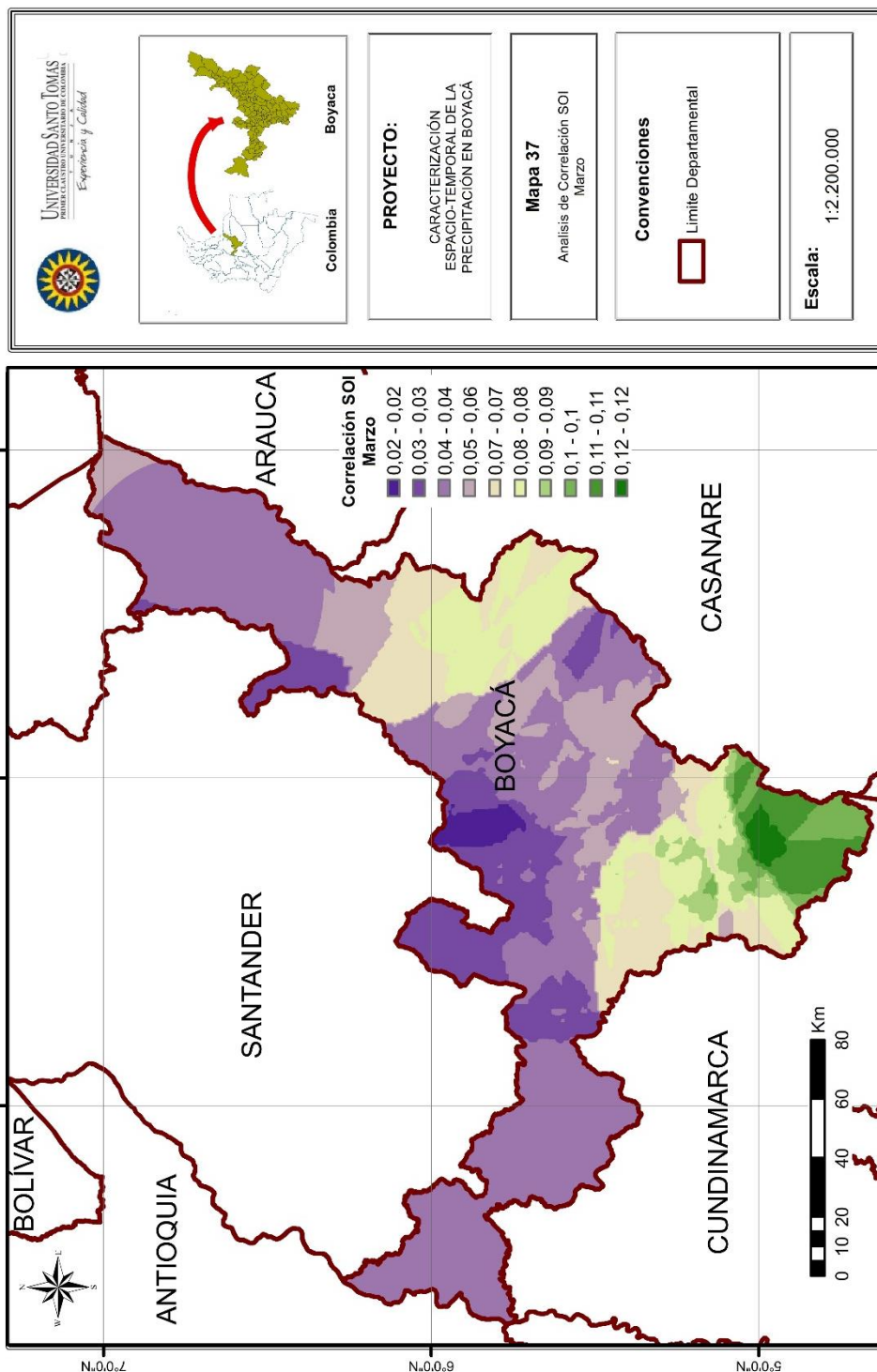
Mapa 35. Correlación SOI – Precipitación Enero



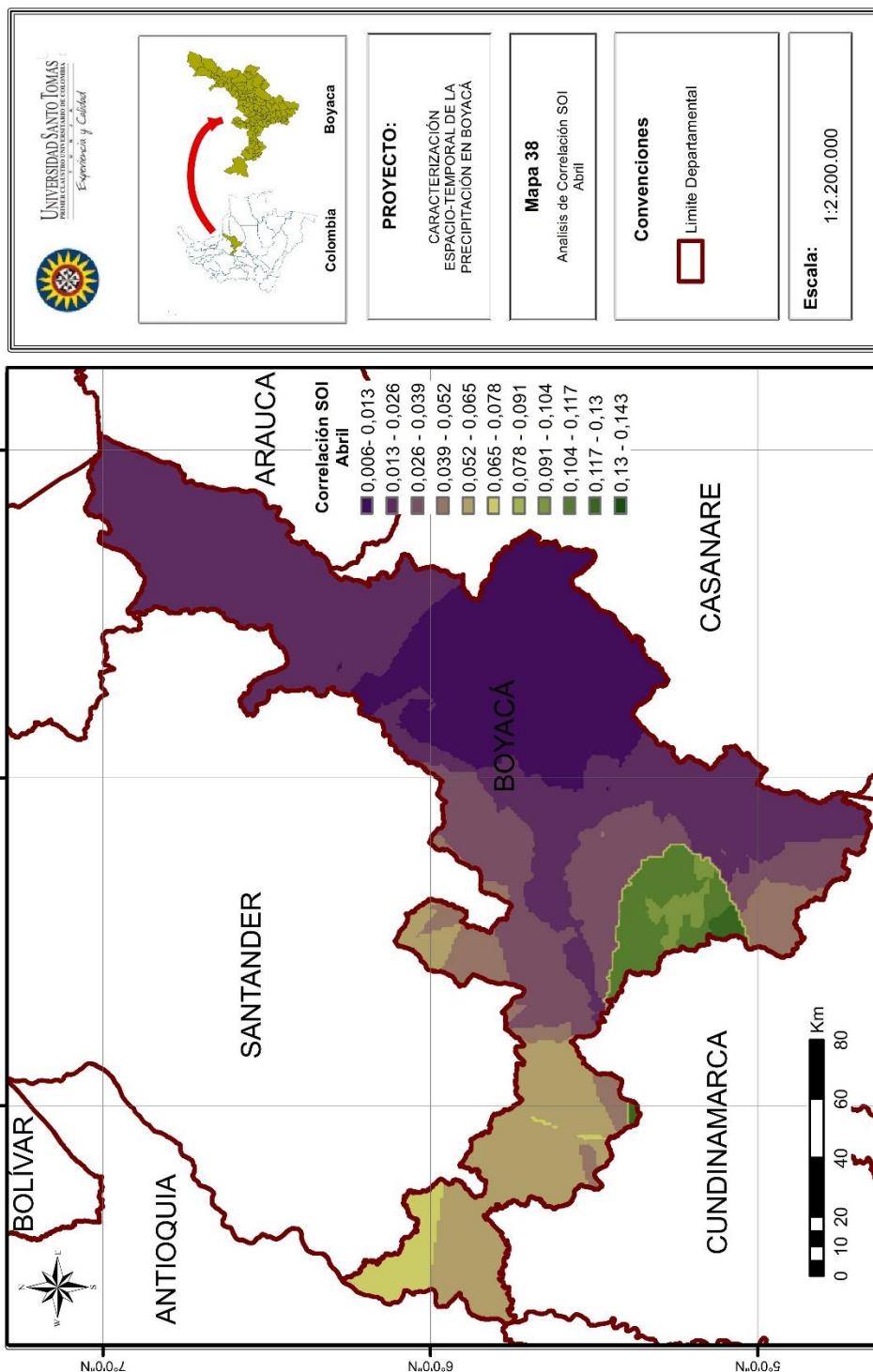
Mapa 36. Correlación SOI – Precipitación Febrero



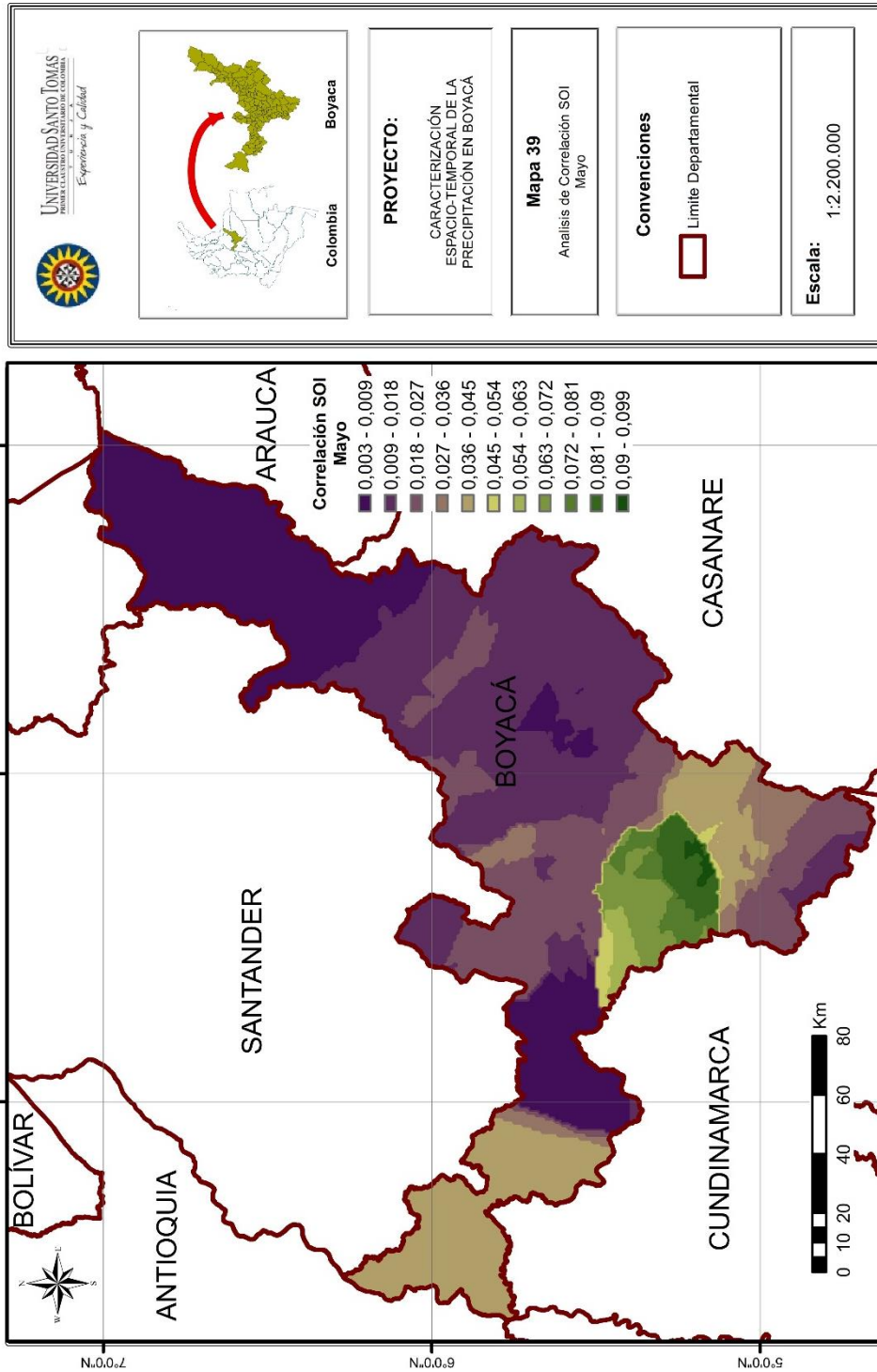
Mapa 37. Correlación SOI – Precipitación Marzo



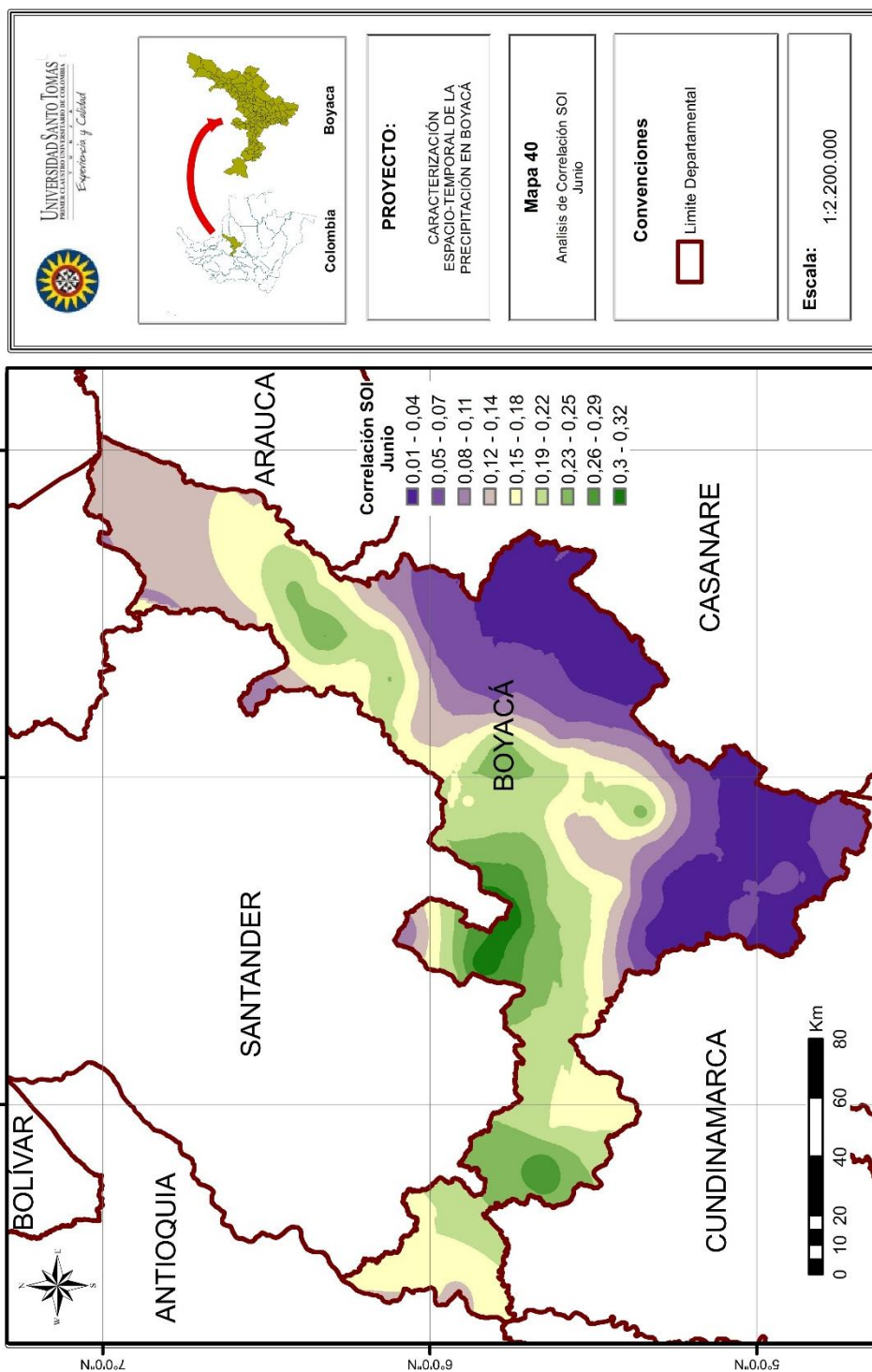
Mapa 38. Correlación SOI – Precipitación Abril



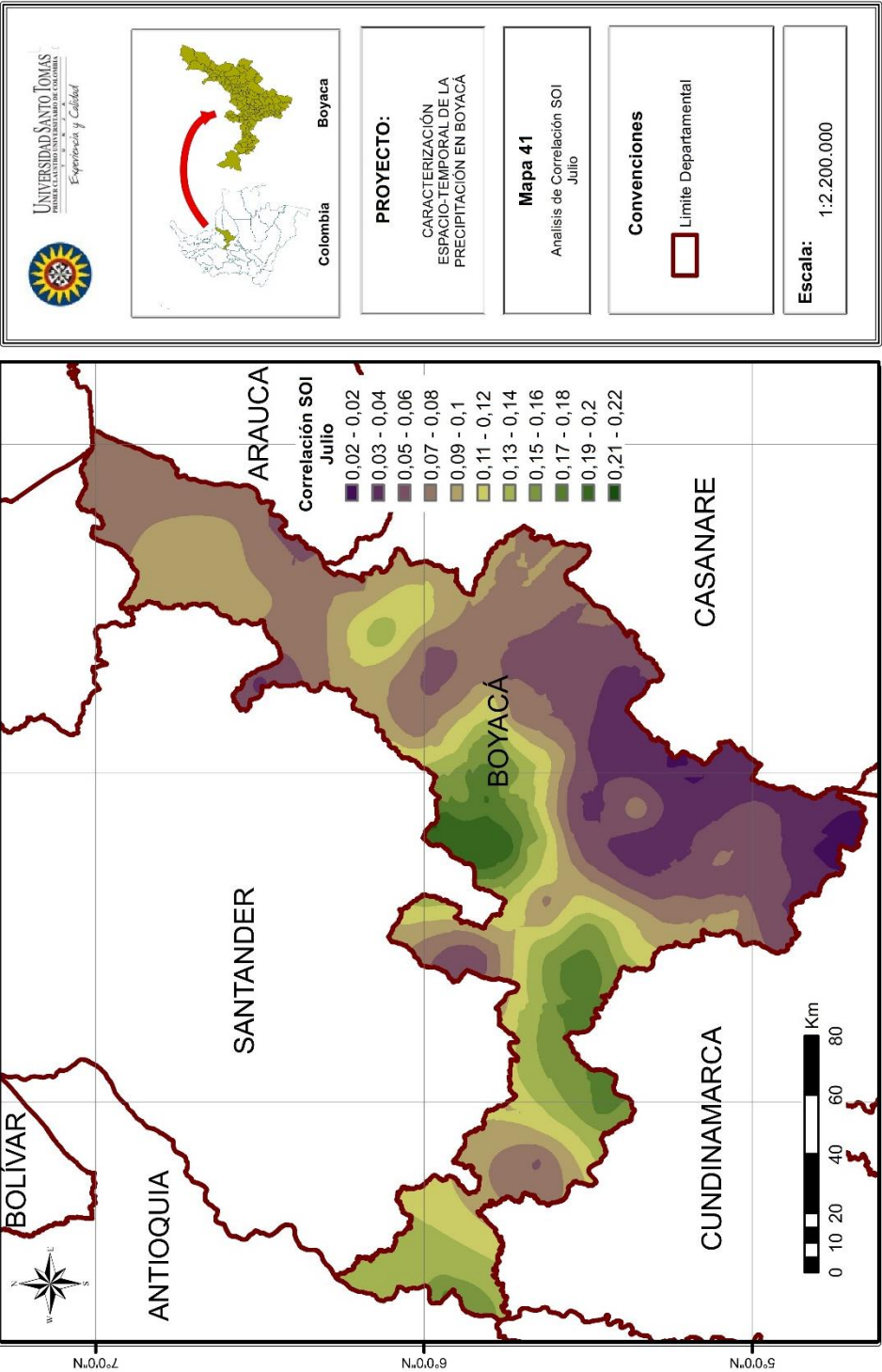
Mapa 39. Correlación SOI – Precipitación Mayo



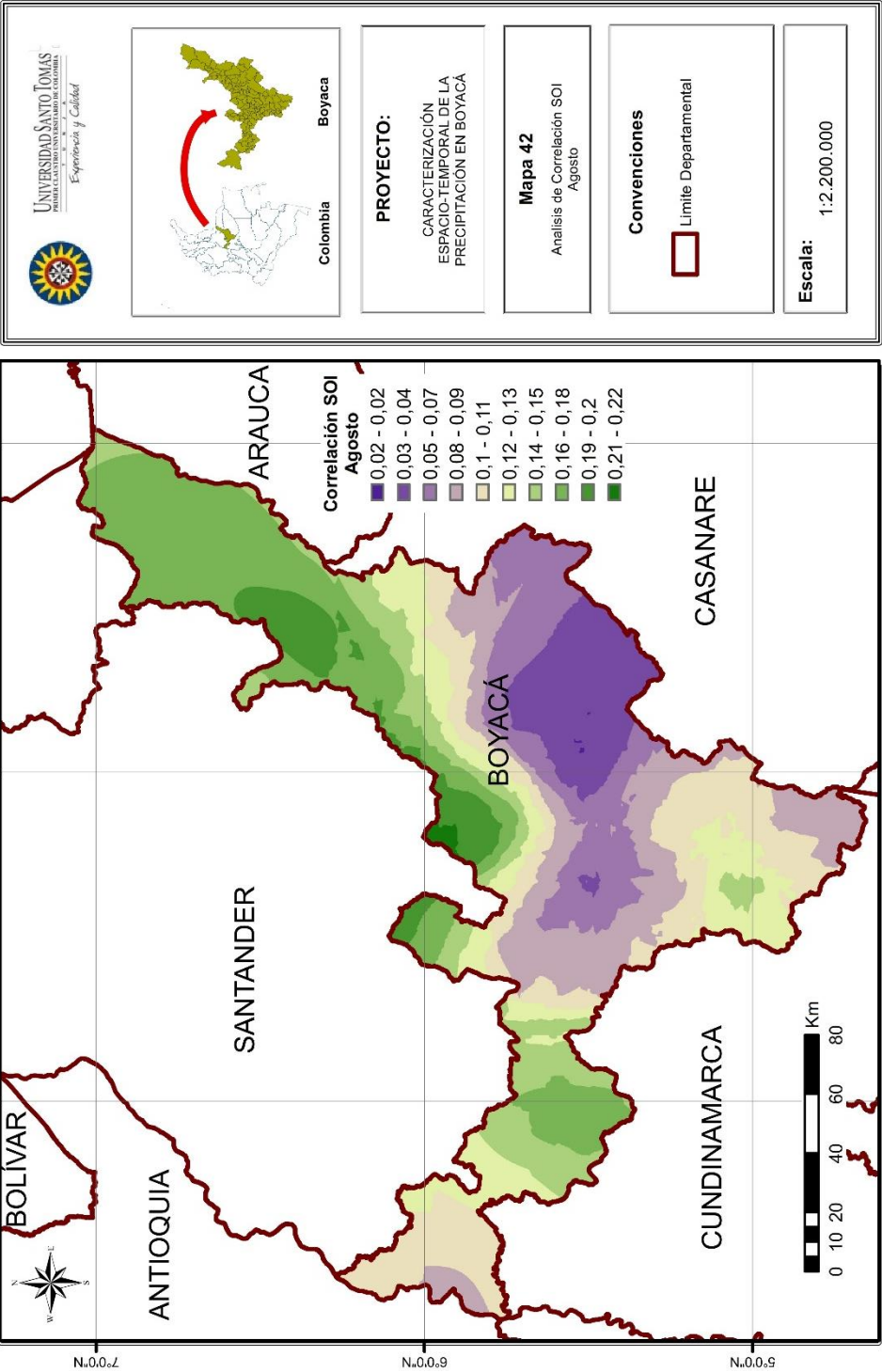
Mapa 40. Correlación SOI – Precipitación Junio



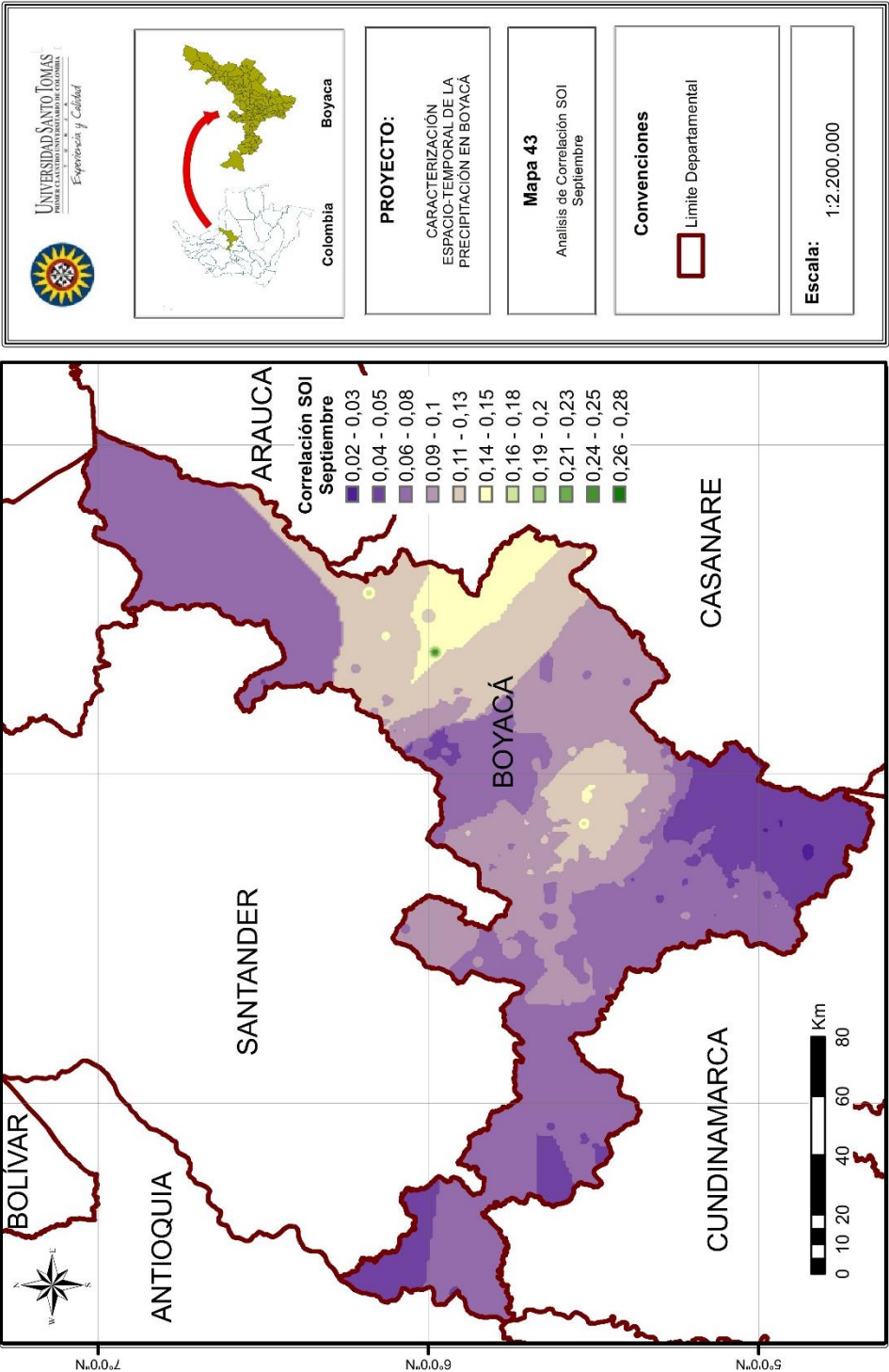
Mapa 41. Correlación SOI – Precipitación Julio



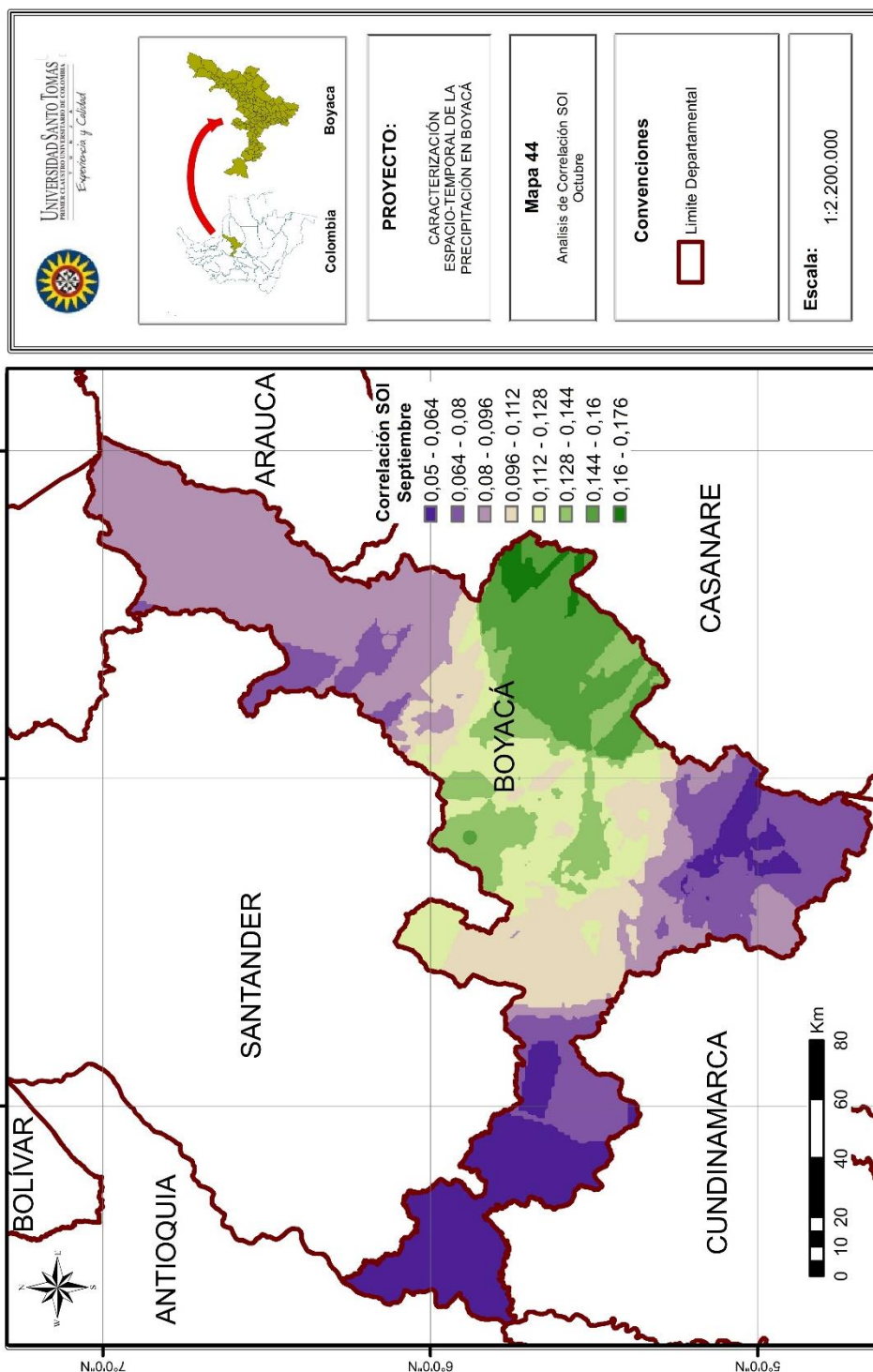
Mapa 42. Correlación SOI – Precipitación Agosto



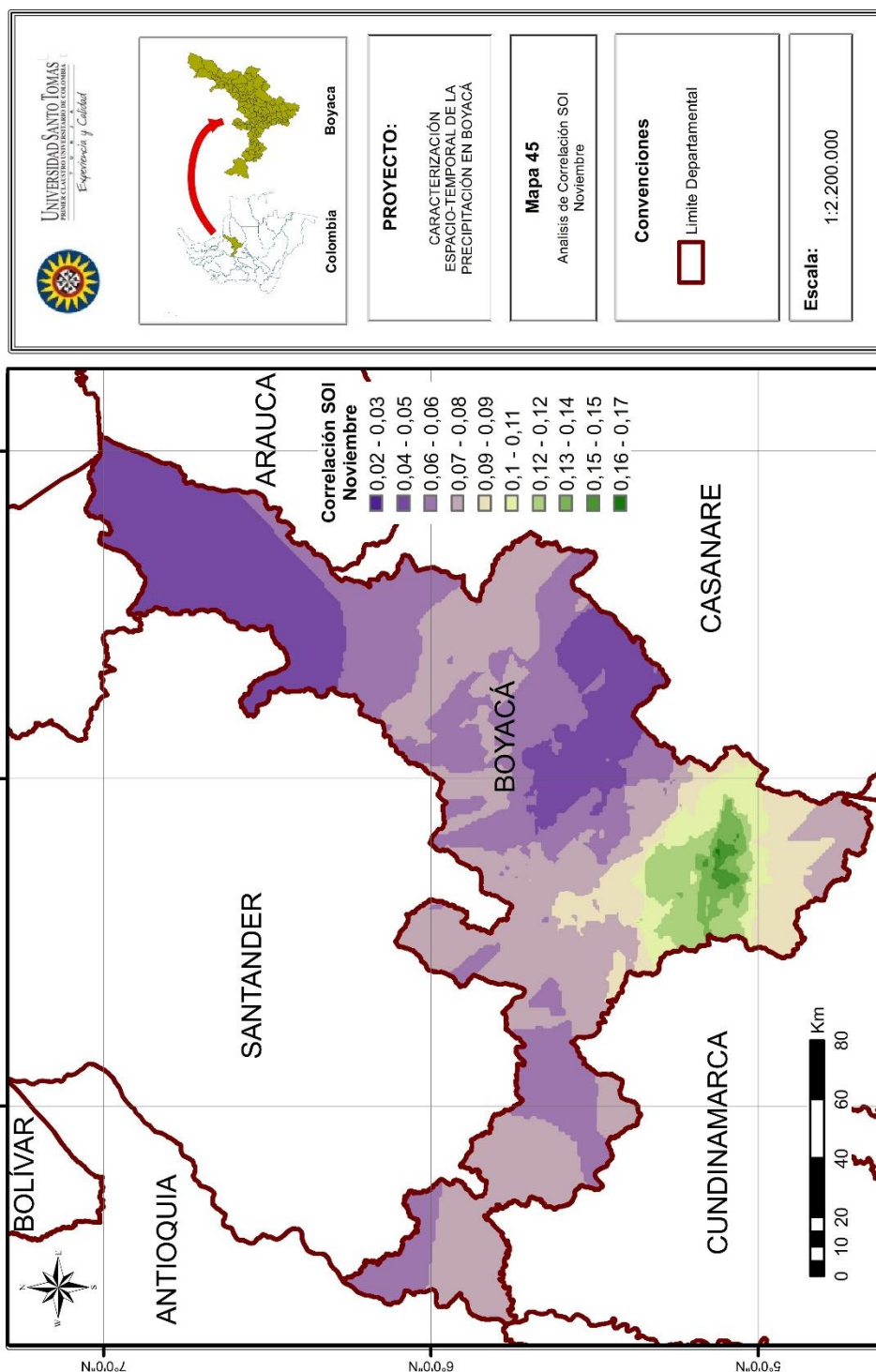
Mapa 43. Correlación SOI – Precipitación Septiembre



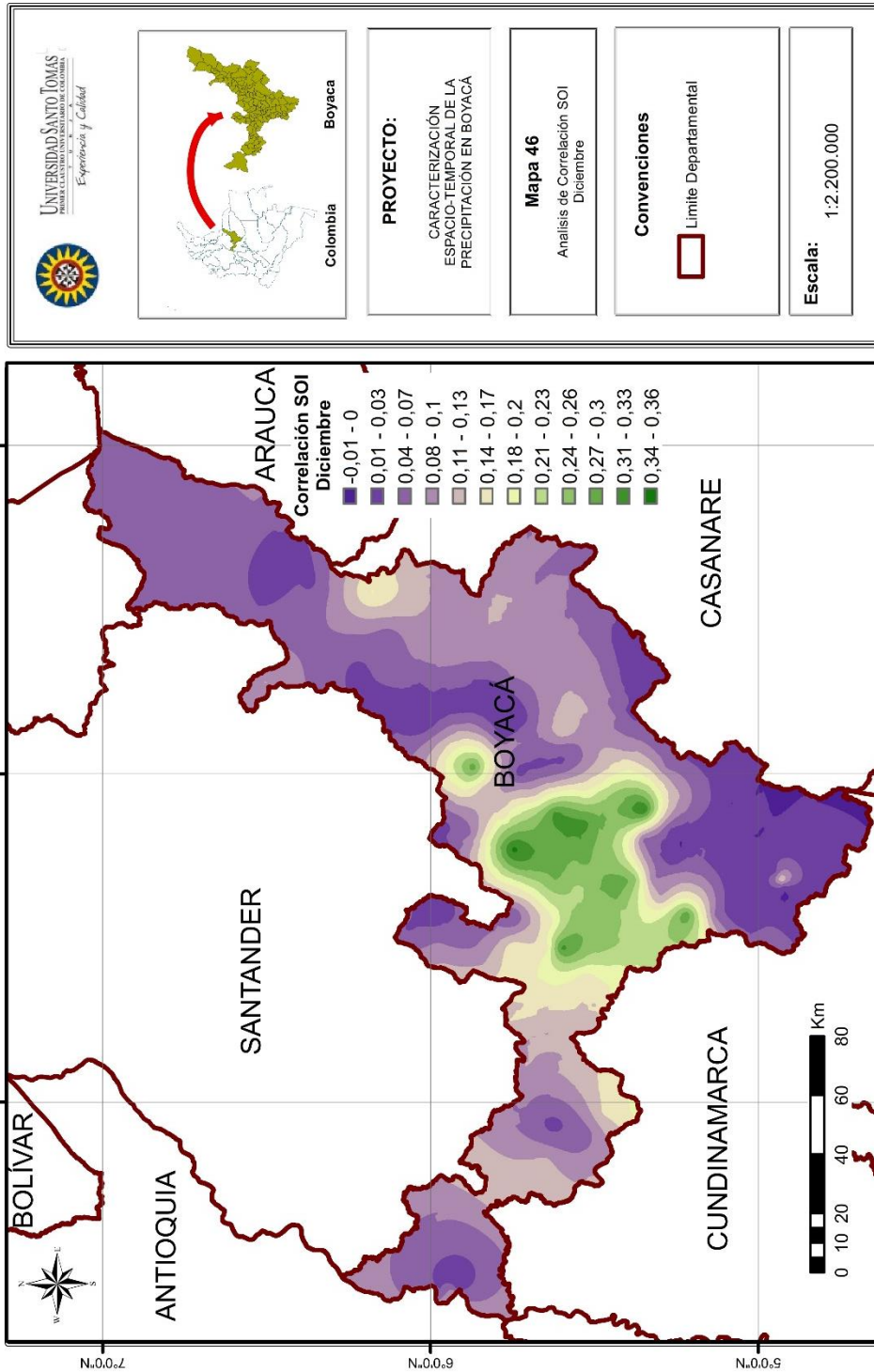
Mapa 44. Correlación SOI – Precipitación Octubre



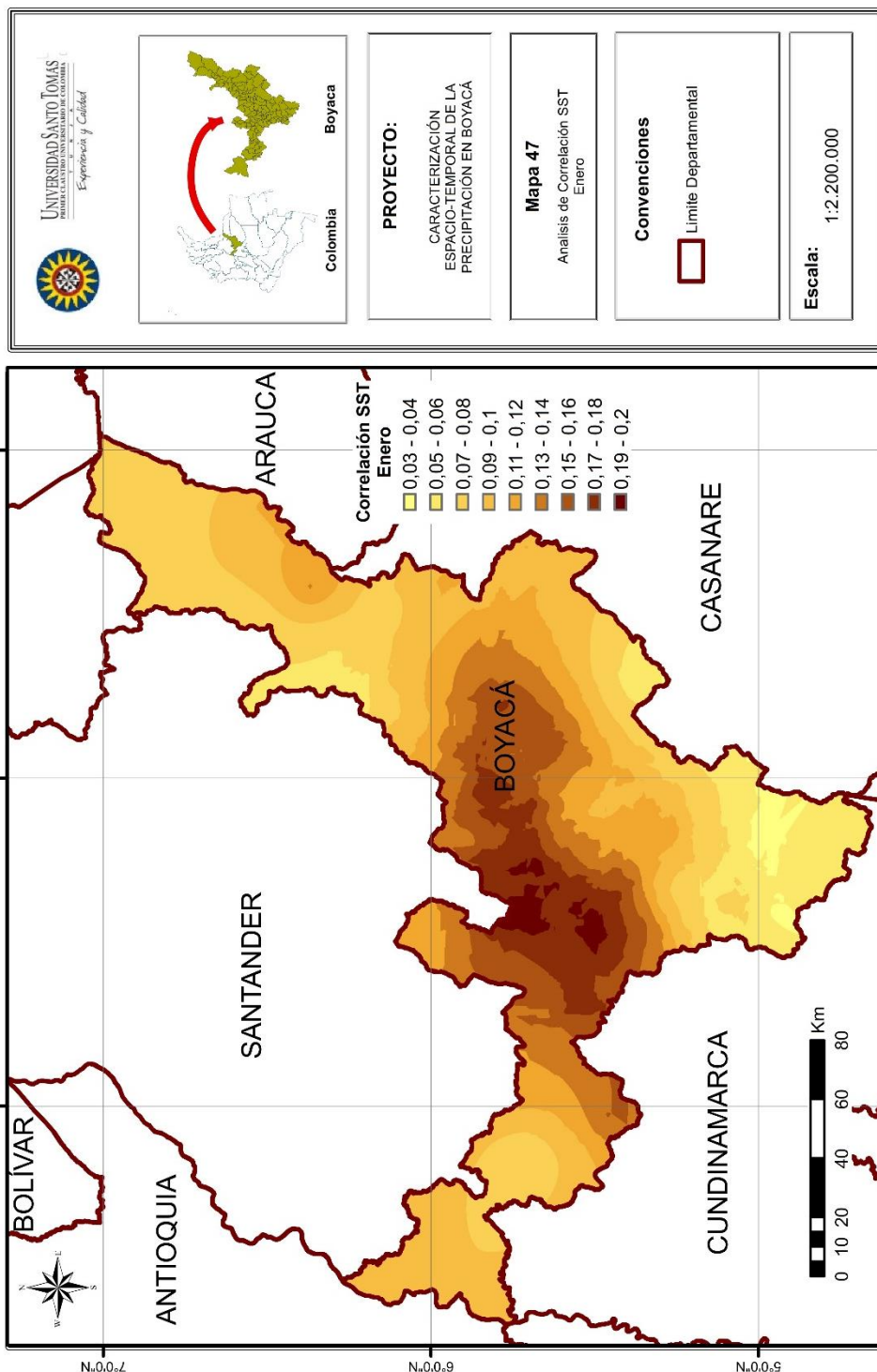
Mapa 45. Correlación SOI – Precipitación Noviembre



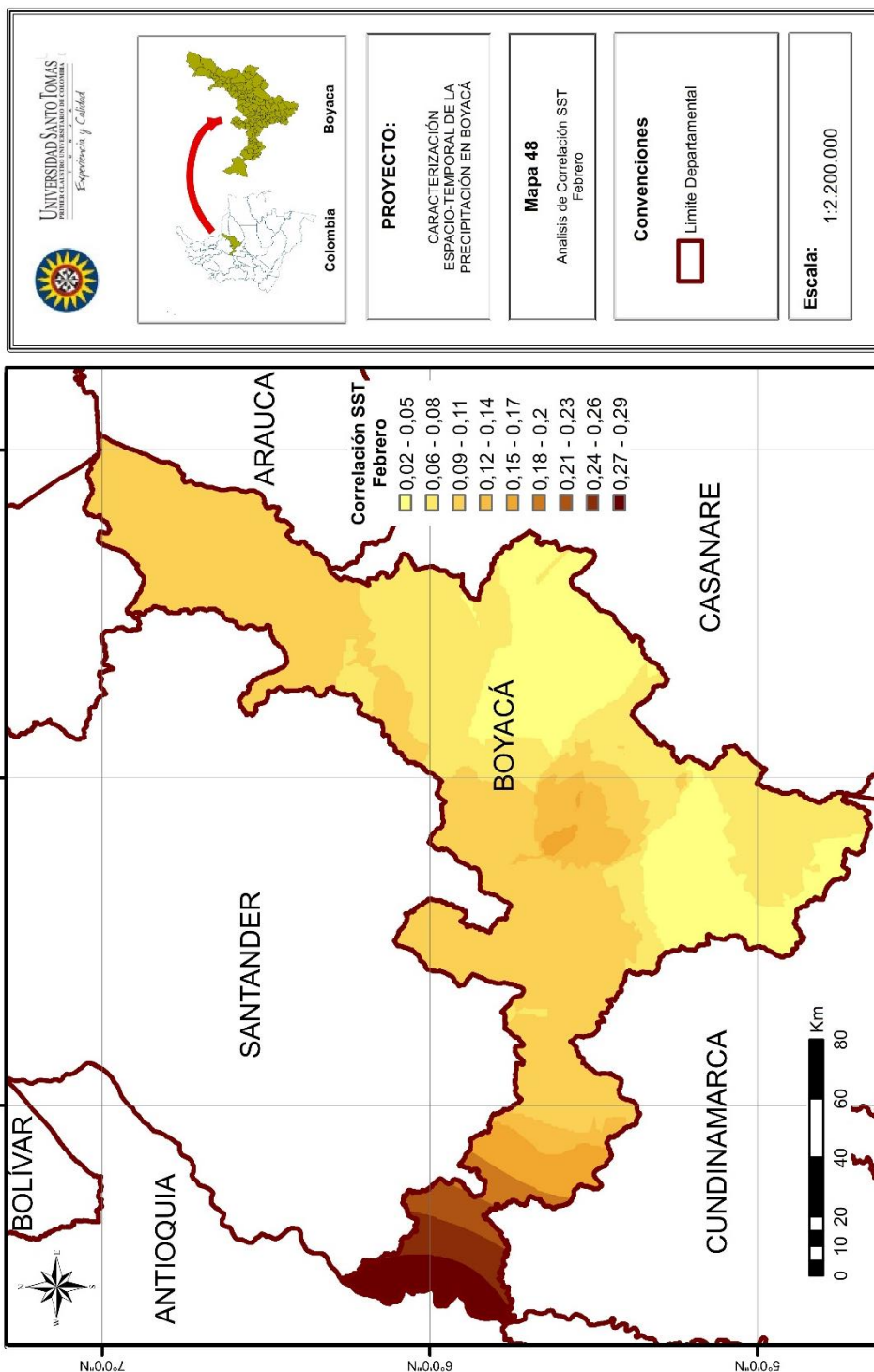
Mapa 46. Correlación SOI – Precipitación Diciembre



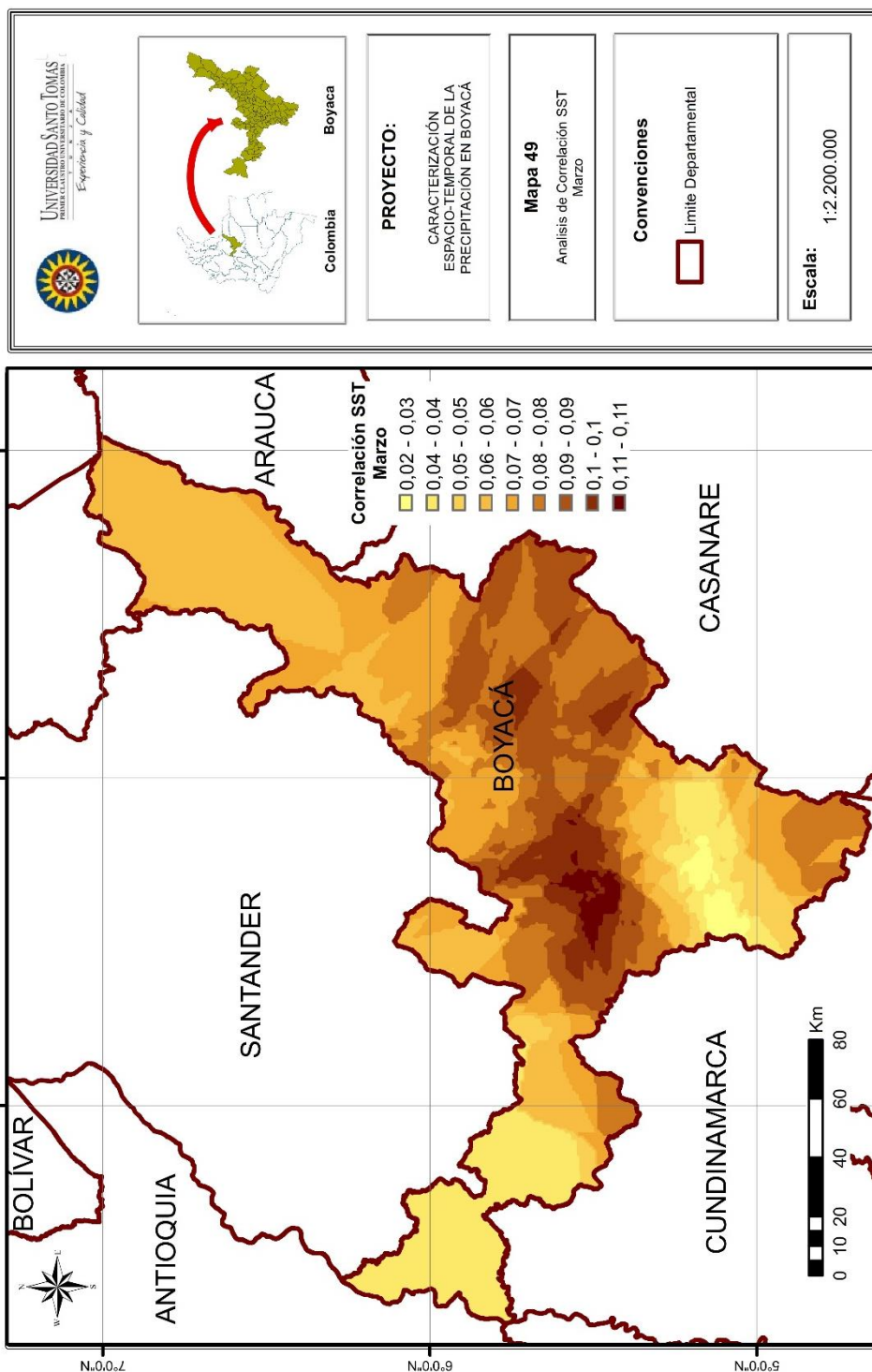
Mapa 47. Correlación SST – Precipitación Enero



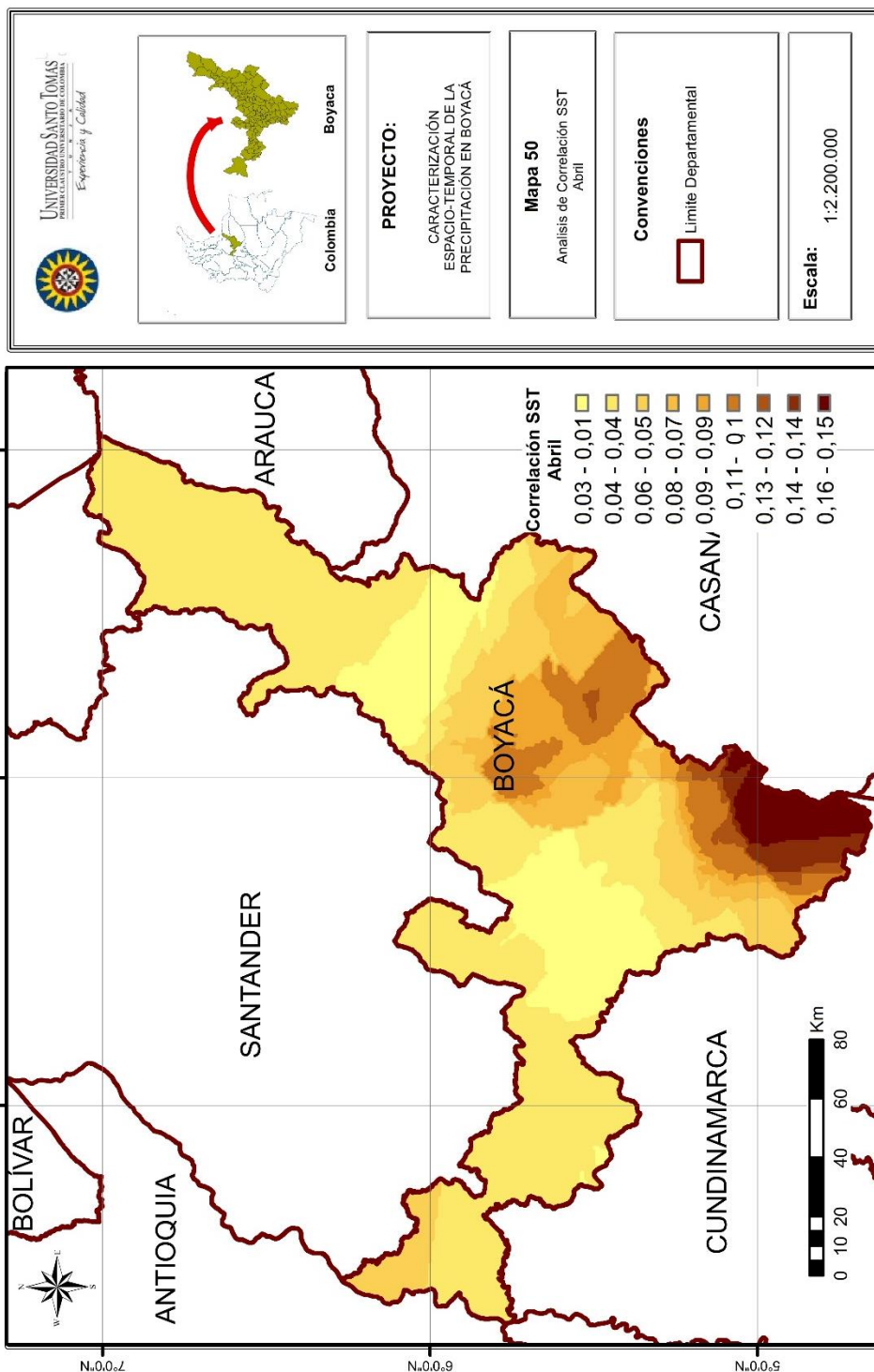
Mapa 48. Correlación SST – Precipitación Febrero



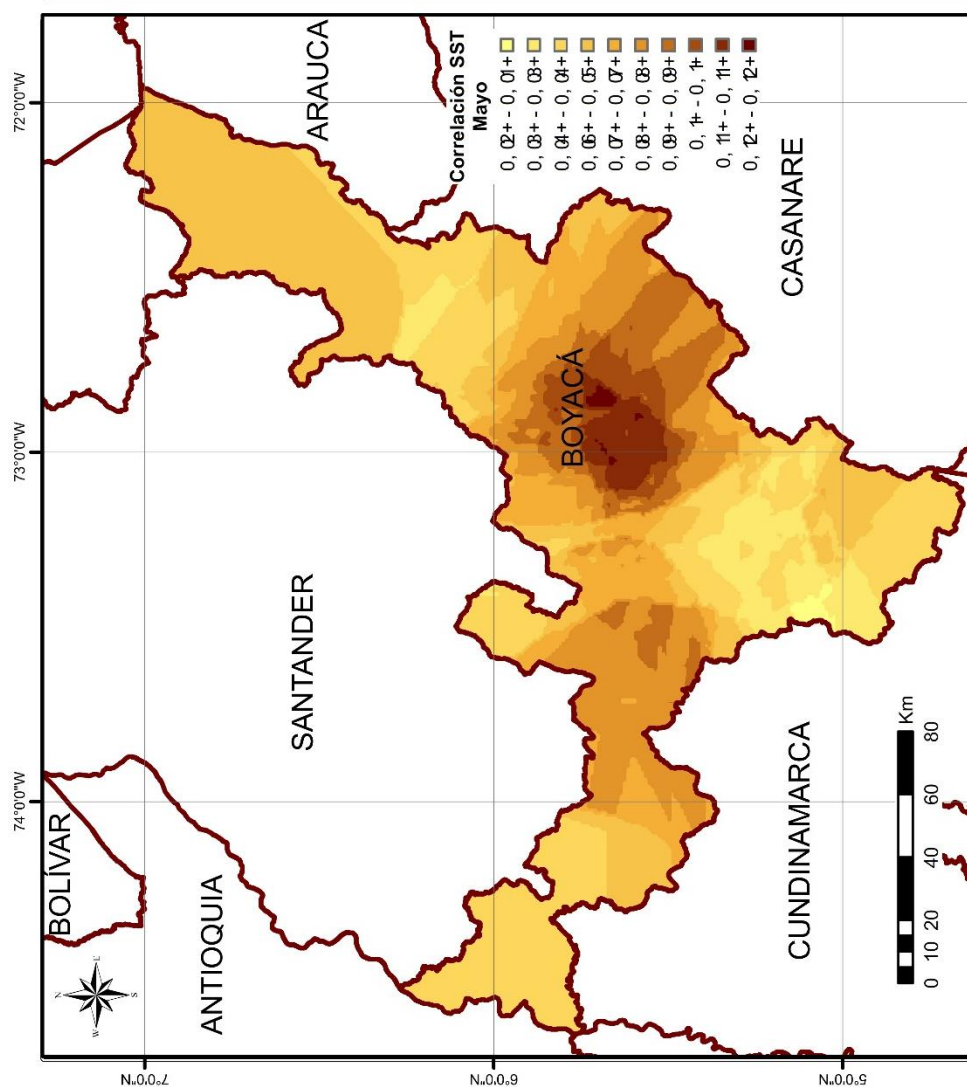
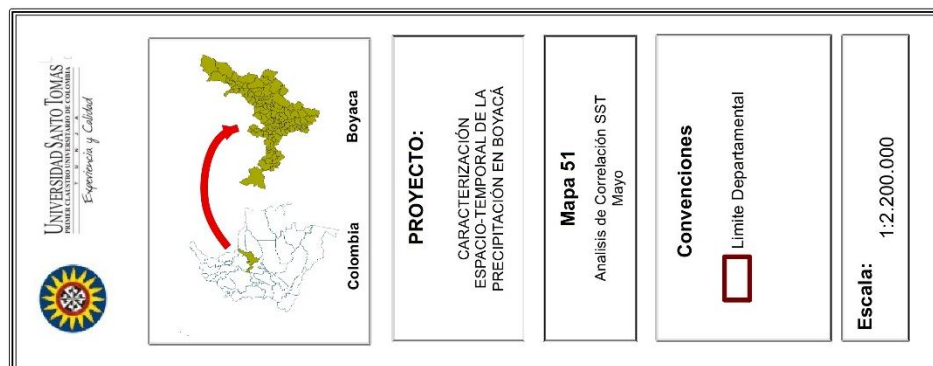
Mapa 49. Correlación SST – Precipitación Marzo



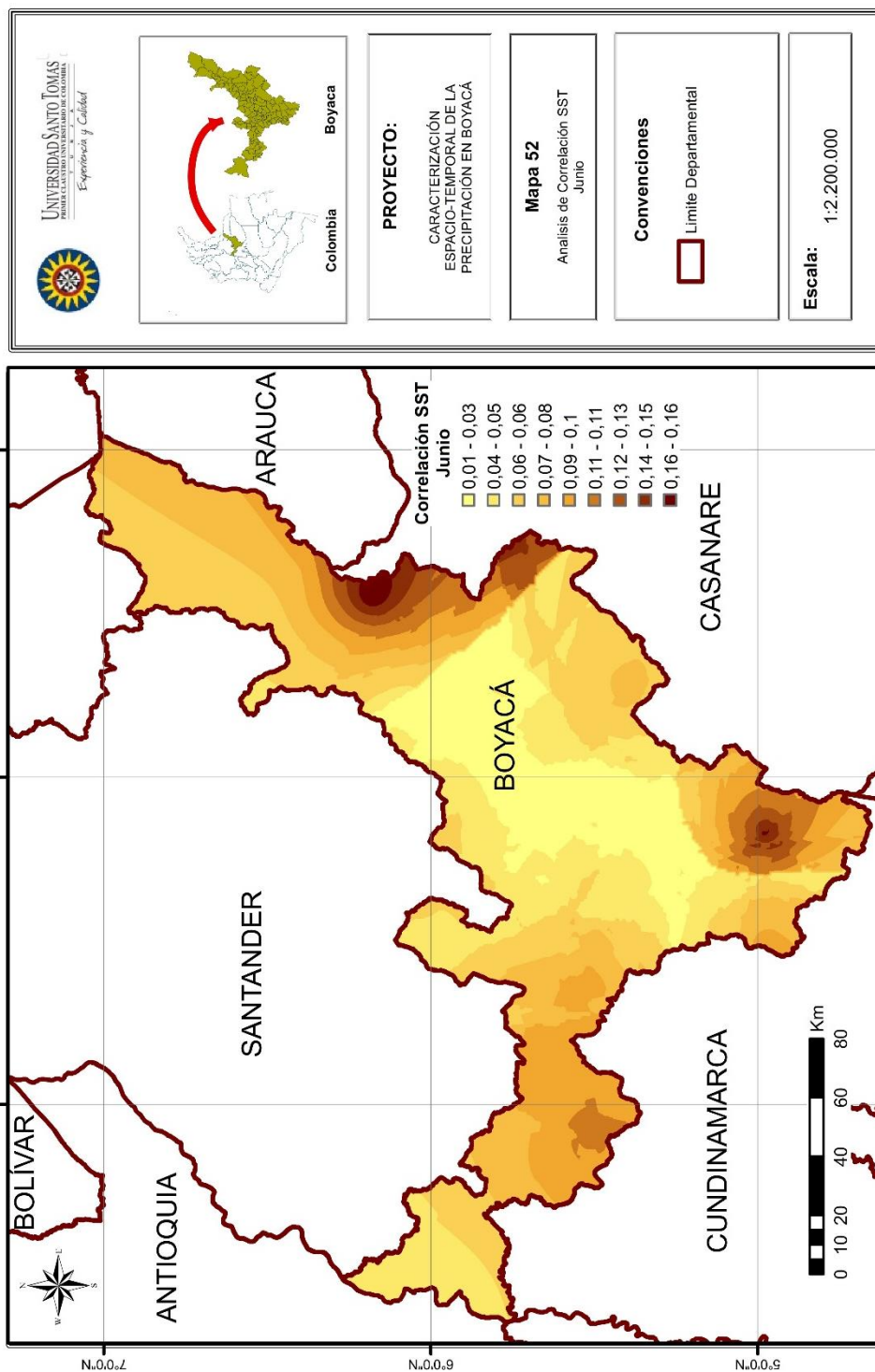
Mapa 50. Correlación SST – Precipitación Abril



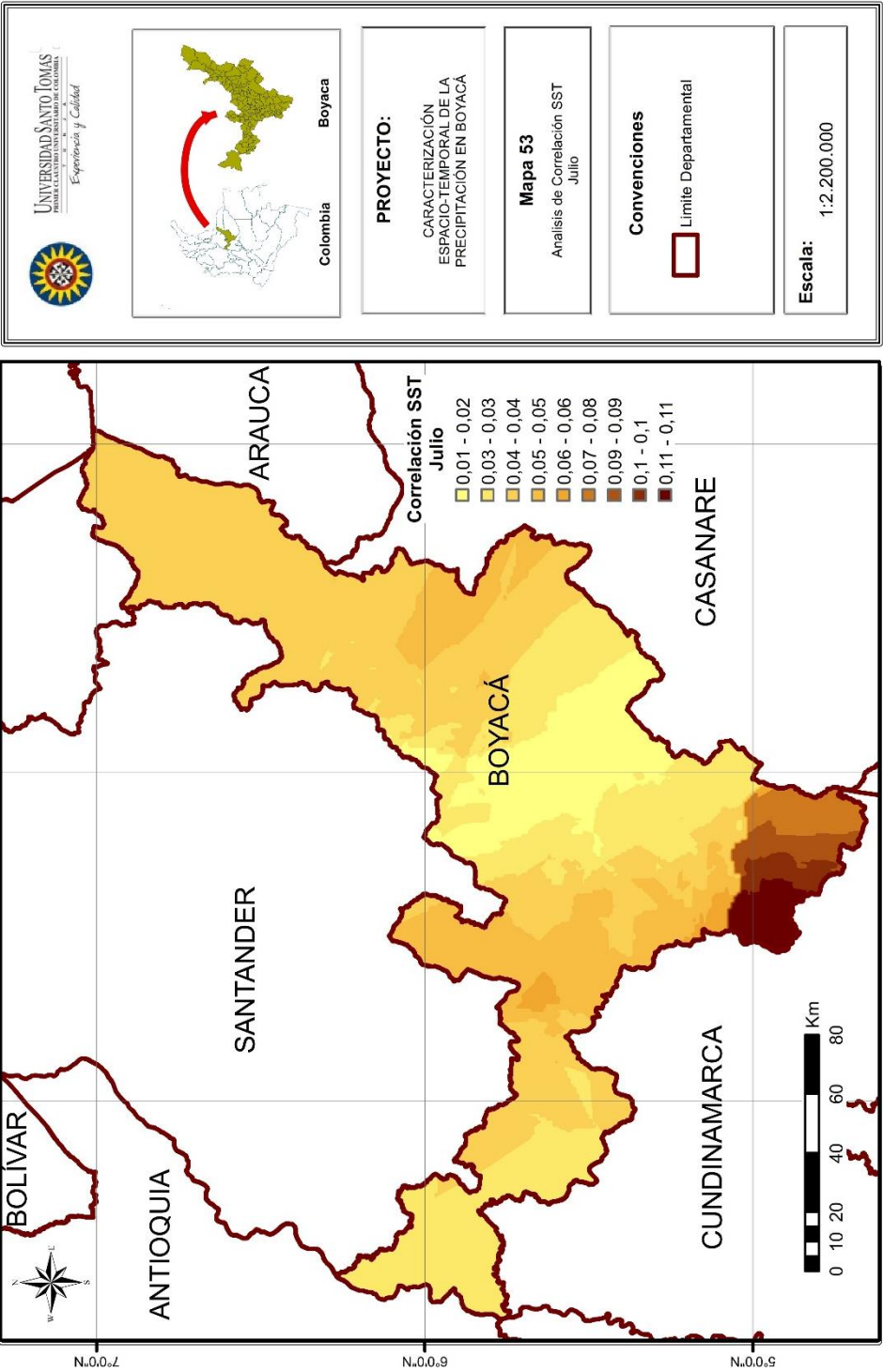
Mapa 51. Correlación SST – Precipitación Mayo



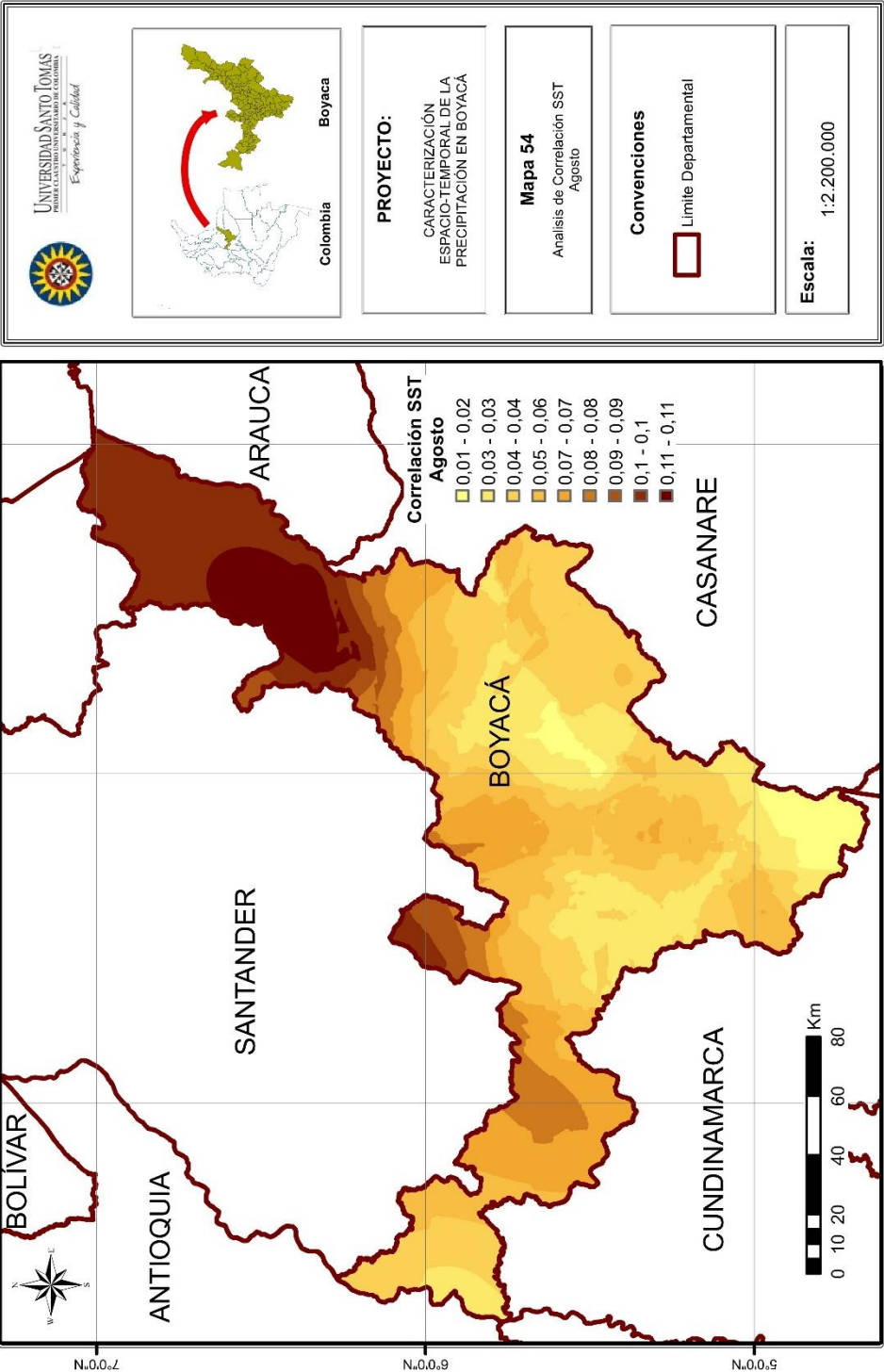
Mapa 52. Correlación SST – Precipitación Junio



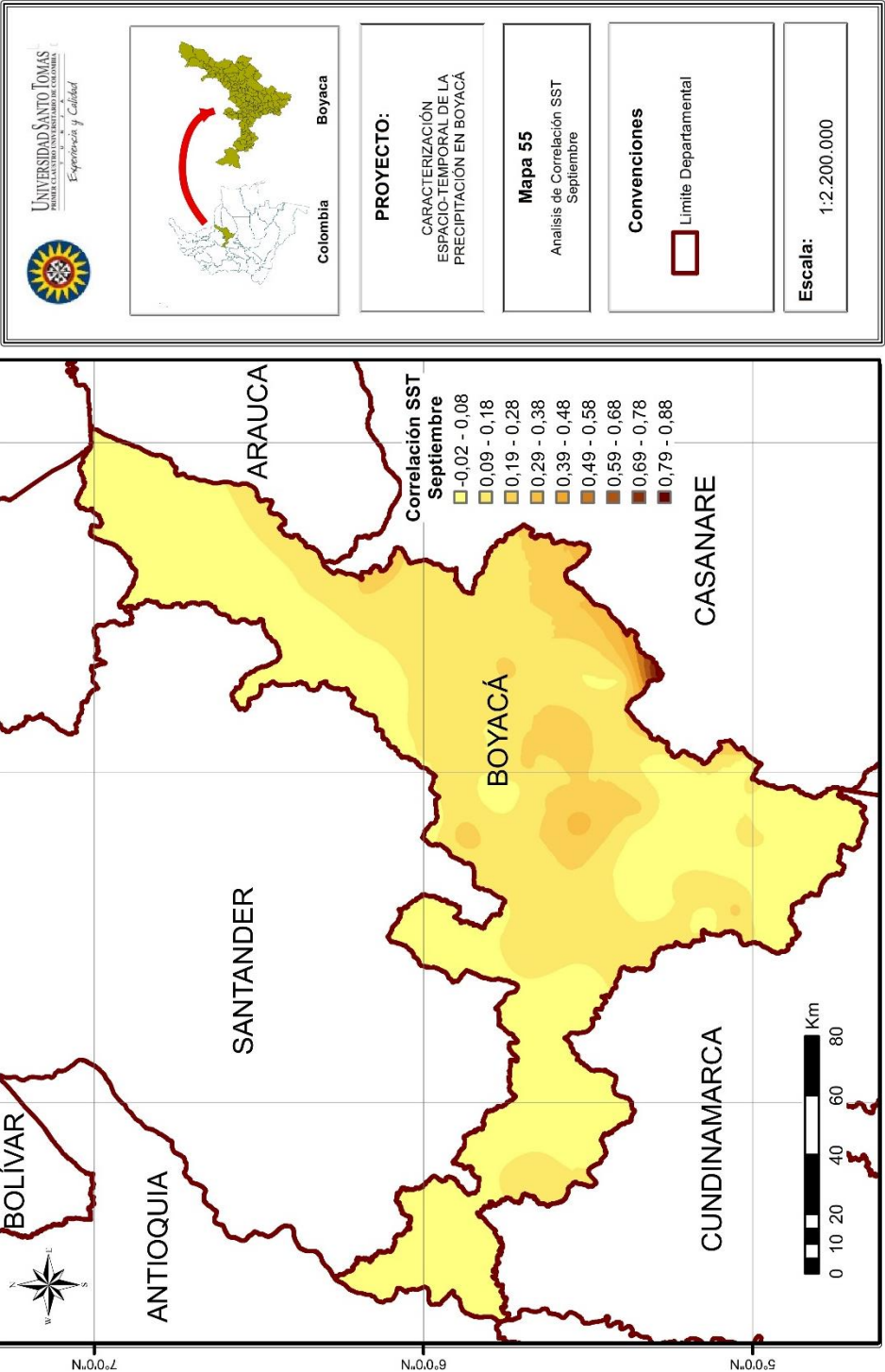
Mapa 53. Correlación SST – Precipitación Julio



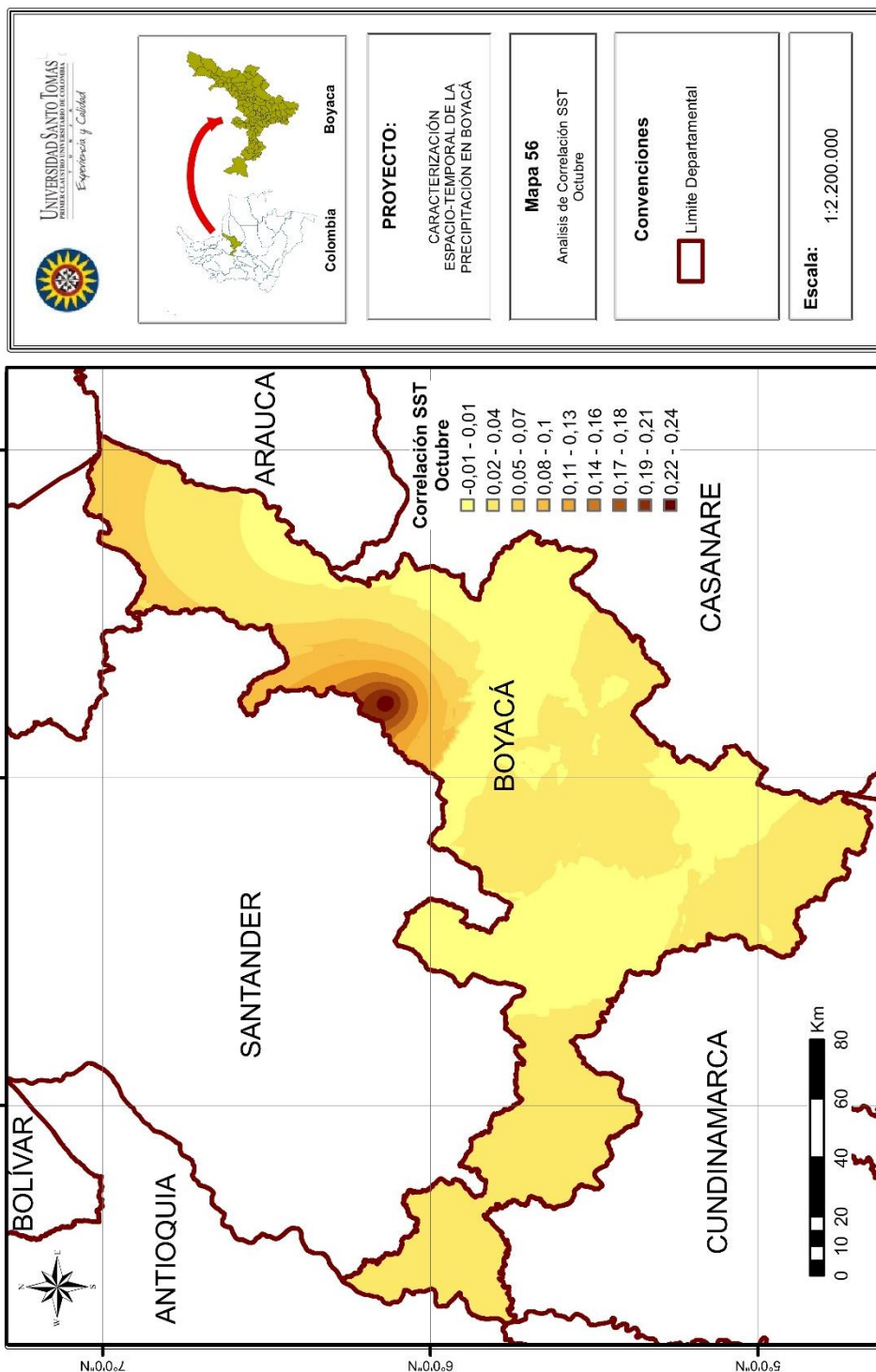
Mapa 54. Correlación SST – Precipitación Agosto



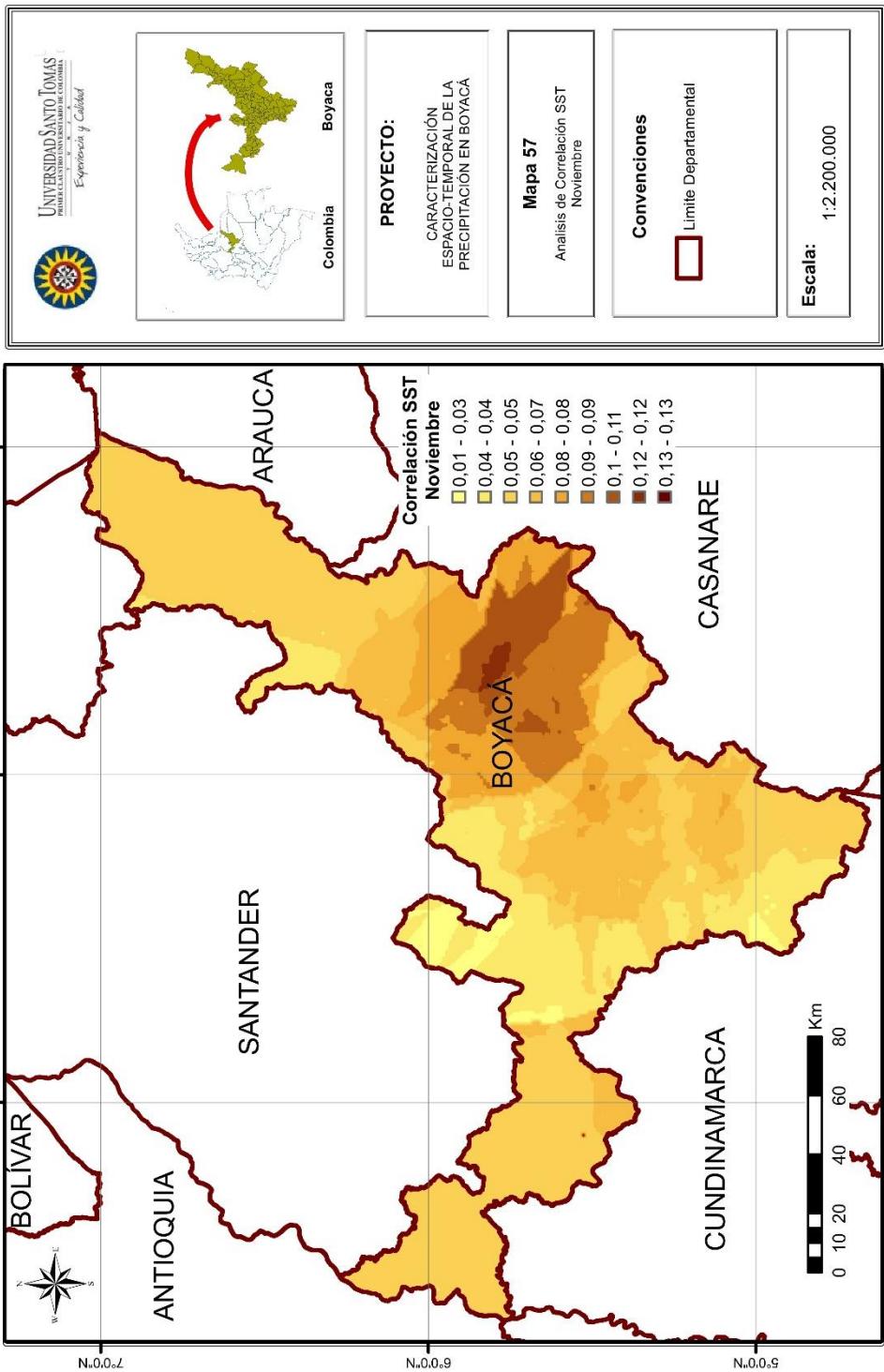
Mapa 55. Correlación SST – Precipitación Septiembre



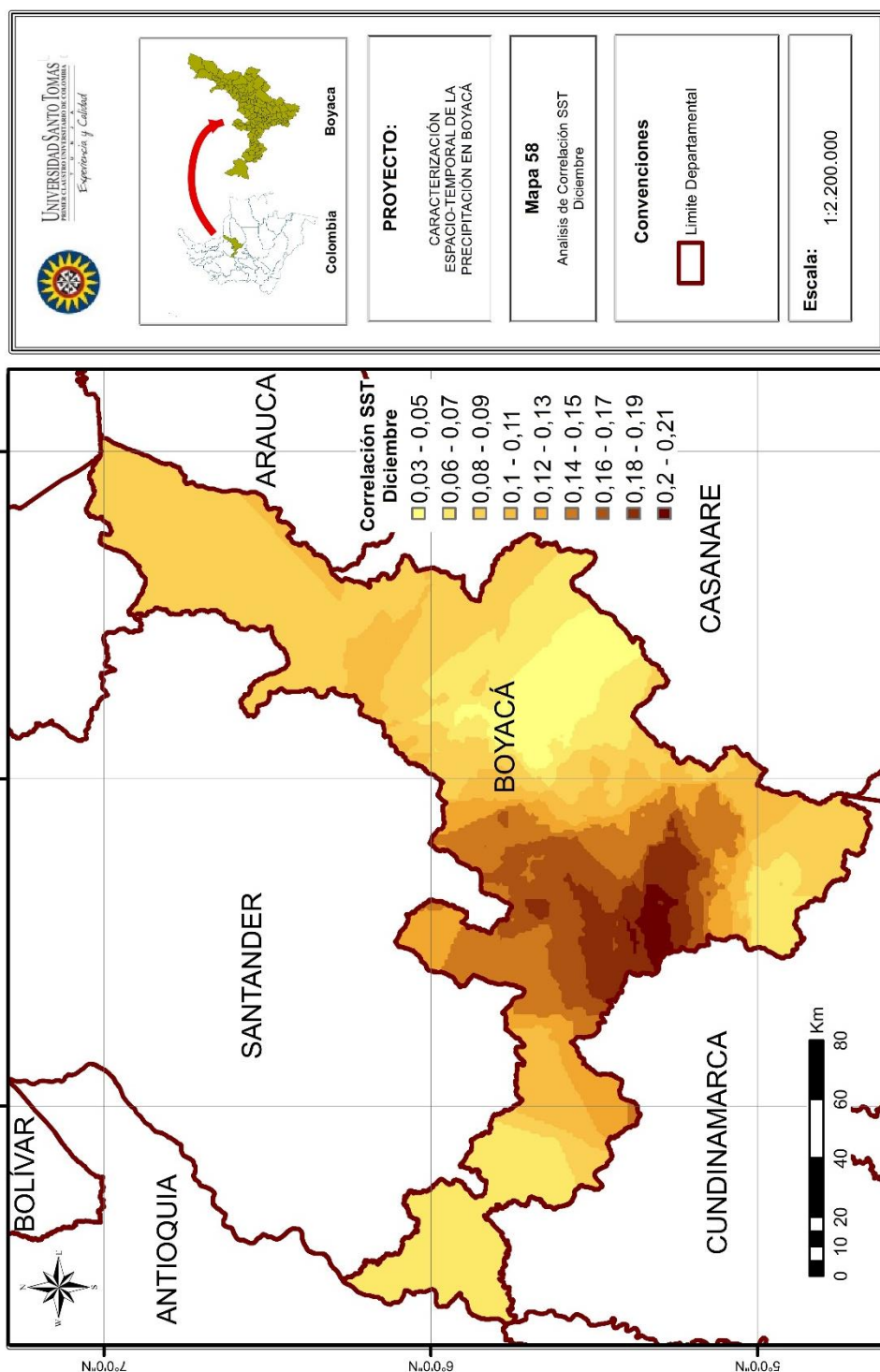
Mapa 56. Correlación SST – Precipitación Octubre



Mapa 57. Correlación SST – Precipitación Noviembre



Mapa 58. Correlación SST – Precipitación Diciembre



Anexo C. CORRELACIÓN SOI Y SST CON LA PRECIPITACIÓN.

Convenciones:

Rango de Correlación
0,0 A 0,1
0,1 A 0,2
0,2 A 0,3
0,3 A 0,4
0,4 A 0,5
0,5 A 0,6
0,6 A 0,7
0,7 A 0,8
0,8 A 0,9
0,9 A 1

Hipotesis (P>0,05)
Cumple (P)
No Cumple (P)

Tabla 9. Resultado correlación SOI con la precipitación.

ESTACIÓN	ENE		FEB		MAR		ARB		MAY		JUN		JUL		AGO		SEP		OCT		NOV		DIC	
	R ²	P	R ²	P	R ²	P	R ²	P	R ²	P	R ²	P	R ²	P	R ²	P	R ²	P	R ²	P	R ²	P	R ²	P
ALMEIDA	0,00	0,75	0,05	0,22	0,04	0,25	0,09	0,09	0,04	0,26	0,01	0,66	0,04	0,29	0,23	0,01	0,02	0,50	0,03	0,31	0,06	0,16	0,00	1,00
ALTO MUCEANO	0,01	0,61	0,06	0,18	0,15	0,03	0,01	0,63	0,04	0,30	0,00	0,94	0,03	0,33	0,15	0,03	0,01	0,61	0,11	0,07	0,11	0,06	0,03	0,35
ANTENA TV RUSIA LA	0,22	0,01	0,07	0,15	0,00	0,79	0,01	0,63	0,01	0,68	0,10	0,07	0,08	0,11	0,25	0,00	0,03	0,35	0,14	0,03	0,07	0,14	0,13	0,04
APTO CALLEJAS	0,20	0,01	0,09	0,09	0,07	0,13	0,02	0,46	0,01	0,67	0,27	0,00	0,12	0,05	0,04	0,24	0,13	0,04	0,16	0,02	0,14	0,03	0,03	0,37
ARCABUCO	0,23	0,01	0,06	0,19	0,06	0,16	0,02	0,43	0,01	0,61	0,38	0,00	0,14	0,03	0,16	0,02	0,12	0,05	0,11	0,06	0,06	0,16	0,03	0,35
AZULEJOS LOS	0,04	0,29	0,15	0,02	0,04	0,29	0,05	0,22	0,00	0,81	0,19	0,01	0,20	0,01	0,20	0,01	0,11	0,06	0,24	0,00	0,04	0,26	0,27	0,00
BELENCITO	0,24	0,00	0,16	0,02	0,02	0,46	0,00	0,90	0,04	0,26	0,27	0,00	0,20	0,01	0,10	0,74	0,05	0,24	0,27	0,00	0,08	0,11	0,01	0,66
BOAVITA	0,03	0,33	0,04	0,27	0,02	0,39	0,01	0,52	0,00	1,00	0,35	0,00	0,06	0,16	0,43	0,00	0,02	0,42	0,02	0,40	0,00	0,95	0,06	0,16
BORBUR2	0,07	0,14	0,00	0,74	0,01	0,54	0,07	0,13	0,01	0,56	0,13	0,04	0,13	0,04	0,29	0,00	0,00	0,98	0,01	0,56	0,16	0,02	0,02	0,43
CAMP BUENAVISTA	0,05	0,20	0,13	0,04	0,07	0,13	0,01	0,51	0,01	0,69	0,03	0,36	0,01	0,71	0,19	0,01	0,03	0,37	0,11	0,07	0,17	0,02	0,05	0,21
CAMPO REAL	0,03	0,34	0,01	0,36	0,12	0,05	0,07	0,13	0,03	0,33	0,04	0,29	0,04	0,25	0,14	0,03	0,03	0,32	0,07	0,13	0,15	0,02	0,02	0,47
CAPILLA LA	0,22	0,01	0,10	0,08	0,05	0,21	0,01	0,60	0,00	0,77	0,23	0,01	0,11	0,06	0,22	0,01	0,01	0,60	0,03	0,34	0,02	0,47	0,03	0,32
CARDON EL	0,02	0,45	0,00	0,76	0,32	0,32	0,01	0,68	0,00	0,73	0,00	0,95	0,14	0,03	0,09	0,96	0,08	0,11	0,12	0,05	0,12	0,05	0,10	0,08
CASA AMARILLA	0,12	0,05	0,16	0,02	0,02	0,40	0,02	0,45	0,00	0,83	0,03	0,33	0,01	0,51	0,00	0,76	0,27	0,00	0,20	0,01	0,04	0,29	0,31	0,00
CAZADERO	0,04	0,26	0,02	0,42	0,02	0,44	0,00	0,87	0,02	0,49	0,05	0,22	0,00	0,75	0,08	0,11	0,03	0,31	0,05	0,19	0,01	0,52	0,06	0,17
CEDROS LOS	0,04	0,26	0,06	0,18	0,04	0,26	0,00	0,81	0,04	0,03	0,01	0,66	0,05	0,20	0,08	0,12	0,09	0,09	0,04	0,30	0,19	0,01	0,00	0,99

ESTACIÓN	ENE		FEB		MAR		ARB		MAY		JUN		JUL		AGO		SEP		OCT		NOV		DIC	
	R²	P	R²	P	R²	P	R²	P	R²	P	R²	P	R²	P	R²	P	R²	P	R²	P	R²	P	R²	P
CEREZO EL	0,20	0,01	0,09	0,09	0,00	0,95	0,02	0,43	0,01	0,61	0,24	0,00	0,15	0,03	0,08	0,11	0,07	0,13	0,13	0,04	0,04	0,25	0,14	0,03
CHINAVITA	0,20	0,01	0,00	0,83	0,04	0,24	0,00	0,72	0,01	0,54	0,00	0,81	0,01	0,60	0,06	0,17	0,06	0,18	0,03	0,37	0,29	0,00	0,08	0,12
CHISCAS	0,04	0,26	0,14	0,04	0,01	0,56	0,00	0,83	0,02	0,50	0,11	0,06	0,11	0,06	0,26	0,00	0,02	0,47	0,14	0,03	0,02	0,47	0,04	0,30
CHITA	0,10	0,07	0,15	0,03	0,01	0,54	0,00	0,85	0,01	0,64	0,08	0,12	0,06	0,19	0,00	0,96	0,28	0,00	0,17	0,02	0,06	0,19	0,17	0,02
CHIVOR	0,01	0,53	0,08	0,11	0,08	0,11	0,03	0,30	0,00	0,99	0,00	0,71	0,02	0,47	0,13	0,04	0,03	0,35	0,08	0,11	0,06	0,16	0,01	0,97
CINTAS LAS	0,29	0,00	0,03	0,34	0,01	0,57	0,00	0,13	0,01	0,71	0,01	0,69	0,06	0,17	0,01	0,52	0,13	0,04	0,19	0,01	0,03	0,32	0,13	0,04
COCUY EL	0,09	0,09	0,12	0,05	0,01	0,54	0,00	0,82	0,00	0,85	0,36	0,00	0,08	0,11	0,20	0,01	0,05	0,19	0,10	0,07	0,08	0,11	0,04	0,29
COMBITA	0,14	0,03	0,18	0,02	0,10	0,08	0,04	0,26	0,14	0,44	0,20	0,01	0,14	0,03	0,07	0,15	0,05	0,21	0,13	0,04	0,11	0,06	0,27	0,00
COMODA LA	0,00	0,83	0,04	0,25	0,01	0,68	0,15	0,03	0,00	0,93	0,01	0,53	0,10	0,08	0,25	0,00	0,01	0,52	0,13	0,04	0,03	0,31	0,03	0,34
COPER	0,01	0,64	0,14	0,03	0,06	0,16	0,03	0,36	0,01	0,57	0,18	0,02	0,19	0,01	0,15	0,03	0,05	0,09	0,00	0,95	0,04	0,28	0,14	0,03
CORINTO	0,02	0,40	0,00	0,90	0,11	0,07	0,01	0,51	0,03	0,35	0,01	0,54	0,01	0,55	0,06	0,18	0,03	0,35	0,17	0,02	0,09	0,10	0,02	0,42
COVARACHIA	0,00	0,90	0,02	0,44	0,05	0,22	0,00	0,99	0,00	0,90	0,05	0,20	0,01	0,52	0,01	0,71	0,00	0,73	0,10	0,08	0,02	0,39	0,10	0,07
CURITAL	0,15	0,03	0,26	0,00	0,04	0,28	0,00	0,76	0,00	0,73	0,03	0,31	0,00	0,74	0,16	0,02	0,56	0,00	0,11	0,06	0,15	0,03	0,08	0,10
DUITAMA	0,29	0,00	0,14	0,03	0,02	0,42	0,01	0,58	0,01	0,56	0,20	0,01	0,24	0,00	0,17	0,02	0,06	0,16	0,18	0,01	0,08	0,11	0,10	0,07
EMPORIO EL HDA	0,21	0,01	0,02	0,47	0,00	0,79	0,02	0,44	0,00	0,78	0,26	0,00	0,13	0,04	0,14	0,04	0,06	0,19	0,08	0,11	0,04	0,24	0,31	0,00
ESC LOS MOLINOS	0,02	0,45	0,03	0,37	0,11	0,07	0,08	0,12	0,01	0,56	0,00	0,89	0,01	0,54	0,01	0,61	0,11	0,06	0,02	0,44	0,05	0,02	0,01	0,67
FIRAVITOBA	0,12	0,05	0,09	0,09	0,16	0,02	0,01	0,53	0,00	0,77	0,18	0,18	0,12	0,05	0,04	0,25	0,02	0,43	0,13	0,04	0,05	0,22	0,03	0,35
GACHANTIVA	0,11	0,06	0,08	0,11	0,01	0,52	0,02	0,41	0,01	0,52	0,25	0,00	0,09	0,09	0,04	0,29	0,14	0,03	0,10	0,08	0,02	0,39	0,16	0,02
GARAGOA	0,12	0,05	0,01	0,60	0,08	0,12	0,02	0,44	0,10	0,08	0,03	0,32	0,04	0,26	0,21	0,01	0,15	0,03	0,08	0,11	0,12	0,05	0,01	0,59
GARROCHO EL	0,03	0,34	0,15	0,03	0,03	0,36	0,04	0,24	0,00	0,97	0,13	0,04	0,09	0,10	0,11	0,05	0,13	0,04	0,03	0,31	0,00	0,72	0,31	0,00
GUAYATA LA GRANJA	0,07	0,15	0,00	0,98	0,02	0,39	0,07	0,13	0,01	0,54	0,02	0,42	0,06	0,19	0,06	0,19	0,08	0,12	0,13	0,39	0,09	0,09	0,05	0,23
INT ARG MACANAL	0,03	0,31	0,09	0,10	0,00	0,73	0,06	0,18	0,02	0,40	0,20	0,01	0,08	0,12	0,02	0,39	0,06	0,17	0,04	0,25	0,04	0,30	0,14	0,03
IZA	0,20	0,01	0,18	0,01	0,06	0,16	0,00	0,76	0,00	0,73	0,18	0,01	0,11	0,06	0,02	0,39	0,10	0,08	0,11	0,06	0,00	0,09	0,03	0,33
JERICO	0,11	0,07	0,09	0,09	0,02	0,48	0,03	0,33	0,03	0,31	0,28	0,00	0,20	0,01	0,11	0,06	0,17	0,02	0,15	0,03	0,13	0,04	0,05	0,24
MIRAVALLS	0,06	0,16	0,14	0,03	0,05	0,20	0,02	0,43	0,02	0,48	0,17	0,02	0,03	0,34	0,16	0,02	0,06	0,18	0,07	0,15	0,07	0,13	0,11	0,06
MONGUA	0,25	0,00	0,04	0,27	0,03	0,33	0,02	0,46	0,02	0,43	0,09	0,09	0,03	0,31	0,03	0,33	0,12	0,05	0,15	0,03	0,05	0,19	0,07	0,14
MONGUI	0,25	0,00	0,16	0,02	0,05	0,23	0,00	0,73	0,00	0,75	0,08	0,10	0,01	0,52	0,00	0,90	0,09	0,09	0,11	0,06	0,01	0,59	0,02	0,48
MONQUIRA	0,13	0,04	0,08	0,12	0,00	0,97	0,18	0,01	0,01	0,69	0,42	0,00	0,00	0,96	0,11	0,06	0,14	0,03	0,11	0,07	0,09	0,09	0,09	0,10
MORTINO EL	0,15	0,03	0,08	0,10	0,00	0,83	0,03	0,32	0,00	0,93	0,07	0,13	0,09	0,10	0,19	0,01	0,09	0,09	0,08	0,12	0,00	0,83	0,02	0,41
MUZO	0,03	0,33	0,02	0,41	0,01	0,54	0,03	0,31	0,00	0,73	0,17	0,02	0,12	0,05	0,23	0,01	0,00	0,74	0,04	0,26	0,01	0,58	0,05	0,24
NAZARETH	0,04	0,25	0,07	0,13	0,03	0,35	0,04	0,27	0,00	0,99	0,07	0,14	0,02	0,50	0,02	0,41	0,01	0,57	0,16	0,02	0,06	0,18	0,01	0,66
NIMICIA ESC RURAL	0,30	0,00	0,04	0,24	0,01	0,66	0,00	0,82	0,00	0,77	0,02	0,44	0,16	0,02	0,02	0,42	0,09	0,10	0,12	0,05	0,12	0,04	0,00	0,90
NOBSA	0,13	0,04	0,18	0,01	0,05	0,20	0,00	0,98	0,00	0,75	0,29	0,00	0,18	0,02	0,08	0,12	0,03	0,34	0,06	0,17	0,08	0,12	0,07	0,13
NUEVO COLON	0,32	0,00	0,03	0,33	0,04	0,25	0,01	0,67	0,00	0,86	0,01	0,56	0,12	0,05	0,14	0,04	0,06	0,16	0,09	0,08	0,19	0,01	0,20	0,01
OTANCHE	0,01	0,52	0,05	0,21	0,12	0,05	0,23	0,01	0,01	0,62	0,35	0,00	0,02	0,47	0,05	0,21	0,03	0,32	0,02	0,39	0,03	0,33	0,11	0,06

ESTACIÓN	ENE		FEB		MAR		ARB		MAY		JUN		JUL		AGO		SEP		OCT		NOV		DIC	
	R ²	P	R ²	P	R ²	P	R ²	P	R ²	P	R ²	P	R ²	P	R ²	P	R ²	P	R ²	P	R ²	P	R ²	P
PACHAVITA	0,13	0,04	0,00	0,94	0,00	0,97	0,00	0,86	0,01	0,66	0,00	0,91	0,10	0,08	0,14	0,03	0,02	0,44	0,02	0,40	0,14	0,03	0,06	0,19
PAJARITO	0,01	0,63	0,02	0,46	0,02	0,47	0,01	0,60	0,01	0,51	0,00	0,80	0,06	0,17	0,00	0,86	0,04	0,29	0,10	0,07	0,01	0,67	0,00	0,89
PALERMO	0,05	0,22	0,01	0,54	0,05	0,23	0,10	0,08	0,06	0,19	0,22	0,01	0,18	0,02	0,21	0,01	0,19	0,01	0,19	0,01	0,14	0,03	0,06	0,17
PANELAS	0,08	0,12	0,02	0,39	0,01	0,58	0,00	0,99	0,01	0,60	0,16	0,02	0,01	0,54	0,01	0,70	0,03	0,33	0,12	0,05	0,08	0,10	0,22	0,01
PESCA	0,25	0,00	0,22	0,01	0,07	0,14	0,00	0,91	0,02	0,43	0,21	0,01	0,00	0,80	0,00	0,87	0,14	0,03	0,08	0,11	0,01	0,65	0,19	0,01
PIEDRA CAMPANA	0,00	1,00	0,07	0,15	0,22	0,01	0,03	0,31	0,04	0,30	0,04	0,26	0,00	0,82	0,18	0,02	0,00	0,04	0,08	0,11	0,03	0,35	0,01	0,57
POMARROSOS LOS	0,00	0,75	0,05	0,24	0,07	0,14	0,00	0,76	0,00	1,00	0,01	0,57	0,09	0,10	0,12	0,05	0,04	0,24	0,09	0,09	0,01	0,67	0,00	0,84
POTRERITO	0,31	0,00	0,05	0,22	0,01	0,55	0,01	0,58	0,02	0,43	0,13	0,04	0,00	0,80	0,00	0,79	0,13	0,04	0,09	0,09	0,06	0,16	0,11	0,07
PTE FORERO	0,05	0,23	0,03	0,32	0,19	0,01	0,00	0,89	0,13	0,36	0,06	0,18	0,09	0,09	0,12	0,05	0,01	0,65	0,05	0,24	0,13	0,04	0,00	0,08
PTE NINO	0,02	0,47	0,13	0,04	0,02	0,49	0,02	0,49	0,07	0,13	0,11	0,06	0,27	0,12	0,06	0,17	0,03	0,35	0,00	0,81	0,04	0,30	0,10	0,08
PTO BOYACÁ	0,00	1,00	0,09	0,10	0,08	0,11	0,03	0,38	0,11	0,06	0,16	0,02	0,12	0,05	0,10	0,08	0,04	0,27	0,01	0,69	0,09	0,08	0,03	0,32
QUEBRADA HONDA	0,00	0,80	0,14	0,03	0,09	0,09	0,00	0,98	0,00	0,76	0,00	0,96	0,04	0,26	0,14	0,03	0,00	0,97	0,06	0,18	0,27	0,00	0,02	0,42
QUINCHOS LOS	0,00	0,96	0,06	0,19	0,00	0,83	0,02	0,50	0,05	0,22	0,00	0,94	0,07	0,14	0,07	0,13	0,05	0,23	0,10	0,07	0,09	0,10	0,10	0,08
RAMIRQUI	0,18	0,01	0,00	0,99	0,10	0,81	0,08	0,10	0,02	0,40	0,06	0,18	0,04	0,27	0,01	0,67	0,01	0,65	0,14	0,03	0,00	0,77	0,25	0,00
RAQUIRA	0,09	0,10	0,20	0,01	0,08	0,11	0,03	0,33	0,00	0,84	0,20	0,01	0,21	0,01	0,07	0,13	0,03	0,33	0,13	0,04	0,02	0,44	0,15	0,03
RONDON	0,04	0,27	0,00	0,98	0,00	0,97	0,01	0,67	0,00	0,93	0,07	0,15	0,00	0,92	0,15	0,03	0,02	0,39	0,14	0,03	0,01	0,54	0,06	0,20
SAN ANTONIO	0,21	0,01	0,06	0,17	0,01	0,65	0,00	0,91	0,02	0,48	0,31	0,00	0,08	0,12	0,13	0,04	0,08	0,11	0,12	0,05	0,08	0,11	0,29	0,00
SAN CRISTOBAL	0,15	0,02	0,18	0,02	0,10	0,07	0,04	0,25	0,06	0,16	0,40	0,00	0,15	0,03	0,04	0,24	0,13	0,04	0,22	0,01	0,06	0,16	0,34	0,00
SAN LUIS DE GACENO	0,00	0,94	0,16	0,02	0,13	0,04	0,00	0,84	0,01	0,59	0,04	0,29	0,09	0,10	0,04	0,25	0,02	0,46	0,06	0,18	0,00	0,82	0,00	0,96
SAN PEDRO DE IGUAQUE	0,17	0,02	0,13	0,04	0,00	0,97	0,00	0,71	0,01	0,71	0,23	0,01	0,06	0,19	0,00	0,87	0,00	0,72	0,08	0,11	0,02	0,69	0,16	0,02
SANTA ROSA DE VITERBO	0,35	0,00	0,12	0,05	0,00	0,72	0,02	0,39	0,00	0,33	0,23	0,01	0,15	0,03	0,09	0,09	0,09	0,10	0,10	0,07	0,11	0,06	0,29	0,01
SATIVANORTE	0,23	0,01	0,14	0,03	0,06	0,17	0,01	0,56	0,00	0,87	0,31	0,00	0,07	0,13	0,24	0,00	0,07	0,14	0,08	0,10	0,02	0,41	0,06	0,17
SENA	0,25	0,00	0,10	0,08	0,07	0,14	0,02	0,50	0,01	0,67	0,22	0,01	0,08	0,11	0,06	0,17	0,03	0,34	0,03	0,35	0,00	0,91	0,08	0,12
SIACHOQUE	0,19	0,01	0,16	0,02	0,05	0,20	0,00	0,91	0,02	0,50	0,10	0,07	0,04	0,30	0,05	0,23	0,10	0,07	0,07	0,14	0,18	0,02	0,26	0,00
SIERRA LA	0,14	0,03	0,14	0,03	0,06	0,18	0,11	0,06	0,01	0,70	0,22	0,01	0,23	0,00	0,26	0,00	0,08	0,10	0,20	0,01	0,04	0,29	0,02	0,43
SIERRA NEV COCUY	0,10	0,07	0,06	0,16	0,02	0,44	0,04	0,29	0,00	0,83	0,23	0,01	0,04	0,29	0,08	0,10	0,03	0,34	0,07	0,15	0,00	0,93	0,01	0,55
SOMONDCO	0,00	0,75	0,00	0,91	0,08	0,12	0,04	0,27	0,00	0,83	0,01	0,58	0,05	0,21	0,13	0,04	0,04	0,26	0,11	0,06	0,04	0,27	0,00	0,74
SOTAQUIRA	0,21	0,01	0,03	0,38	0,01	0,54	0,01	0,59	0,01	0,65	0,23	0,01	0,27	0,00	0,19	0,01	0,06	0,15	0,09	0,08	0,00	0,99	0,34	0,00
STA MARIA	0,01	0,51	0,01	0,55	0,21	0,01	0,01	0,66	0,00	0,92	0,00	0,97	0,02	0,44	0,03	0,35	0,01	0,66	0,07	0,14	0,02	0,44	0,01	0,69
STA ROSITA	0,02	0,41	0,04	0,25	0,05	0,22	0,01	0,53	0,02	0,49	0,20	0,01	0,09	0,09	0,19	0,01	0,01	0,58	0,01	0,65	0,00	0,77	0,01	0,59
SURBATA BONZA	0,41	0,00	0,07	0,13	0,02	0,50	0,04	0,26	0,01	0,64	0,24	0,00	0,20	0,01	0,28	0,00	0,05	0,21	0,11	0,07	0,07	0,14	0,10	0,07
SUSACON	0,03	0,36	0,06	0,18	0,00	0,82	0,04	0,27	0,00	0,85	0,04	0,25	0,10	0,08	0,11	0,05	0,00	0,79	0,00	0,79	0,02	0,44	0,03	0,38
SUTATENZA	0,05	0,21	0,00	0,78	0,07	0,15	0,09	0,10	0,04	0,24	0,06	0,17	0,07	0,13	0,20	0,01	0,08	0,11	0,14	0,03	0,13	0,04	0,00	0,86
TASCO	0,21	0,01	0,09	0,10	0,14	0,03	0,01	0,66	0,03	0,31	0,09	0,10	0,06	0,17	0,09	0,09	0,07	0,13	0,11	0,06	0,01	0,53	0,02	0,42
TIBANA	0,31	0,32	0,26	0,00	0,36	0,29	0,05	0,20	0,56	0,18	0,06	0,18	0,05	0,23	0,00	0,75	0,01	0,65	0,08	0,12	0,10	0,07	0,10	0,07

ESTACIÓN	ENE		FEB		MAR		ARB		MAY		JUN		JUL		AGO		SEP		OCT		NOV		DIC	
	R ²	P	R ²	P	R ²	P	R ²	P	R ²	P	R ²	P	R ²	P	R ²	P	R ²	P	R ²	P	R ²	P	R ²	P
TIBASOSA	0,11	0,07	0,39	0,27	0,00	0,95	0,01	0,65	0,00	0,80	0,23	0,00	0,16	0,02	0,06	0,06	0,04	0,28	0,22	0,01	0,00	0,86	0,02	0,44
TOQUILLA	0,16	0,02	0,17	0,02	0,00	0,75	0,02	0,41	0,00	0,83	0,02	0,49	0,07	0,13	0,03	0,33	0,04	0,25	0,39	0,00	0,00	0,97	0,09	0,09
TRIQUE EL	0,00	0,77	0,20	0,01	0,01	0,54	0,11	0,05	0,20	0,01	0,11	0,06	0,08	0,11	0,04	0,29	0,02	0,42	0,11	0,06	0,07	0,14	0,02	0,50
TUNEL EL	0,24	0,00	0,18	0,01	0,01	0,56	0,00	0,76	0,00	0,84	0,23	0,01	0,10	0,07	0,01	0,65	0,14	0,03	0,12	0,05	0,05	0,24	0,04	0,29
TUNGUAVITA	0,02	0,47	0,09	0,09	0,01	0,53	0,02	0,49	0,09	0,09	0,11	0,56	0,09	0,09	0,19	0,01	0,03	0,33	0,00	0,84	0,03	0,38	0,10	0,07
TURMEQUE	0,00	0,89	0,04	0,29	0,00	0,96	0,00	0,73	0,04	0,29	0,01	0,58	0,03	0,31	0,03	0,37	0,06	0,16	0,02	0,45	0,01	0,62	0,07	0,13
TUTAZA	0,04	0,25	0,07	0,15	0,03	0,36	0,01	0,65	0,08	0,11	0,05	0,23	0,03	0,34	0,14	0,04	0,05	0,20	0,08	0,12	0,04	0,25	0,00	1,00
UMBITA	0,04	0,24	0,06	0,16	0,00	0,73	0,97	0,07	0,06	0,17	0,02	0,39	0,08	0,12	0,06	0,16	0,13	0,04	0,01	0,71	0,18	0,01	0,29	0,00
UPTC	0,15	0,03	0,07	0,13	0,05	0,24	0,07	0,14	0,00	0,92	0,21	0,01	0,12	0,05	0,00	0,79	0,09	0,09	0,14	0,03	0,09	0,09	0,23	0,01
VALLE GRANDE	0,03	0,38	0,05	0,19	0,09	0,10	0,00	0,89	0,00	0,74	0,10	0,08	0,13	0,04	0,12	0,05	0,08	0,12	0,15	0,03	0,04	0,30	0,00	0,08
VENTAQUEMADA	0,19	0,01	0,13	0,04	0,03	0,37	0,02	0,44	0,00	0,78	0,00	0,87	0,08	0,12	0,18	0,02	0,07	0,13	0,13	0,04	0,02	0,43	0,22	0,01
VILLA CARMEN	0,21	0,01	0,12	0,05	0,06	0,17	0,04	0,29	0,01	0,58	0,19	0,01	0,20	0,01	0,01	0,71	0,06	0,19	0,04	0,27	0,05	0,23	0,26	0,00
VILLA DE LEYVA	0,12	0,05	0,04	0,24	0,01	0,51	0,01	0,62	0,01	0,60	0,17	0,02	0,16	0,02	0,10	0,08	0,13	0,04	0,08	0,10	0,13	0,04	0,14	0,03
VILLA LUISA	0,20	0,01	0,00	0,80	0,07	0,14	0,05	0,24	0,02	0,42	0,26	0,00	0,06	0,18	0,09	0,10	0,15	0,03	0,21	0,01	0,10	0,07	0,28	0,00
VISTA HERMOSA	0,01	0,61	0,06	0,17	0,07	0,13	0,01	0,54	0,04	0,24	0,01	0,66	0,03	0,36	0,06	0,19	0,03	0,34	0,02	0,39	0,04	0,28	0,00	0,98
ZETAQUIRA	0,17	0,02	0,11	0,06	0,00	0,91	0,10	0,08	0,08	0,11	0,08	0,12	0,01	0,71	0,14	0,03	0,04	0,30	0,01	0,59	0,14	0,03	0,03	0,35

Fuente: el autor, mayo 2014.

Tabla 10. Resultado correlación SST con la precipitación.

ESTACIÓN	ENE		FEB		MAR		ARB		MAY		JUN		JUL		AGO		SEP		OCT		NOV		DIC	
	R ²	P	R ²	P	R ²	P	R ²	P	R ²	P	R ²	P	R ²	P	R ²	P	R ²	P	R ²	P	R ²	P	R ²	P
ALMEIDA	0,02	0,46	0,14	0,04	0,02	0,42	0,05	0,22	0,00	0,88	0,07	0,16	0,06	0,19	0,11	0,07	0,00	0,91	0,00	0,86	0,00	0,95	0,01	0,57
ALTO MUCEANO	0,00	0,82	0,01	0,55	0,08	0,14	0,17	0,02	0,01	0,58	0,01	0,59	0,00	0,73	0,03	0,33	0,00	0,81	0,01	0,68	0,10	0,08	0,11	0,07
ANTENA TV RUSIA LA	0,19	0,01	0,06	0,17	0,03	0,33	0,00	0,94	0,00	0,73	0,10	0,08	0,00	0,77	0,06	0,19	0,14	0,04	0,01	0,61	0,07	0,16	0,20	0,01
APTO CALLEJAS	0,18	0,02	0,01	0,72	0,18	0,02	0,05	0,23	0,16	0,03	0,00	0,77	0,01	0,65	0,03	0,39	0,20	0,01	0,00	0,88	0,08	0,12	0,04	0,29
ARCABUCO	0,28	0,00	0,09	0,10	0,05	0,24	0,01	0,58	0,03	0,39	0,04	0,29	0,00	0,76	0,10	0,08	0,07	0,15	0,00	0,77	0,03	0,79	0,04	0,27
AZULEJOS LOS	0,09	0,10	0,10	0,09	0,09	0,10	0,00	0,91	0,05	0,23	0,01	0,63	0,02	0,47	0,12	0,05	0,18	0,02	0,03	0,36	0,05	0,22	0,18	0,02
BELENCITO	0,15	0,03	0,04	0,26	0,10	0,08	0,05	0,23	0,17	0,02	0,00	0,80	0,00	0,96	0,03	0,34	0,07	0,15	0,01	0,57	0,12	0,06	0,00	0,76
BOAVITA	0,03	0,34	0,08	0,13	0,01	0,53	0,06	0,18	0,07	0,04	0,03	0,39	0,00	0,81	0,17	0,02	0,01	0,70	0,03	0,37	0,01	0,55	0,15	0,03
BORBUR2	0,05	0,23	0,01	0,59	0,00	0,77	0,10	0,09	0,07	0,14	0,00	0,79	0,03	0,34	0,11	0,07	0,00	0,89	0,05	0,26	0,03	0,37	0,03	0,38
CAMP BUENAVISTA	0,10	0,08	0,02	0,44	0,02	0,50	0,05	0,21	0,03	0,37	0,00	0,97	0,00	0,88	0,06	0,20	0,03	0,32	0,01	0,62	0,07	0,15	0,22	0,01
CAMPO REAL	0,00	0,42	0,05	0,22	0,08	0,92	0,03	0,35	0,00	0,79	0,05	0,25	0,11	0,07	0,04	0,26	0,05	0,22	0,00	0,93	0,02	0,40	0,05	0,24
CAPILLA LA	0,10	0,08	0,11	0,07	0,05	0,23	0,03	0,38	0,03	0,34	0,01	0,54	0,00	0,93	0,10	0,08	0,01	0,59	0,00	0,83	0,02	0,44	0,04	0,29
CARDON EL	0,09	0,11	0,04	0,26	0,00	0,76	0,03	0,34	0,01	0,61	0,00	0,88	0,06	0,19	0,01	0,52	0,14	0,04	0,00	1,00	0,20	0,01	0,18	0,02

ESTACIÓN	ENE		FEB		MAR		ARB		MAY		JUN		JUL		AGO		SEP		OCT		NOV		DIC	
	R ²	P	R ²	P	R ²	P	R ²	P	R ²	P	R ²	P	R ²	P	R ²	P	R ²	P	R ²	P	R ²	P	R ²	P
CASA AMARILLA	0,09	0,10	0,01	0,62	0,06	0,18	0,02	0,44	0,08	0,12	0,02	0,51	0,02	0,45	0,02	0,43	0,35	0,00	0,00	0,78	0,03	0,38	0,13	0,05
CAZADERO	0,05	0,21	0,01	0,62	0,06	0,20	0,05	0,24	0,03	0,39	0,05	0,22	0,00	1,00	0,00	0,94	0,00	0,97	0,00	0,99	0,02	0,42	0,06	0,19
CEDROS LOS	0,03	0,34	0,01	0,66	0,02	0,42	0,20	0,01	0,06	0,18	0,05	0,22	0,00	0,83	0,07	0,14	0,17	0,02	0,02	0,51	0,10	0,09	0,04	0,28
CEREZO EL	0,30	0,00	0,04	0,28	0,06	0,19	0,05	0,22	0,12	0,06	0,03	0,35	0,03	0,39	0,05	0,33	0,17	0,02	0,00	0,97	0,10	0,09	0,19	0,02
CHINAVITA	0,11	0,06	0,00	0,92	0,00	0,78	0,07	0,14	0,04	0,31	0,00	0,94	0,01	0,08	0,00	0,93	0,16	0,03	0,03	0,32	0,11	0,06	0,45	0,00
CHISCAS	0,02	0,44	0,17	0,02	0,03	0,38	0,05	0,25	0,17	0,02	0,00	0,74	0,00	0,97	0,13	0,05	0,04	0,29	0,01	0,61	0,01	0,53	0,00	0,74
CHITA	0,01	0,55	0,00	0,85	0,07	0,17	0,01	0,57	0,06	0,20	0,63	0,38	0,14	0,04	0,01	0,70	0,19	0,01	0,01	0,58	0,08	0,14	0,14	0,04
CHIVOR	0,02	0,49	0,03	0,36	0,04	0,30	0,09	0,11	0,01	0,55	0,08	0,12	0,02	0,46	0,02	0,43	0,00	0,74	0,04	0,31	0,03	0,34	0,04	0,27
CINTAS LAS	0,23	0,01	0,03	0,34	0,03	0,36	0,01	0,66	0,06	0,20	0,11	0,07	0,04	0,30	0,00	0,77	0,25	0,01	0,06	0,18	0,15	0,03	0,13	0,05
COCUY EL	0,08	0,13	0,14	0,04	0,08	0,11	0,07	0,16	0,01	0,70	0,08	0,13	0,01	0,64	0,13	0,05	0,04	0,31	0,03	0,36	0,00	0,74	0,05	0,22
COMBITA	0,27	0,00	0,07	0,16	0,16	0,03	0,04	0,28	0,06	0,20	0,00	0,89	0,04	0,27	0,00	0,89	0,15	0,03	0,02	0,41	0,03	0,33	0,11	0,07
COMODA LA	0,06	0,19	0,12	0,06	0,04	0,29	0,05	0,22	0,01	0,69	0,02	0,47	0,01	0,71	0,12	0,05	0,02	0,45	0,02	0,48	0,03	0,36	0,14	0,04
COPER	0,20	0,01	0,14	0,04	0,01	0,71	0,02	0,49	0,00	0,96	0,05	0,22	0,00	0,89	0,08	0,13	0,07	0,15	0,07	0,31	0,00	0,81	0,07	0,16
CORINTO	0,03	0,34	0,00	0,82	0,07	0,14	0,15	0,03	0,02	0,05	0,20	0,01	0,01	0,67	0,14	0,04	0,08	0,12	0,01	0,59	0,04	0,29	0,05	0,22
COVARACHIA	0,05	0,21	0,02	0,47	0,01	0,05	0,01	0,55	0,09	0,11	0,06	0,18	0,12	0,06	0,01	0,66	0,01	0,71	0,08	0,12	0,02	0,44	0,07	0,15
CURITAL	0,11	0,06	0,06	0,18	0,12	0,06	0,01	0,64	0,00	0,79	0,08	0,13	0,06	0,18	0,06	0,18	0,14	0,04	0,00	0,94	0,09	0,11	0,15	0,04
DUITAMA	0,20	0,01	0,08	0,12	0,01	0,66	0,06	0,19	0,04	0,31	0,00	0,80	0,02	0,46	0,06	0,18	0,07	0,14	0,01	0,58	0,02	0,45	0,19	0,02
EMPORIO EL HDA	0,16	0,03	0,02	0,51	0,00	0,87	0,00	0,86	0,06	0,20	0,02	0,42	0,02	0,48	0,10	0,08	0,15	0,03	0,00	0,94	0,01	0,56	0,22	0,01
ESC LOS MOLINOS	0,01	0,53	0,00	0,80	0,00	0,73	0,00	1,00	0,02	0,49	0,07	0,14	0,06	0,18	0,00	0,82	0,00	0,78	0,00	0,76	0,00	0,81	0,03	0,38
FIRAVITOBA	0,13	0,05	0,00	0,78	0,10	0,08	0,48	0,24	0,01	0,60	0,01	0,56	0,00	0,73	0,03	0,38	0,15	0,03	0,00	0,87	0,03	0,38	0,02	0,40
GACHANTIVA	0,10	0,08	0,10	0,08	0,04	0,30	0,03	0,40	0,00	0,74	0,07	0,17	0,02	0,41	0,00	0,79	0,09	0,10	0,01	0,61	0,01	0,64	0,22	0,01
GARAGOA	0,16	0,03	0,02	0,45	0,00	0,80	0,08	0,12	0,01	0,69	0,05	0,21	0,03	0,39	0,08	0,13	0,14	0,04	0,03	0,39	0,03	0,39	0,09	0,10
GARROCHO EL	0,04	0,29	0,05	0,25	0,13	0,05	0,04	0,26	0,09	0,10	0,00	0,89	0,00	0,78	0,03	0,37	0,19	0,02	0,01	0,61	0,07	0,15	0,16	0,03
GUAYATA LA GRANJA	0,05	0,23	0,00	0,95	0,00	0,73	0,01	0,62	0,00	0,85	0,18	0,07	0,05	0,22	0,00	0,77	0,07	0,15	0,00	0,83	0,06	0,15	0,10	0,08
INT ARG MACANAL	0,16	0,03	0,18	0,02	0,01	0,62	0,09	0,11	0,20	0,28	0,06	0,19	0,02	0,44	0,00	0,74	0,05	0,22	0,00	0,92	0,01	0,65	0,20	0,01
IZA	0,10	0,08	0,04	0,29	0,11	0,06	0,06	0,19	0,24	0,01	0,07	0,16	0,01	0,65	0,01	0,54	0,17	0,02	0,00	0,91	0,04	0,26	0,02	0,45
JERICO	0,07	0,14	0,07	0,17	0,04	0,27	0,02	0,50	0,01	0,71	0,01	0,59	0,00	0,78	0,06	0,21	0,10	0,09	0,03	0,35	0,05	0,21	0,04	0,26
MIRAVALLS	0,11	0,07	0,08	0,12	0,01	0,52	0,18	0,02	0,00	0,95	0,02	0,49	0,18	0,02	0,15	0,04	0,06	0,19	0,00	0,83	0,00	0,95	0,05	0,23
MONGUA	0,11	0,07	0,03	0,39	0,06	0,18	0,01	0,52	0,14	0,04	0,00	0,88	0,00	0,72	0,09	0,11	0,20	0,01	0,00	0,97	0,10	0,83	0,02	0,47
MONGUI	0,14	0,04	0,03	0,35	0,18	0,02	0,13	0,04	0,08	0,12	0,10	0,09	0,01	0,70	0,03	0,33	0,12	0,06	0,00	0,86	0,00	0,98	0,03	0,37
MONIQUIRA	0,18	0,02	0,10	0,09	0,01	0,57	0,00	0,80	0,03	0,33	0,10	0,86	0,01	0,68	0,06	0,20	0,03	0,33	0,01	0,70	0,05	0,24	0,06	0,20
MORTINO EL	0,30	0,00	0,07	0,17	0,11	0,06	0,05	0,24	0,00	0,78	0,04	0,62	0,06	0,19	0,21	0,10	0,11	0,07	0,00	0,84	0,04	0,29	0,10	0,09
MUZO	0,10	0,09	0,18	0,02	0,04	0,26	0,13	0,04	0,04	0,30	0,23	0,01	0,01	0,60	0,05	0,23	0,03	0,37	0,02	0,48	0,42	0,27	0,01	0,63
NAZARETH	0,07	0,54	0,00	0,77	0,13	0,05	0,04	0,26	0,01	0,55	0,01	0,65	0,02	0,41	0,01	0,54	0,04	0,32	0,02	0,49	0,06	0,31	0,07	0,16
NIMICIA ESC RURAL	0,22	0,01	0,04	0,31	0,04	0,28	0,01	0,55	0,01	0,54	0,01	0,66	0,17	0,02	0,02	0,51	0,11	0,07	0,02	0,44	0,11	0,06	0,00	0,84

ESTACIÓN	ENE		FEB		MAR		ARB		MAY		JUN		JUL		AGO		SEP		OCT		NOV		DIC	
	R ²	P	R ²	P	R ²	P	R ²	P	R ²	P	R ²	P	R ²	P	R ²	P	R ²	P	R ²	P	R ²	P	R ²	P
NOBSA	0,09	0,11	0,02	0,42	0,09	0,10	0,07	0,16	0,07	0,15	0,00	0,79	0,03	0,40	0,01	0,57	0,08	0,12	0,03	0,38	0,07	0,16	0,01	0,64
NUEVO COLON	0,23	0,01	0,04	0,27	0,16	0,02	0,03	0,34	0,07	0,16	0,00	0,96	0,09	0,10	0,09	0,10	0,08	0,13	0,00	0,86	0,09	0,09	0,19	0,01
OTANCHE	0,03	0,38	0,08	0,12	0,11	0,06	0,00	0,80	0,03	0,40	0,12	0,06	0,01	0,61	0,06	0,20	0,11	0,07	0,00	0,82	0,00	0,90	0,02	0,44
PACHAVITA	0,06	0,18	0,00	0,19	0,01	0,61	0,06	0,20	0,01	0,65	0,05	0,22	0,13	0,05	0,03	0,36	0,04	0,30	0,03	0,34	0,04	0,28	0,07	0,15
PAJARITO	0,00	0,95	0,06	0,18	0,19	0,01	0,21	0,01	0,06	0,17	0,02	0,52	0,04	0,31	0,01	0,61	0,89	0,10	0,03	0,36	0,01	0,54	0,00	0,82
PALERMO	0,07	0,14	0,07	0,16	0,13	0,05	0,01	0,65	0,02	0,51	0,02	0,44	0,01	0,60	0,06	0,20	0,23	0,01	0,00	0,96	0,07	0,16	0,03	0,33
PANELAS	0,09	0,10	0,09	0,10	0,09	0,10	0,01	0,65	0,00	0,86	0,05	0,21	0,12	0,05	0,03	0,32	0,12	0,06	0,00	0,78	0,10	0,09	0,23	0,01
PESCA	0,08	0,13	0,64	0,17	0,10	0,08	0,02	0,41	0,15	0,03	0,02	0,46	0,00	0,79	0,04	0,28	0,19	0,02	0,06	0,20	0,05	0,24	0,11	0,06
PIEDRA CAMPANA	0,04	0,27	0,06	0,17	0,23	0,01	0,35	0,00	0,01	0,60	0,03	0,39	0,03	0,39	0,00	0,92	0,03	0,36	0,03	0,38	0,01	0,67	0,11	0,07
POMARROSOS LOS	0,03	0,32	0,01	0,58	0,10	0,09	0,04	0,26	0,01	0,72	0,02	0,43	0,67	0,16	0,02	0,42	0,04	0,26	0,09	0,10	0,00	0,84	0,01	0,61
POTRERITO	0,12	0,06	0,01	0,59	0,00	0,75	0,01	0,65	0,02	0,47	0,01	0,71	0,00	0,82	0,02	0,44	0,17	0,02	0,00	0,90	0,10	0,09	0,11	0,07
PTE FORERO	0,03	0,32	0,05	0,24	0,00	0,84	0,11	0,75	0,12	0,05	0,01	0,57	0,03	0,37	0,01	0,52	0,00	0,92	0,00	0,72	0,08	0,11	0,11	0,07
PTE NINO	0,10	0,08	0,40	0,00	0,01	0,54	0,00	0,95	0,01	0,66	0,01	0,65	0,02	0,46	0,01	0,57	0,00	0,76	0,08	0,12	0,03	0,36	0,04	0,31
PTO BOYACÁ	0,06	0,18	0,37	0,00	0,05	0,24	0,00	0,84	0,03	0,37	0,04	0,30	0,02	0,49	0,03	0,34	0,01	0,71	0,04	0,26	0,01	0,65	0,02	0,46
QUEBRADA HONDA	0,00	0,75	0,07	0,15	0,16	0,03	0,17	0,02	0,01	0,64	0,05	0,24	0,02	0,43	0,02	0,51	0,00	0,82	0,09	0,11	0,12	0,06	0,08	0,13
QUINCHOS LOS	0,00	0,79	0,00	0,90	0,00	0,92	0,01	0,53	0,03	0,33	0,05	0,25	0,05	0,23	0,00	0,85	0,09	0,11	0,01	0,49	0,01	0,67	0,26	0,00
RAMIRIQUEI	0,26	0,00	0,01	0,54	0,11	0,06	0,00	0,94	0,00	0,80	0,04	0,28	0,03	0,36	0,00	0,92	0,00	0,84	0,04	0,31	0,00	0,88	0,18	0,02
RAQUIRA	0,14	0,04	0,16	0,03	0,07	0,14	0,01	0,58	0,20	0,01	0,24	0,01	0,03	0,38	0,01	0,67	0,03	0,39	0,01	0,87	0,01	0,56	0,07	0,16
RONDON	0,06	0,18	0,03	0,35	0,01	0,55	0,15	0,03	0,02	0,52	0,00	0,93	0,01	0,61	0,07	0,15	0,04	0,31	0,03	0,34	0,02	0,49	0,09	0,10
SAN ANTONIO	0,32	0,00	0,04	0,29	0,13	0,05	0,02	0,44	0,08	0,13	0,10	0,09	0,02	0,44	0,07	0,16	0,11	0,07	0,01	0,57	0,00	0,83	0,17	0,02
SAN CRISTOBAL	0,12	0,06	0,08	0,11	0,11	0,06	0,02	0,41	0,02	0,47	0,16	0,50	0,00	0,74	0,04	0,28	0,21	0,01	0,05	0,22	0,11	0,07	0,13	0,05
SAN LUIS DE GACENO	0,03	0,38	0,11	0,07	0,01	0,55	0,20	0,01	0,01	0,55	0,73	0,14	0,12	0,06	0,01	0,52	0,06	0,20	0,00	0,83	0,04	0,30	0,01	0,59
SAN PEDRO DE IGUAQUE	0,19	0,01	0,09	0,10	0,03	0,36	0,01	0,68	0,20	0,01	0,02	0,40	0,03	0,38	0,00	0,17	0,16	0,03	0,00	1,00	0,00	0,80	0,18	0,02
SANTA ROSA DE VITERBO	0,18	0,02	0,08	0,13	0,03	0,39	0,07	0,17	0,08	0,13	0,02	0,40	0,07	0,17	0,04	0,32	0,12	0,06	0,00	0,78	0,04	0,30	0,17	0,02
SATIVANORTE	0,17	0,02	0,17	0,02	0,14	0,04	0,01	0,57	0,01	0,62	0,00	0,79	0,01	0,72	0,12	0,06	0,04	0,26	0,00	0,85	0,03	0,34	0,19	0,02
SENA	0,18	0,02	0,07	0,17	0,06	0,18	0,18	0,02	0,11	0,07	0,01	0,64	0,00	0,87	0,02	0,48	0,16	0,03	0,01	0,57	0,33	0,33	0,03	0,33
SIACHOQUE	0,09	0,11	0,06	0,20	0,10	0,08	0,00	0,98	0,02	0,43	0,04	0,28	0,06	0,19	0,10	0,60	0,19	0,01	0,00	0,90	0,21	0,01	0,08	0,14
SIERRA LA	0,09	0,10	0,12	0,06	0,16	0,03	0,05	0,21	0,04	0,26	0,11	0,08	0,02	0,49	0,06	0,18	0,02	0,48	0,01	0,64	0,02	0,48	0,02	0,42
SIERRA NEV COCUY	0,09	0,10	0,13	0,04	0,16	0,03	0,03	0,34	0,05	0,23	0,00	0,84	0,01	0,55	0,03	0,33	0,09	0,09	0,00	0,78	0,03	0,33	0,00	0,87
SOMONDCO	0,02	0,45	0,02	0,44	0,00	0,98	0,03	0,38	0,02	0,41	0,01	0,69	0,11	0,07	0,20	0,44	0,02	0,43	0,00	0,91	0,00	0,91	0,02	0,46
SOTAQUIRA	0,13	0,05	0,11	0,08	0,08	0,12	0,00	0,95	0,02	0,50	0,02	0,50	0,00	0,83	0,05	0,25	0,14	0,04	0,07	0,16	0,02	0,48	0,25	0,00
STA MARIA	0,09	0,10	0,01	0,68	0,03	0,34	0,18	0,02	0,13	0,04	0,01	0,60	0,00	0,86	0,01	0,60	0,03	0,36	0,02	0,50	0,03	0,35	0,11	0,07
STA ROSITA	0,01	0,64	0,10	0,08	0,04	0,27	0,01	0,62	0,08	0,13	0,00	0,92	0,00	0,93	0,05	0,22	0,02	0,47	0,85	0,11	0,00	0,82	0,03	0,39
SURBATA BONZA	0,24	0,01	0,04	0,26	0,05	0,22	0,14	0,04	0,12	0,06	0,01	0,70	0,01	0,59	0,10	0,09	0,03	0,32	0,04	0,31	0,02	0,46	0,26	0,00
SUSACON	0,01	0,68	0,07	0,15	0,00	0,72	0,02	0,47	0,02	0,50	0,05	0,22	0,01	0,60	0,15	0,03	0,05	0,25	0,07	0,17	0,03	0,35	0,03	0,35

ESTACIÓN	ENE		FEB		MAR		ARB		MAY		JUN		JUL		AGO		SEP		OCT		NOV		DIC	
	R ²	P	R ²	P	R ²	P	R ²	P	R ²	P	R ²	P	R ²	P	R ²	P	R ²	P	R ²	P	R ²	P	R ²	P
SUTATENZA	0,07	0,17	0,01	0,60	0,01	0,55	0,02	0,49	0,01	0,59	0,18	0,02	0,06	0,17	0,05	0,22	0,11	0,07	0,00	0,94	0,07	0,17	0,02	0,49
TASCO	0,15	0,03	0,05	0,22	0,18	0,02	0,01	0,65	0,13	0,05	0,01	0,58	0,00	0,87	0,01	0,68	0,15	0,03	0,00	0,88	0,01	0,58	0,00	0,73
TIBANA	0,02	0,42	0,05	0,21	0,06	0,19	0,04	0,27	0,02	0,52	0,01	0,65	0,00	0,83	0,07	0,15	0,04	0,27	0,00	0,85	0,01	0,54	0,11	0,07
TIBASOSA	0,06	0,17	0,02	0,50	0,02	0,47	0,00	0,89	0,16	0,02	0,01	0,63	0,01	0,58	0,03	0,37	0,16	0,02	0,00	0,75	0,04	0,30	0,00	0,99
TOQUILLA	0,05	0,21	0,09	0,11	0,00	0,81	0,00	0,79	0,00	0,77	0,01	0,62	0,00	0,78	0,00	0,97	0,08	0,12	0,02	0,52	0,00	0,99	0,08	0,35
TRIQUE EL	0,06	0,20	0,27	0,00	0,04	0,28	0,00	0,74	0,01	0,53	0,00	0,73	0,00	0,90	0,01	0,61	0,01	0,65	0,00	0,76	0,01	0,62	0,02	0,49
TUNEL EL	0,09	0,11	0,01	0,53	0,07	0,14	0,04	0,29	0,12	0,05	0,01	0,63	0,00	0,81	0,01	0,64	0,25	0,00	0,01	0,63	0,06	0,19	0,02	0,49
TUNGUAVITA	0,10	0,08	0,41	0,00	0,01	0,53	0,00	0,95	0,00	0,75	0,01	0,64	0,02	0,42	0,08	0,12	0,00	0,74	0,06	0,17	0,02	0,49	0,04	0,30
TURMEQUE	0,01	0,64	0,01	0,65	0,02	0,50	0,00	0,91	0,01	0,66	0,04	0,31	0,01	0,65	0,01	0,65	0,08	0,12	0,00	0,74	0,01	0,54	0,18	0,02
TUTAZA	0,03	0,24	0,04	0,30	0,02	0,51	0,01	0,66	0,01	0,61	0,03	0,39	0,04	0,28	0,00	0,83	0,11	0,07	0,02	0,41	0,12	0,06	0,08	0,13
UMBITA	0,01	0,54	0,02	0,43	0,00	0,78	0,03	0,38	0,05	0,25	0,00	0,80	0,02	0,48	0,01	0,61	0,10	0,09	0,00	0,79	0,07	0,15	0,31	0,00
UPTC	0,10	0,08	0,37	0,15	0,13	0,05	0,01	0,69	0,08	0,13	0,02	0,47	0,00	0,75	0,01	0,66	0,18	0,02	0,00	0,84	0,07	0,14	0,18	0,02
VALLE GRANDE	0,05	0,24	0,05	0,22	0,06	0,21	0,08	0,13	0,08	0,12	0,00	0,89	0,03	0,39	0,02	0,51	0,23	0,01	0,05	0,23	0,01	0,71	0,03	0,33
VENTAQUEMADA	0,14	0,04	0,14	0,04	0,15	0,03	0,00	0,87	0,04	0,28	0,01	0,71	0,14	0,04	0,03	0,39	0,18	0,02	0,02	0,45	0,02	0,47	0,20	0,01
VILLA CARMEN	0,26	0,00	0,05	0,25	0,25	0,00	0,00	0,75	0,12	0,05	0,13	0,05	0,00	0,98	0,00	1,00	0,17	0,02	0,00	0,75	0,08	0,12	0,22	0,01
VILLA DE LEYVA	0,16	0,03	0,02	0,51	0,00	0,08	0,02	0,48	0,08	0,12	0,00	0,84	0,11	0,07	0,05	0,21	0,15	0,03	0,00	0,92	0,00	0,74	0,11	0,06
VILLA LUISA	0,22	0,01	0,07	0,15	0,07	0,16	0,01	0,60	0,01	0,03	0,13	0,05	0,00	0,88	0,00	0,72	0,08	0,12	0,01	0,55	0,07	0,14	0,21	0,01
VISTA HERMOSA	0,00	0,90	0,14	0,04	0,04	0,26	0,14	0,04	0,02	0,45	0,01	0,63	0,01	0,55	0,00	0,90	0,09	0,11	0,01	0,59	0,01	0,61	0,12	0,06
ZETAQUIRA	0,18	0,02	0,01	0,58	0,02	0,40	0,08	0,13	0,03	0,35	0,02	0,48	0,11	0,07	0,17	0,02	0,00	0,93	0,00	0,96	0,05	0,22	0,07	0,16

Fuente: el autor, mayo 2014.

Anexo D. CARPETA ANEXA EN EL CD

En el Anexo D se encuentran las siguientes carpetas,

a. Base de datos: (5 archivos)

- Un archivo txt (20130212112329) que contiene cartas originales de los registros de precipitación, suministradas por el IDEAM a la Universidad Santo Tomas.
- Tres archivos en formato xls de la precipitación mensual, precipitación máxima mensual y número de días de precipitación, para cada una se elaboró la matriz que contiene los registros de precipitación de cada estación, datos a ser completados, porcentaje de datos faltantes, y resumen estadístico.
- Un archivo en formato xls de la precipitación media multianual por municipio.

b. Gráficas Análisis Estadístico: (4 carpetas)

- Una carpeta que contiene el Cronograma de Precipitación.
- Una carpeta con los diagramas de Caja para la precipitación media mensual, Máxima media y Número de días de lluvia.
- Una carpeta con los Hietogramas de precipitación media mensual, Máxima media y Número de días medios.
- Una carpeta con los Histogramas de precipitación media mensual, Máxima media y Número de días.

c. Gráficas Completado de Datos: (1 archivo)

- Una carpeta que contiene las gráficas de correlación entre estaciones con su respectiva regresión.

d. Completado de Datos: (2 Carpetas)

- Una carpeta que contiene el completado de datos de cada estación generado por el programa HIDROBAS en formato .txt.
- Una carpeta que contiene el resumen de los parámetros calculados durante el completado de datos de cada estación en formato .txt.

e. Correlación Precipitación - SOI & SST: (2 Carpetas y 2 archivos)

- Una carpeta que contiene los resultados de la correlación de la precipitación con el SOI en formato .spv, para cada mes.

- Una carpeta que contiene los resultados de la correlación de la precipitación con el SST en formato .spv, para cada mes.
- Un documento que contiene las gráficas de la incidencia del SOI & SST con la precipitación.
- Un archivo en formato xls que contiene las gráficas de la correlación de la precipitación con las variables macroclimáticas SOI & SST para cada estación.

f. Métodos de Interpolación (1 archivo)

- Un archivo que contiene las gráficas obtenidas de la interpolación realizada por cada uno de los métodos para cada mes, con la respectiva tabla de resumen.

g. Mapas: (8 carpetas)

- Morfología (4 mapas)
- División Política y Red meteorológica (2 mapas)
- Distribución espacial de la lluvia (12 mapas)
- Distribución espacial precipitación máxima (12 mapas)
- Distribución espacial de lluvias Multianual (1 mapa)
- Número de días de lluvia al año (1 mapa)
- Correlación SOI-Precipitación (12 mapas)
- Correlación SST-Precipitación (12 mapas)