



SYSCOL CONSULTORES S.A.S
Servicios Locales, Soluciones Globales.

CAPITULO 1.4
ANÁLISIS HIDROCLIMATOLÓGICO

CONTENIDO

1. OBJETIVOS.....	8
1.1. OBJETIVO GENERAL	8
1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	8
2. ANÁLISIS Y PROCESAMIENTO DE INFORMACIÓN	9
2.1. RECOLECCIÓN DE REGISTROS HISTÓRICOS	9
2.2. ANÁLISIS Y PROCESAMIENTO DE datos	15
2.2.1. Datos faltantes	15
2.2.2. Metodología de regresión lineal múltiple	16
2.3. Análisis espacial de la información.....	17
2.3.1. Análisis exploratorio gráfico.....	17
2.3.2. Gráficas de series de tiempo	18
3. CARACTERIZACIÓN VARIABLES CLIMATOLÓGICAS.....	51
3.1. PRECIPITACIÓN	52
3.1.1. Distribución temporal de la precipitación	54
3.1.2. Distribución espacial de la precipitación	61
3.2. TEMPERATURA.....	65
3.2.1. Distribución temporal de la temperatura	66
3.2.2. Distribución espacial de la temperatura.....	68
3.3. HUMEDAD RELATIVA.....	83
3.3.1. Distribución temporal de la humedad relativa	84
3.4. BRILLO SOLAR (BS)	85
3.4.1. Distribución temporal del brillo solar	87
3.5. VELOCIDAD DEL VIENTO (VS)	88
3.5.1. Distribución temporal de la velocidad del viento	90
3.6. EVAPOTRANSPIRACIÓN POTENCIAL (ETP)	91
3.6.1. Distribución espacial de la evapotranspiración potencial	93
4. CARACTERIZACIÓN HIDROLÓGICA	97
4.1. CUENCA EMBALSE TOMINÉ	97
4.1.1. Caudales medios anuales y mensuales multianuales.....	99
4.2. CUENCA RIO TEUSACÁ.....	114
4.2.1. Caudales medios anuales y mensuales multianuales.....	117
5. ZONIFICACIÓN CLIMÁTICA	126
5.1. DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DEL CLIMA	128

6. BALANCE HÍDRICO	132
6.1. INTERCEPTACIÓN	132
6.2. INFILTRACIÓN	137
6.2.1. Textura del suelo (K _{fc})	137
6.2.2. Pendiente de terreno (K _p)	139
6.2.3. Cobertura vegetal (K _v)	140
6.3. EVAPOTRANSPIRACIÓN REAL	145
6.4. RESERVA UTIL (RU), SUPERAVIT (SUP) Y DEFICIT (def)	145
7. RECARGA POTENCIAL	149
7.1. MÉTODOS EMPÍRICOS	149
7.1.1. Cheeturvedi	149
7.1.2. Sehgal	149
7.1.3. Turc	150
7.2. MÉTODO BALANCE HÍDRICO MENSUAL DE HUMEDAD DEL SUELO	153
BIBLIOGRAFÍA	155

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Listado de estaciones meteorológicas representativas para el área de estudio.	11
Tabla 2. Parámetros medidos en la red meteorológica para el área de estudio.	13
Tabla 3. Resultados estadísticos de la prueba de normalidad para las estaciones del área de estudio.	27
Tabla 4. Análisis de tendencia para la precipitación total anual (en mm) para las estaciones del área de estudio desde 1988 a 2014.	47
Tabla 5. Análisis de la estabilidad de la varianza para la precipitación total anual (en mm) para las estaciones del área de estudio desde 1988 a 2014.	49
Tabla 6. Estaciones activas de Precipitación en el área de estudio.	58
Tabla 7. Temperatura media mensual multianual en el área de estudio.	67
Tabla 8. Estaciones hidrométricas localizadas en la cuenca del Embalse Tominé.	99
Tabla 9. Cálculo del rendimiento hídrico (RH) para cada estación seleccionada.	112
Tabla 10. Cálculo de caudales mínimos, medios y máximos de las subunidades hidrográficas que componen la unidad hidrológica Embalse de Tominé.	114
Tabla 11. Estaciones hidrométricas localizadas en la Cuenca Río Teusacá.	117
Tabla 12. Cálculo del rendimiento hídrico (RH) para la estación Pte Adobes.	123
Tabla 13. Cálculo de caudales mínimos, medios y máximos de las subunidades hidrográficas que componen la unidad hidrológica Río Teusacá.	125
Tabla 14. Clasificación climática de Caldas.	126
Tabla 15. Clasificación climática de Lang.	126
Tabla 16. Metodología de zonificación ambiental de cuencas hidrográficas.	127
Tabla 17. Valores de Cfo de acuerdo al tipo de cobertura vegetal.	133
Tabla 18. Valores de fc, CC, PMP de acuerdo al tipo de suelo.	138
Tabla 19. Valores de Kp de acuerdo a la pendiente del terreno.	139
Tabla 20. Valores de Kv de acuerdo a la cobertura vegetal.	141
Tabla 21. Profundidad de las raíces de determinadas para las diferentes coberturas identificadas en el área de estudio.	146
Tabla 22. Balance hídrico del suelo – Suelo franco arcilloso.	147
Tabla 23. Balance hídrico del suelo – Suelo franco.	147
Tabla 24. Balance hídrico del suelo – Suelo franco arenoso.	148
Tabla 25. Balance hídrico del suelo – Suelo franco arcillo limoso.	148

LISTA DE IMÁGENES

Imagen 1. Estaciones meteorológicas representativas para el área de estudio.	10
Imagen 2. Registro histórico (27 años) de precipitaciones totales anuales para las estaciones pluviométricas en el área de estudio.	18
Imagen 3. Localización de cada una de las estaciones utilizadas para el análisis de precipitación.	53
Imagen 4. Mapa de la precipitación total anual en el área de estudio.	61
Imagen 5. Precipitación media mensual multianual (enero - junio).	63
Imagen 6. Precipitación media mensual multianual (Julio - diciembre).	64
Imagen 7. Estaciones activas para temperatura activas en el área de estudio.	65

Imagen 8. Mapa de la distribución de la temperatura media anual en el área de estudio – relación temperatura – elevación.	70
Imagen 9. Temperatura media mensual multianual - relación temperatura – elevación (Enero - Junio).....	77
Imagen 10. Temperatura media mensual multianual - relación temperatura – elevación (Julio - Diciembre).....	78
Imagen 11. Mapa de la distribución de la temperatura media anual en el área de estudio – WORLDCLIM.....	79
Imagen 12. Temperatura media mensual multianual - WORLDCLIM (Enero - Junio).	81
Imagen 13. Temperatura media mensual multianual - WORLDCLIM (Julio - Diciembre).	82
Imagen 14. Estaciones activas humedad relativa en el área de estudio.	83
Imagen 15. Estaciones activas para la caracterización del brillo solar en el área de estudio.	86
Imagen 16. Estaciones activas para la caracterización de la velocidad del viento en el área de estudio.	89
Imagen 17. Mapa de evapotranspiración potencial total anual en el área de estudio.	93
Imagen 18. Evapotranspiración potencial media mensual multianual (Enero - Junio).....	95
Imagen 19. Evapotranspiración potencial media mensual multianual (Junio - Diciembre).	96
Imagen 20. Unidades hidrológicas - Cuenca del Embalse Tominé.	98
Imagen 21. Áreas de drenaje de las estaciones hidrométricas seleccionadas.....	113
Imagen 22. Unidades hidrológicas - Cuenca Río Teusacá.	116
Imagen 23. Áreas de drenaje de la estación Pte Adobes.	124
Imagen 24. Clasificación climática de Caldas en el área de estudio.	129
Imagen 25. Clasificación climática de Lang en el área de estudio.....	130
Imagen 26. Zonificación climática CALDAS - LANG del área de estudio.....	131
Imagen 27. Mapa de Cobertura vegetal del área de estudio.	134
Imagen 28. Interceptación mensual en el área de estudio (Enero - Junio).	135
Imagen 29. Interceptación mensual en el área de estudio (Julio - Diciembre).	136
Imagen 30. Mapa de tipo de suelo del área de estudio.	138
Imagen 31. Coeficiente Kfc de acuerdo al tipo de suelo en el área de estudio.	139
Imagen 32. Coeficiente Kp de acuerdo a la pendiente del terreno en el área de estudio.	140
Imagen 33. Coeficiente Kv de acuerdo a la cobertura del suelo en el área de estudio.	141
Imagen 34. Coeficiente de infiltración (Ci) del área de estudio.	142
Imagen 35. Infiltración mensual en el área de estudio (Enero - Junio).	143
Imagen 36. Infiltración mensual en el área de estudio (Julio - Diciembre).	144
Imagen 37. Recarga potencial método de Cheeturvedi en el área de estudio.	151
Imagen 38. Recarga potencial método de Sehgal en el área de estudio.	152
Imagen 39. Recarga potencial método de Turc en el área de estudio.	153
Imagen 40. Recarga potencial diferenciada para cada tipo de suelo en el área de estudio.	154

LISTA DE GRÁFICAS

Gráfica 1. Gráficas de doble masa de las estaciones en el área de estudio Estación Amoladero El	24
Gráfica 2. Gráficas de doble masa de las estaciones en el área de estudio Consuelo El	24
Gráfica 3. Gráficas de doble masa de las estaciones en el área de estudio Estación Guasca	25
Gráfica 4. Gráficas de doble masa de las estaciones en el área de estudio Estación Potrero Largo	26
Gráfica 5. Gráficas de doble masa de las estaciones en el área de estudio Estación Planta Wiessner.....	26
Gráfica 6. Gráficas de Normalidad para las estaciones del área de estudio	28
Gráfica 7. Diagramas de precipitación total anual de las estaciones climatológicas seleccionadas en el área de estudio	54
Gráfica 8. Diagramas de precipitación total anual de las estaciones climatológicas seleccionadas en el área de estudio.	55
Gráfica 9. Diagramas de precipitación total anual de las estaciones climatológicas seleccionadas en el área de estudio.	55
Gráfica 10. Diagrama de precipitación media anual de las estaciones climatológicas seleccionadas en el área de estudio.	56
Gráfica 11. Diagrama de precipitación media anual de las estaciones climatológicas seleccionadas en el área de estudio.	57
Gráfica 12. Diagrama de precipitación media anual de las estaciones climatológicas seleccionadas en el área de estudio.	57
Gráfica 13. Precipitación media mensual multianual en el área de estudio.	59
Gráfica 14. Precipitación media mensual multianual en el área de estudio.	60
Gráfica 15. Precipitación media mensual multianual en el área de estudio.	60
Gráfica 16. Temperatura media anual en las estaciones seleccionadas en el área de estudio.....	66
Gráfica 17. Temperatura media mensual multianual en el área de estudio.	68
Gráfica 18. Relación temperatura – elevación de las estaciones seleccionadas.	69
Gráfica 19. Relación temperatura – elevación de las estaciones seleccionada. Enero....	71
Gráfica 20. Relación temperatura – elevación de las estaciones seleccionada. Febrero. 71	
Gráfica 21. Relación temperatura – elevación de las estaciones seleccionada. Marzo. ..	72
Gráfica 22. Relación temperatura – elevación de las estaciones seleccionada. Abril.	72
Gráfica 23. Relación temperatura – elevación de las estaciones seleccionada. Mayo. ...	73
Gráfica 24. Relación temperatura – elevación de las estaciones seleccionada. Junio.....	73
Gráfica 25. Relación temperatura – elevación de las estaciones seleccionada. Julio.....	74
Gráfica 26. Relación temperatura – elevación de las estaciones seleccionada. Agosto. .	74
Gráfica 27. Relación temperatura – elevación de las estaciones seleccionada. Septiembre.	75
Gráfica 28. Relación temperatura – elevación de las estaciones seleccionada. Octubre. 75	
Gráfica 29. Relación temperatura – elevación de las estaciones seleccionada. Noviembre.	76
Gráfica 30. Relación temperatura – elevación de las estaciones seleccionada. Diciembre.	76

Gráfica 31. Humedad relativa media anual en el área de estudio.....	84
Gráfica 32. Humedad relativa media mensual multianual en el área de estudio.....	85
Gráfica 33. Brillo solar medio anual en el área de estudio.....	87
Gráfica 34. Brillo solar medio mensual multianual para el área de estudio.....	88
Gráfica 35. Velocidad del viento medio anual para el área de estudio.	90
Gráfica 36. Velocidad del viento media mensual para el área de estudio.....	91
Gráfica 37. Caudales mínimos anuales – Estación Vegas La	100
Gráfica 38. Caudales mínimos anuales – Estación San Isidro.	100
Gráfica 39. Caudales mínimos anuales – Estación Sto Domingo.....	101
Gráfica 40. Histograma de caudales mínimos mensuales multianuales – Estación Vegas La.	102
Gráfica 41. Histograma de caudales mínimos mensuales multianuales – Estación San Isidro.....	102
Gráfica 42. Histograma de caudales mínimos mensuales multianuales – Estación Sto Domingo	103
Gráfica 43. Caudales medios anuales – Estación Vegas La.	104
Gráfica 44. Caudales medios anuales – Estación San Isidro.	104
Gráfica 45. Caudales medios anuales – Estación Sto Domingo.....	105
Gráfica 46. Histograma de caudales medios mensuales multianuales – Estación Vegas La.	106
Gráfica 47. Histograma de caudales medios mensuales multianuales – Estación San Isidro.	106
Gráfica 48. Histograma de caudales medios mensuales multianuales – Estación Sto Domingo.....	107
Gráfica 49. Caudales máximos anuales – Estación Vegas La.....	108
Gráfica 50. Caudales máximos anuales – Estación San Isidro.....	109
Gráfica 51. Caudales máximos anuales – Estación Sto Domingo.	109
Gráfica 52. Histograma de caudales máximos mensuales multianuales – Estación Vegas La.	110
Gráfica 53. Histograma de caudales máximos mensuales multianuales – Estación San Isidro.....	111
Gráfica 54. Histograma de caudales máximos mensuales multianuales – Estación Sto Domingo.	111
Gráfica 55. Caudales mínimos anuales – Estación Pte Adobes.....	118
Gráfica 56. Histograma de caudales mínimos mensuales multianuales – Estación Pte Adobes	119
Gráfica 57. Caudales medios anuales – Estación Pte Adobes.....	120
Gráfica 58. Histograma de caudales medios mensuales multianuales – Estación Pte Adobes.	121
Gráfica 59. Caudales máximos anuales – Estación Pte Adobes.	122
Gráfica 60. Histograma de caudales máximos mensuales multianuales – Estación Pte Adobes.	123

LISTA DE ANEXOS

- Anexo 1.** Llenado de datos faltantes realizados en las series utilizadas en el presente (Digital Ver CD)
- Anexo 2.** Análisis de homogeneidad. (Digital Ver CD)
- Anexo 3.** Distribución temporal de las variables climatológicas (Digital Ver CD)
- Anexo 4.** Datos crudos de las estaciones pluviométricas IDEAM, CAR y EAB. (Digital Ver CD)
- Anexo 5.** Mapas de Áreas de drenaje (Físico y digital Ver CD)
- Anexo 6.** Mapas de Estaciones hidrometeorológicas (Físico y digital Ver CD)
- Anexo 7.** Mapas de Evapotranspiración potencial (Físico y digital Ver CD)
- Anexo 8.** Mapas de Infiltración (Físico y digital Ver CD)
- Anexo 9.** Mapas Interceptación (Físico y digital Ver CD)
- Anexo 10.** Mapas Precipitación anual (Físico y digital Ver CD)
- Anexo 11.** Mapas Recarga (Físico y digital Ver CD)
- Anexo 12.** Mapa Temperatura media (Físico y digital Ver CD)
- Anexo 13.** Unidades hidrográficas (Físico y digital Ver CD)
- Anexo 14.** Zonificación climática (Digital Ver CD)

1. OBJETIVOS

1.1. OBJETIVO GENERAL

Realizar la caracterización hidroclimatológica del área de estudio definida para el desarrollo de las fases de aprestamiento y primera fase de diagnóstico del sistema de acuíferos en el municipio de Guasca, jurisdicción de Corpoquavio, mediante la recolección y análisis de información hidroclimatológica disponible.

1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Recolectar información de registros históricos de las variables hidroclimatológicas de las estaciones operadas por el IDEAM.
- Realizar el análisis de consistencia y homogeneidad a las series hidroclimatológicas utilizadas.
- Realizar la caracterización espacial y temporal de las principales variables hidroclimatológicas.
- Definir la zonificación climática (Caldas Lang) del área de estudio.
- Determinar el balance hidroclimático a nivel medio mensual.
- Determinar la recarga potencial del área de estudio.

2. ANÁLISIS Y PROCESAMIENTO DE INFORMACIÓN

La caracterización climatológica es un proceso que inicia con el análisis de series de tiempo de las variables a estudiar, con el objetivo de realizar un análisis espacial y temporal de las principales variables hidroclimatológicas y el cálculo de recarga potencial en el área de estudio.

2.1. RECOLECCIÓN DE REGISTROS HISTÓRICOS

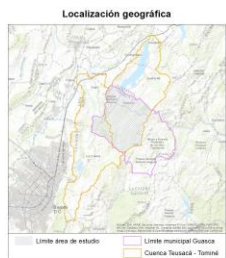
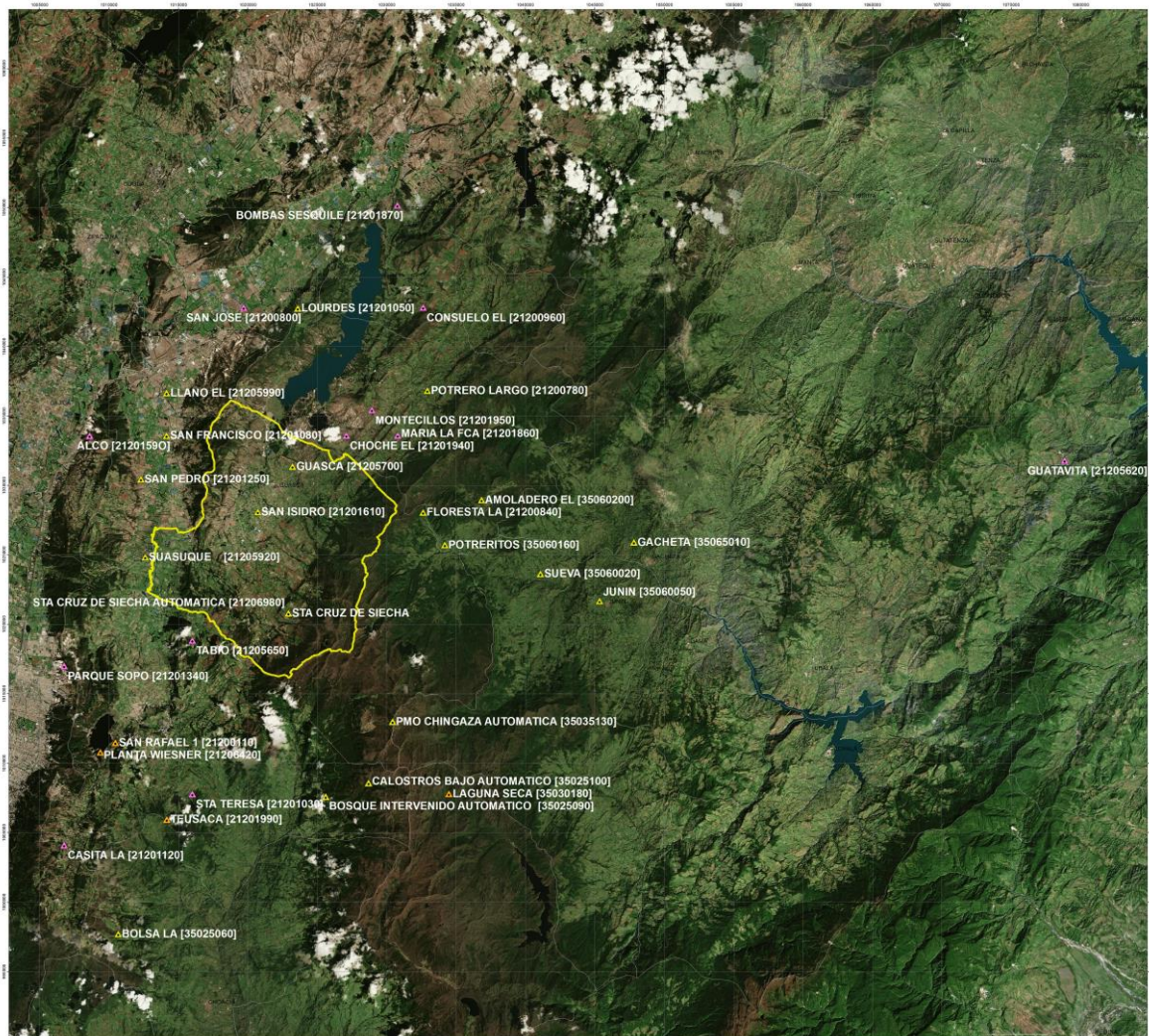
Para realizar el análisis hidroclimatológico del área de estudio se identificaron las estaciones meteorológicas que servirán de insumo para el análisis de las diferentes variables climáticas. La información utilizada fue suministrada por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM, la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca - CAR y el Acueducto de Bogotá – EAAB ESP e incluye la información georreferenciada de las estaciones a nivel regional, las cuales corresponden a las categorías: pluviográfica, pluviométrica, climatológica ordinaria y climatológica principal.






Para el análisis de precipitación se considera la categoría de estaciones efectivas, las estaciones que se encuentren en el área de estudio o en áreas adjuntas y cumplan las siguientes características:

- Tener información en un periodo uniforme mínimo de 25 años.
- La información mensual que presente ausencia de seis o más meses consecutivos durante un mismo año se descartará la información de ese año.
- Que la información ausente no supere el 10% del total de la información de la estación.
- Que se encuentre activa actualmente.

Sin embargo, para las variables de temperatura (T), brillo solar (BS), humedad relativa (HR) y velocidad del viento (VV), se tomó un periodo mínimo de 11 años debido a la heterogeneidad de los años con información relevante. De acuerdo con la información de las estaciones meteorológicas localizadas en el área de estudio, el análisis de cada una de las variables mencionadas se realizó a partir de la información existente, conociendo la deficiencia de datos presentados. La imagen 1 y la tabla 1 muestran la localización y características de las estaciones meteorológicas localizadas en el área de estudio

Imagen 1. Estaciones meteorológicas representativas para el área de estudio.



- Convecciones**
-  Estaciones hidrometeorológicas del IDEAM
 -  Estaciones hidrometeorológicas de la CAR
 -  Estaciones hidrometeorológicas del EAAB-ESP
 -  Límite área de estudio
 -  Municipios

DESARROLLO DE LAS FASES DE APRESTAMIENTO Y PRIMERA PARTE DE LA FASE DE DIAGNÓSTICO DEL SISTEMA DE ACUÍFEROS EN EL MUNICIPIO DE GUASCA, JURISDICCIÓN DE CORPOGUAYO

ESTACIONES HIDROMETEOROLÓGICAS



Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S. 2017.

Tabla 1. Listado de estaciones meteorológicas representativas para el área de estudio.

CÓDIGO	NOMBRE	CAT	ENTIDAD RESPONSABLE	INICIO	ESCALA DE REGISTRO	PARAMETRO MEDIDO
35060200	AMOLADERO EL	PM	IDEAM	15/04/1972	Diario	Precipitación
35025090	BOSQUE INTERVENIDO AUTOMATICO	CP	IDEAM	9/07/2008	Diario	Precipitación
35025060	BOLSA LA	CO	IDEAM	15/05/1987	Diario	Precipitación, Evaporación, Humedad relativa, Temperatura, Brillo solar
35025100	CALOSTROS BAJO AUTOMATICA	ME	IDEAM	24/05/2008	Diario	Precipitación, Evaporación, Humedad relativa, Temperatura, Velocidad del viento, Brillo solar
21200840	FLORESTA LA	PM	IDEAM	15/04/1962	Diario	Precipitación
21205700	GUASCA	CO	IDEAM	15/07/1974	Diario	Precipitación, Evaporación, Humedad relativa, Temperatura, Velocidad del viento, Brillo solar
35060050	JUNIN	PM	IDEAM	15/05/1962	Diario	Precipitación
21205990	LLANO EL	ME	IDEAM	15/02/1977	Diario	Precipitación, Evaporación, Humedad relativa, Temperatura, Velocidad del viento, Brillo solar
21201050	LOURDES	PM	IDEAM	15/03/1985	Diario	Precipitación
35060160	POTRERITOS	PM	IDEAM	15/08/1972	Diario	Precipitación
21200780	POTRERO LARGO	PM	IDEAM	15/03/1985	Diario	Precipitación
35035130	PMO CHINGAZA AUTOMATICA	CP	IDEAM	24/11/2004	Diario	Precipitación, Evaporación, Humedad relativa, Temperatura, Velocidad del viento, Brillo solar
35065010	GACHETA	CO	IDEAM	15/09/1962	Diario	Precipitación, Evaporación,

						Humedad relativa, Temperatura, Brillo solar
21201080	SAN FRANCISCO	PM	IDEAM	15/07/1974	Diario	Precipitación
21201610	SAN ISIDRO	PM	IDEAM	15/05/1987	Diario	Precipitación
21201250	SAN PEDRO	PM	IDEAM	15/06/1980	Diario	Precipitación
21206980	STA CRUZ DE SIECHA AUTOMATICA	AM	IDEAM	08/11/2005	Diario	Precipitación, Evaporación, Humedad relativa, Temperatura, Velocidad del viento, Brillo solar
2120120	STA CRUZ DE SIECHA	PM	IDEAM	15/09/1978	Diario	Precipitación
21205920	SUASUQUE	CO	IDEAM	15/09/1976	Diario	Precipitación, Evaporación, Humedad relativa, Temperatura, Velocidad del viento, Brillo solar
35060020	SUEVA	PM	IDEAM	15/07/1972	Diario	Precipitación
21201590	ALCO	PG	CAR	15/06/1980	Diario	Precipitación
21201870	BOMBAS SESQUILE	PG	CAR	01/01/1984	Diario	Precipitación
21201120	CASITA LA	PM	CAR	03/01/1973	Diario	Precipitación
21201940	COCHE EL	PM	CAR	03/01/1996	Diario	Precipitación
21200960	CONSUELO EL	PM	CAR	03/01/1967	Diario	Precipitación
21205620	GUATAVITA	CP	CAR	11/01/1967	Diario	Precipitación, Evaporación, Humedad relativa, Temperatura, Velocidad del viento, Brillo solar, Punto de rocío, Velocidad del viento
21201860	MARIA LA FCA	PG	CAR	15/06/1992	Diario	Precipitación
21201950	MONTECILLOS	PG	CAR	03/01/1996	Diario	Precipitación
21201340	PARQUE SOPO	PG	CAR	03/01/1980	Diario	Precipitación
21200800	SAN JOSE	PM	CAR	10/01/1960	Diario	Precipitación
21201030	STA TERESA	PG	CAR	09/01/1970	Diario	Precipitación
21205650	TABIO	CP	CAR	15/07/1970	Diario	Precipitación, Evaporación,

						Humedad relativa, Temperatura, Velocidad del viento.
3503018	LAGUNA SECA	PM	EAAB-ESP	15/04/1987	Diario	Precipitación
21206420	PLANTA WEISNER	CO	EAAB-ESP	15/12/1984	Diario	Precipitación, Evaporación, Humedad relativa, Temperatura, Brillo solar,
21201990	TEUSACA	PM	EAAB-ESP	15/05/1987	Diario	Precipitación
21200110	SAN RAFAEL	PM	EAAB-ESP	15/05/1933	Diario	Precipitación

Fuente: IDEAM, 2016

A partir de información meteorológica seleccionada se determinó la calidad de la información disponible para cada una de las variables climatológicas, seleccionándolas como efectivas o rechazadas. La tabla 2 muestra un listado de las estaciones meteorológicas con los parámetros registrados en cada una de ellas; estos parámetros son:

P: Precipitación.

T: Temperatura.

HR: Humedad relativa.

BS: Brillo solar.

VD: Velocidad y dirección del viento.

Para los parámetros de cada estación se estableció la siguiente nomenclatura:

U, para el parámetro de la estación donde la información fue **utilizada**.

R, para el parámetro de la estación donde la información fue **rechazada**.

(-), para el parámetro de la estación que no cuenta con información

Tabla 2. Parámetros medidos en la red meteorológica para el área de estudio.

CÓDIGO	NOMBRE	P	T	HR	BS	VD
35060200	AMOLADERO EL	U	(-)	(-)	(-)	(-)
35025090	BOSQUE INTERVENIDO AUTOMATICO	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)
35025060	BOLSA LA	U	U	U	U	(-)
35025100	CALOSTROS BAJO AUTOMATICA	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)
21200840	FLORESTA LA	R	(-)	(-)	(-)	(-)
21205700	GUASCA	U	U	U	R	R

35060050	JUNIN	U	(-)	(-)	(-)	(-)
21205990	LLANO EL	R	R	R	R	R
21201050	LOURDES	U	(-)	(-)	(-)	(-)
35060160	POTRERITOS	U	(-)	(-)	(-)	(-)
21200780	POTRERO LARGO	U	(-)	(-)	(-)	(-)
35035130	PMO CHINGAZA AUTOMATICA	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)
35065010	GACHETA	U	U	U	U	R
21201080	SAN FRANCISCO	R	(-)	(-)	(-)	(-)
21201610	SAN ISIDRO	U	(-)	(-)	(-)	(-)
21201250	SAN PEDRO	R	(-)	(-)	(-)	(-)
21206980	STA CRUZ DE SIECHA AUTOMATICA	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)
2120120	STA CRUZ DE SIECHA	U	(-)	(-)	(-)	(-)
21205920	SUASUQUE	U	U	R	R	R
35060020	SUEVA	U	(-)	(-)	(-)	(-)
21201590	ALCO	U	(-)	(-)	(-)	(-)
21201870	BOMBAS SESQUILE	U	(-)	(-)	(-)	(-)
21201120	CASITA LA	U	(-)	(-)	(-)	(-)
21201940	COCHE EL	R	(-)	(-)	(-)	(-)
21200960	CONSUELO EL	U	(-)	(-)	(-)	(-)
21205620	GUATAVITA	U	U	U	U	U
21201860	MARIA LA FCA	R	(-)	(-)	(-)	(-)
21201950	MONTECILLOS	R	(-)	(-)	(-)	(-)
21201340	PARQUE SOPO	R	(-)	(-)	(-)	(-)
21200800	SAN JOSE	U	(-)	(-)	(-)	(-)
21201030	STA TERESA	U	(-)	(-)	(-)	(-)
21205650	TABIO	U	U	R	R	U
3503018	LAGUNA SECA	R	(-)	(-)	(-)	(-)
21206420	PLANTA WEISNER	U	U	U	U	R
21201990	TEUSACA	U	(-)	(-)	(-)	(-)
21200110	SAN RAFAEL	U	(-)	(-)	(-)	(-)

Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S. 2017.

2.2. ANÁLISIS Y PROCESAMIENTO DE DATOS

2.2.1. Datos faltantes

Inicialmente se realizó el análisis de series de tiempo igual a 27 años para la precipitación y de 11 años para temperatura, humedad relativa, brillo solar y velocidad del viento. En numerosas ocasiones estas series de años no se encuentran completas debido a diversos factores como interrupciones en la observación, mal funcionamiento de los equipos que pueden afectar la calidad de las variables de estudio, limitando en gran medida los resultados. Por esta razón se buscan herramientas eficaces, fundamentadas y validadas estadísticamente, para superar esta deficiencia de información y que permita estimar los datos faltantes de una manera óptima. Para el presente proyecto se ha utilizado el método estadístico de regresión lineal múltiple con estaciones vecinas, este último es un algoritmo que pondera los parámetros de interés de acuerdo con el coeficiente de correlación obtenido entre la estación con datos faltantes y la estación vecina.

Es necesario tener en cuenta los siguientes criterios antes de utilizar la metodología anteriormente mencionada:

- Cuando faltan datos de uno a cinco meses en un año, es posible hallar los valores del parámetro mensual faltante pero cuando faltan datos de seis o más meses de un mismo año, no es recomendable hallar los valores mensuales por que los datos obtenidos serán poco exactos, en este caso lo más conveniente será calcular el valor anual.
- Las estaciones que sean seleccionadas como patrones, deben estar lo más cerca posible y tener similar distancia y altitud.
- Los valores medios de un periodo deberían calcularse solo cuando estén disponibles los datos de al menos el 80% de los años registrados; siempre y cuando no falten los valores de más de tres años consecutivos.
- Los promedios anuales deberían calcularse como la media o la suma de las 12 normales o promedios mensuales, sin tener en cuenta la variabilidad en la duración de los meses.

Se recomienda calcular un valor mensual, en lugar los días faltantes si la serie de datos carece de más de 10 valores diarios dispersos, o en su defecto si se presenta déficit en cinco o más valores consecutivos

2.2.2. Metodología de regresión lineal múltiple

La ecuación de regresión lineal múltiple permite hacer predicciones de una variable en función de la otra, para efectuar el análisis de la regresión lineal múltiple se debe cumplir que las series sean independientes e idénticamente distribuidas. Los pasos para realizar el llenado de datos faltantes son los siguientes:

- Se debe establecer que la estación a evaluar no supere los 6 meses con datos faltantes de precipitación total mensual en el periodo de estudio y que estos no sean consecutivos.
- Se identifica y resalta la ubicación de los datos faltantes.
- En el programa *Microsoft Excel®*. se ordenan los datos en columnas descendentes, se va a la pestaña de datos y se escoge la opción de análisis de datos, en donde sale una lista de funciones para análisis, se escoge la opción de regresión. Para hacer la regresión lineal múltiple hay que tener en cuenta que la variable independiente son las estaciones cercanas con los datos completos y la variable dependiente es la estación que tiene los datos faltantes. En el cuadro de dialogo se seleccionan las opciones de residuales y probabilidad normal.
- El programa nos muestra una nueva hoja que contiene un resumen de las estadísticas de la regresión, el análisis de la varianza, los coeficientes, los errores típicos, un análisis de los residuales y gráficas de los residuales, gráficas de curvas de regresión ajustada para cada estación vecina y una gráfica de la probabilidad normal. En el análisis de los residuales, se obtiene un pronóstico de la estación que tiene los datos faltantes; con esa información y los coeficientes arrojados es posible obtener una ecuación pronóstico; restando el valor de la ecuación pronóstico hallado y el valor anterior del pronóstico se obtiene el dato faltante.
- Llenada la casilla con el procedimiento anterior, se repite el procedimiento hasta hallar el siguiente dato faltante.

Los datos mensuales de precipitación por si solos no siguen una relación lineal, por lo tanto, estos métodos trabajan con la precipitación total mensual acumulada. Según Aparicio (1992)¹, la precipitación acumulada media para varias estaciones no es muy sensible a cambios en una de ellas, debido a que, muchos de los errores se compensan mientras que la lluvia acumulada de una estación particular se afecta de inmediato ante la presencia de cambios importantes. Por esta razón y bajo ese

¹ APARICIO, Francisco Javier. Fundamentos de Hidrología de Superficie. 1 ed. México: Editorial Limusa, 1992. 302 p. ISBN 986-18-3014-8.

principio, los datos de las estaciones vecinas o circundantes (asumiendo un comportamiento similar) deben obtenerse con el menor cambio posible en la media.

El Anexo – A. muestra el llenado de datos faltantes realizados en las series utilizadas en el presente estudio

2.3. ANÁLISIS ESPACIAL DE LA INFORMACIÓN

El análisis de homogeneidad, confiabilidad y consistencia de la información hidrometeorológica constituye la primera etapa dentro de los análisis hidrológicos y climatológicos efectuados, ya que permite determinar la calidad de la información básica, detectar posibles valores que por diversas razones pudieran considerarse como errores en los datos y aumentar la confiabilidad en los resultados obtenidos².

Con el propósito de caracterizar espacial y temporalmente la precipitación en el área de estudio se realizó un análisis de las series de tiempo con el fin de identificar la tendencia, la estacionalidad y las variaciones irregulares.

2.3.1. Análisis exploratorio gráfico

Una serie de tiempo de datos hidrológicos está constituido por una larga secuencia de observaciones obtenidas para un determinado lugar, no obstante, cuanto más largo es el periodo de registro, mayor será la posibilidad de error. Si una serie generada en esas condiciones presenta errores o cambios apreciables, es inconsistente o carece homogeneidad.

La inconsistencia es sinónimo de error sistemático y se presenta como saltos y tendencias en series muestrales³. Para verificar este tipo de inconsistencias, se realiza un análisis exploratorio de los datos (EDA) que consiste en detectar por medio gráfico la existencia o no de alguna tendencia y/o cambio. Un análisis exploratorio de una serie hidroclimatológica empieza por un análisis gráfico. Dentro del análisis exploratorio se utilizarán la gráfica de serie de tiempo, gráfica de doble

² UNAL y CORMAGDALENA. Alternativa de reducción del caudal en el canal del dique mediante agostamiento de la sección por sectores y construcción de la esclusa paricuica. Bogotá: UNAL., 2008.

³ CAHUANA, Agustín y YUGAR, Weimar. Material de apoyo didáctico para la enseñanza y aprendizaje de la asignatura Hidrología. Trabajo de grado Licenciatura en Ingeniería Civil. Cochabamba, Bolivia: Universidad Mayor de San Simón. Facultad de Ciencias y Tecnología, 2009. 380 p.

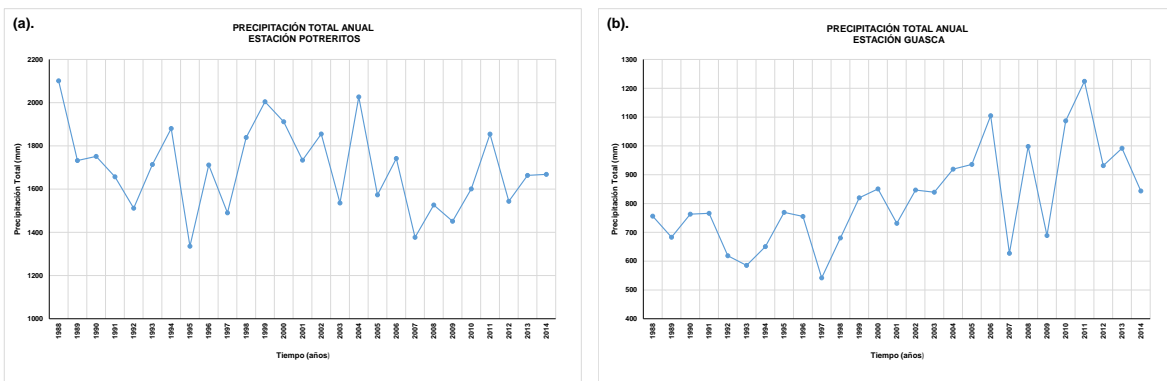
masa, diagrama de cajas, prueba de normalidad (Shapiro Wilk o Smirnov Kolmogorov) para probar o no la posible distribución normal de los datos⁴.

2.3.2. Gráficas de series de tiempo

Las gráficas de series de tiempo son gráficos en los que se pueden observar claramente las tendencias, los cambios, la irreversibilidad y las intermitencias, entre otros⁵.

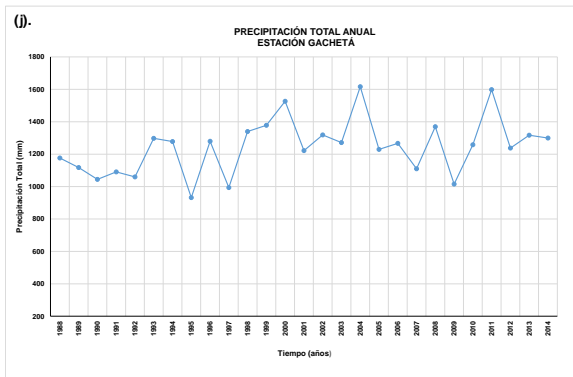
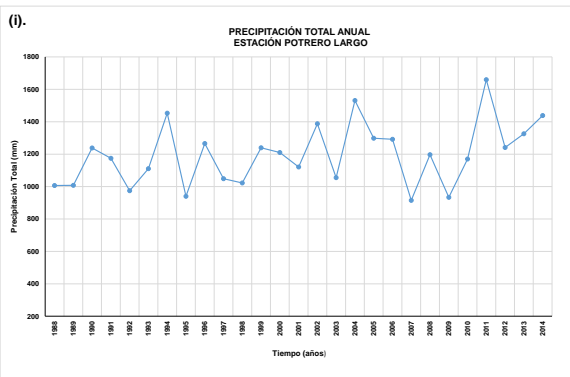
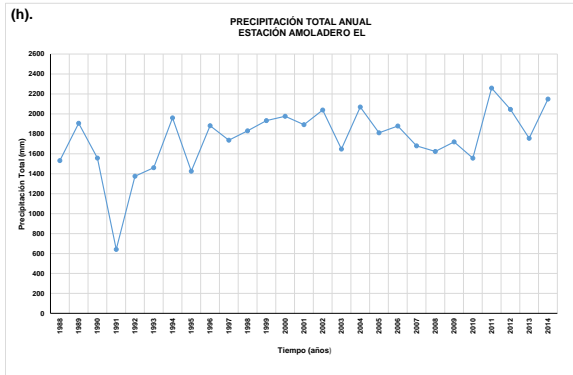
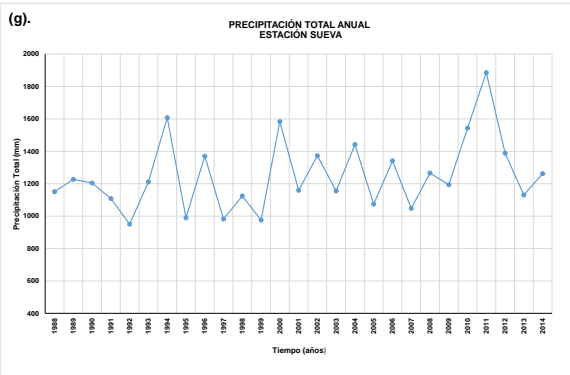
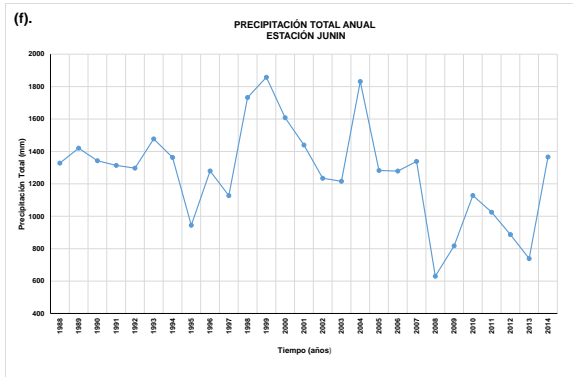
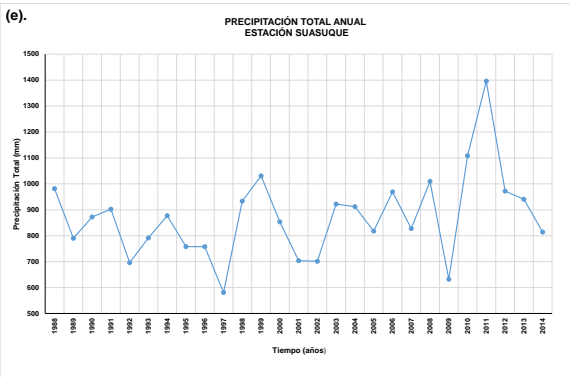
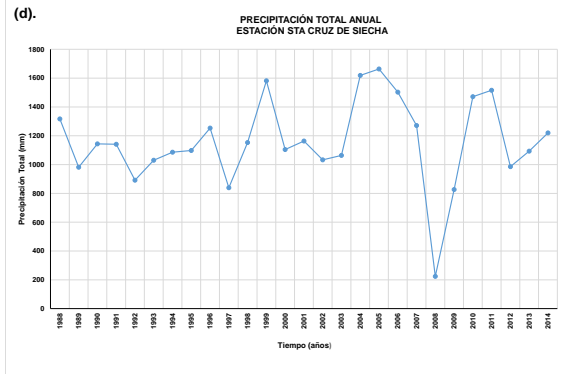
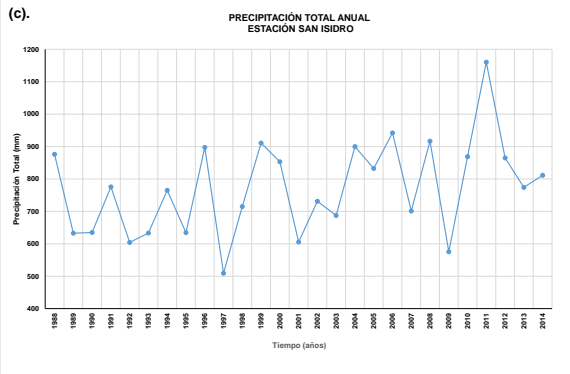
Las series históricas correspondientes a las estaciones pluviométricas se grafican en coordenadas cartesianas, la variable independiente corresponde al tiempo en años y la variable dependiente corresponde a los valores de la serie ordenados cronológicamente. Esta gráfica nos sirve para analizar la consistencia de la información de forma visual, e identificar el periodo o periodos en los cuales la información es dudosa y se evidencia como cambios bruscos o cambios continuos. Estas gráficas también nos sirven para analizar si los picos muy altos o valores muy bajos, saltos y/o tendencias son influenciados por fenómenos naturales o si son producto de errores sistemáticos.

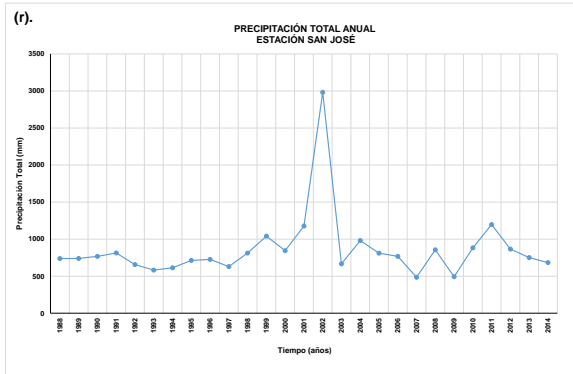
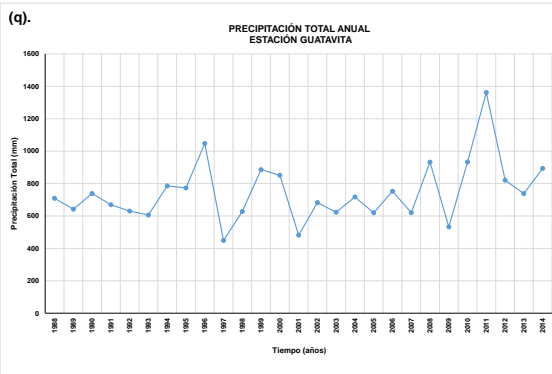
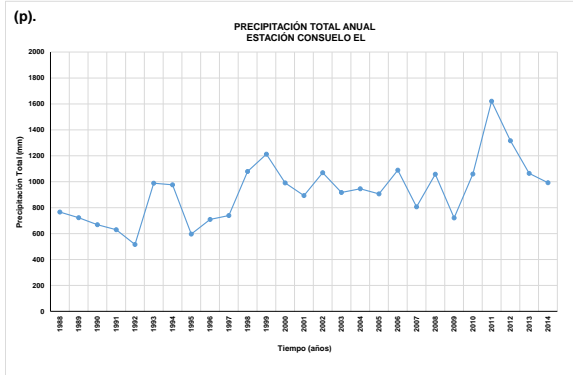
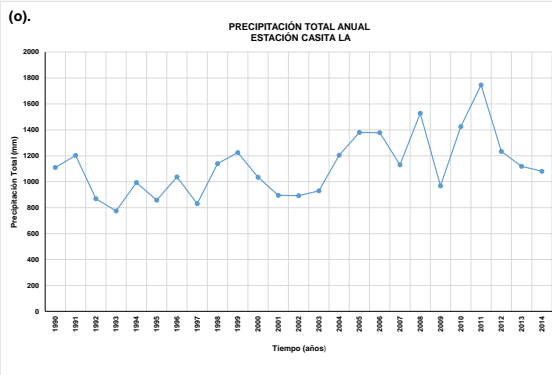
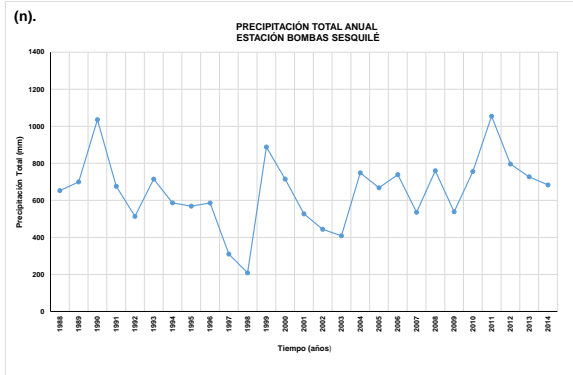
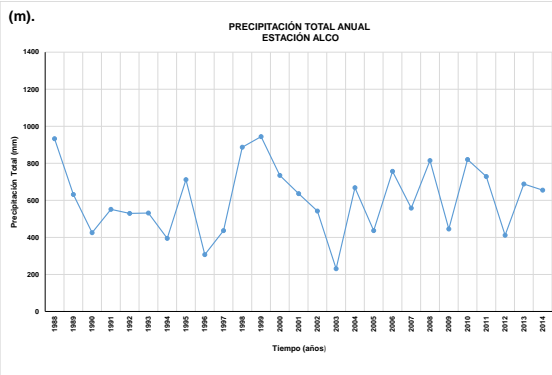
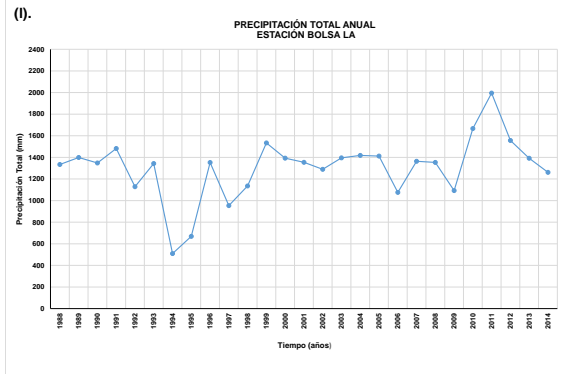
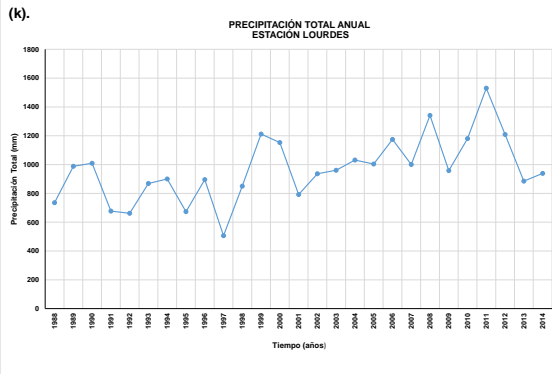
Imagen 2. Registro histórico (27 años) de precipitaciones totales anuales para las estaciones pluviométricas en el área de estudio

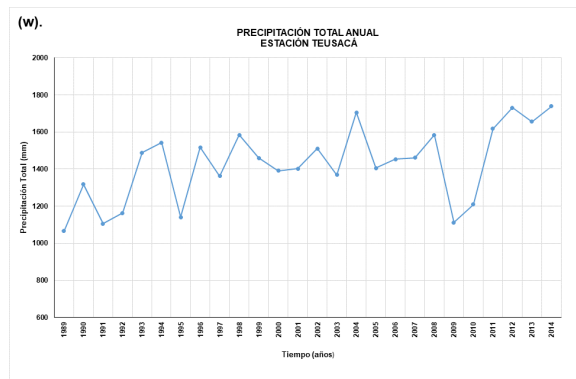
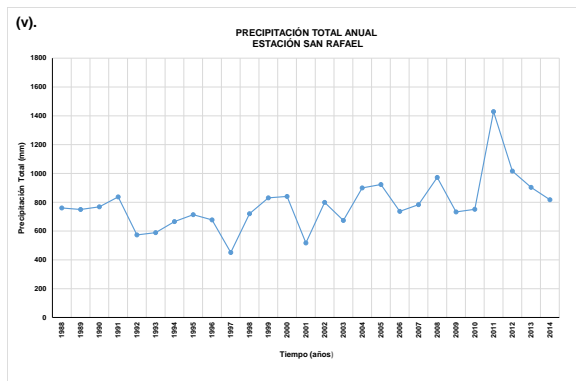
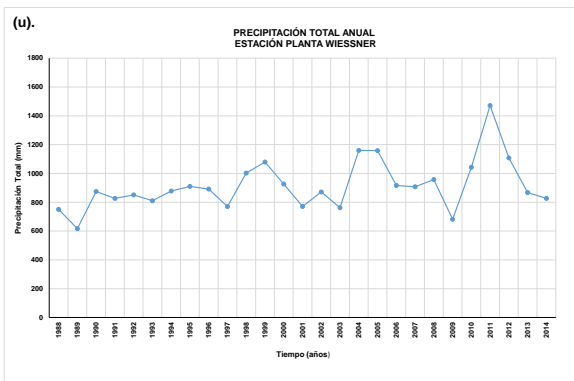
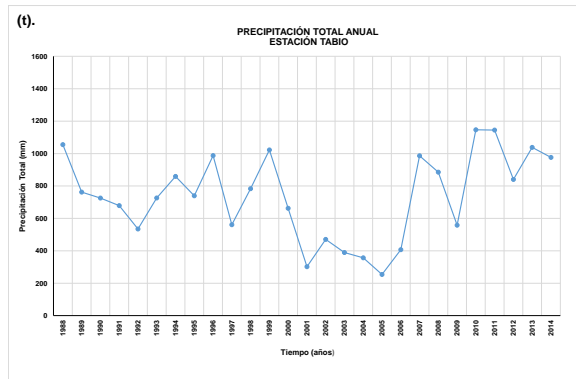
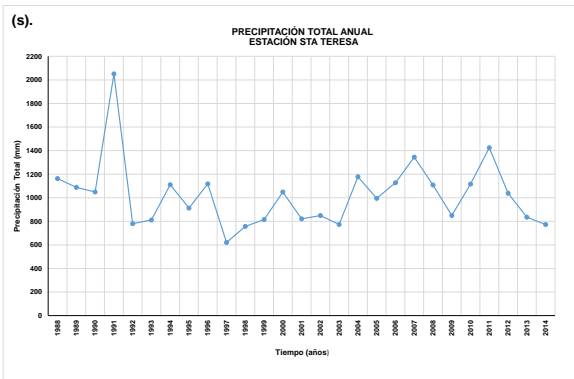


⁴ CASTRO, Lina M. y CARVAJAL, Yesid. Análisis de Tendencia y homogeneidad de series climatológicas. En: Ingeniería de Recursos Naturales y del Ambiente. 2010. n. 9, p. 15-25.

⁵ Ibid., p. 17.







Precipitación total anual de las estaciones del área de estudio. (a) Estación Potreritos, (b) Estación Guasca, (c) Estación San Isidro, (d) Sta Cruz de Siecha, (e) Estación Suasuque, (f) Estación Junin, (g) Estación Sueva, (h) Estación Amoladero El, (i) Estación Potrero Largo, (j) Estación Gachetá, (k) Estación Lourdes, (l) Estación Bolsa La, (m) Estación Alco, (n) Estación Bombas Sesquilé, (o) Estación Casita La, (p) Estación Consuelo El, (q) Estación Guatavita, (r) Estación San José, (s) Estación Sta Teresa, (t) Estación Tabio, (u) Estación Planta Wiessner, (v) Estación San Rafael, (w) Estación Teusacá.

Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S. 2017.

Las gráficas de series de tiempo no muestran ninguna tendencia definida, ni variaciones cíclicas, todas las estaciones muestran una alta dispersión de los datos

en algunas partes de las series. Se observa en la estación Sta Cruz de Siecha, Amoledaro El, Bolsa El y San Jose un salto en el año 2007, 1990, 1993 y 2001, respectivamente, y dos saltos en la estación Sta Teresa en los años 1990 y 1991, que pueden producir un cambio en la medida de tendencia central y también en la varianza (suposición que se comprobará posteriormente por medio de un método confirmatorio o cuantitativo).

2.3.2.1. Prueba de consistencia relativa y homogeneidad

Consistencia significa consistencia y homogeneidad. Es muy difícil diferenciar consistencia de homogeneidad; eso requeriría un análisis del proceso que generó los datos, incluidas las prácticas de observación (que son causas de inconsistencia) y los cambios físicos (que son las causas de no homogeneidad)⁶.

Una serie de tiempo de datos hidrológicos es relativamente consistente sí los datos periódicos son proporcionales a una serie tiempo simultánea apropiada. La consistencia relativa significa que los datos hidrológicos en una determinada estación de observación son generados por el mismo mecanismo que genera similares datos en otras estaciones. Es una práctica común verificar la consistencia relativa con el análisis de doble masa⁷

Gráfica de doble masa

Las gráficas de doble masa son ampliamente usadas 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 con homogeneidad tendencia o cambio. Para realizar el contraste gráfico es necesario graficar en el eje de las abscisas los valores acumulados de la estación de estudio⁸. 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 de estudio. Si por el contrario se observan quiebres en la pendiente de la gráfica, saltos o picos, se

⁶ Dahmen, E. R y Hall, M, J. Screening of Hydrological Data: Tests of Stationary and Relative Consistency. Wageningen, The Netherlands: International Institute for Land Reclamation and Improvement, 1990. 58 p.

⁷ Ibid., p. 32.

⁸ LOBO, L. Guía metodológica para la delimitación del mapa de zonas áridas, semiáridas y subhúmedas secas de América Latina y el Caribe. Montevideo: UNESCO., 2006.

puede concluir que la serie presenta un cambio en la media y/o presenta puntos atípicos⁹.

Un cambio en la media en una de las series causa un cambio en la pendiente. Una tendencia en la media en una de las series causa un decaimiento monótono (o levantamiento) en la pendiente. Como un caso especial, si ninguna serie tiene un cambio, pero una de las series tiene un outlier (punto anormal extremo), entonces la pendiente de la gráfica de Doble Masa antes del outlier es la misma pendiente que después del outlier, pero hay un salto entre las pendientes debido al outlier¹⁰.

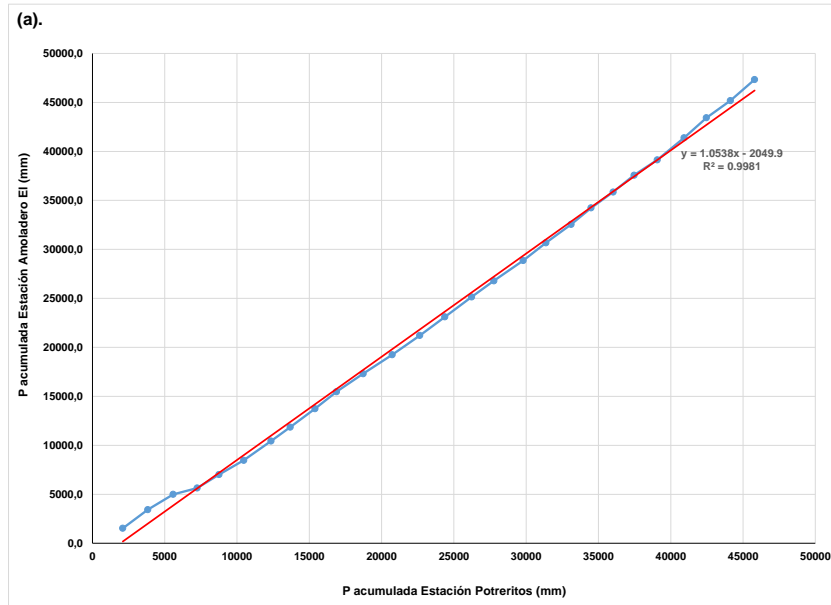
Para análisis de las gráficas de doble masa se han determinado dos zonas principales de acuerdo con la altitud a la que se encuentran las estaciones, y en cada una de las zonas se toma como referencia la estación que mejor se comporta respecto al ciclo bimodal de las precipitaciones.

Zona 1: La serie patrón tomada como referencia es la Estación Potreritos que presenta un comportamiento ideal del ciclo de precipitación anual. Las gráficas 1, 2 y 3 muestra las gráficas de doble masa para las estaciones Amoladero El y Consuelo El. La gráfica de doble masa acumulada de la (a). Estación Amoladero El, presenta buena correlación de los datos, sin embargo, se observa un leve cambio de pendiente en el año 1988 hasta 1991 y en el año 2012 hasta 2015. La (b). Estación Consuelo El, no presenta una línea recta ya presenta un cambio de pendiente en el año 1988 al 2000 y del año 2011 al 2014 sin embargo, nos muestra una buena correlación de los datos.

⁹ SMITH, R. y CAMPUZO, C. Análisis exploratorio para la detección de los cambios en las tendencias en series hidrológicas. En: XIV Seminario Nacional de Hidráulica e Hidrología. 7-9 de Septiembre de 2012.

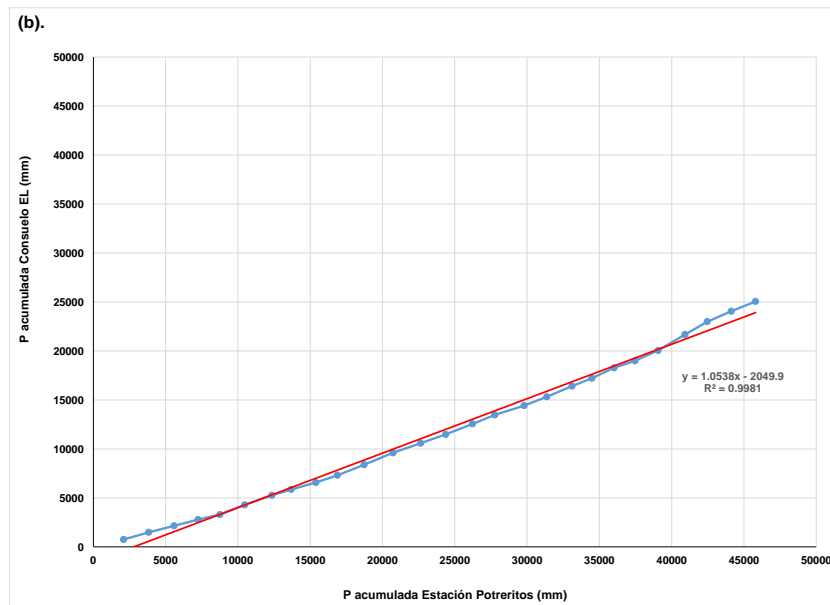
¹⁰ Ibid., p. 4.

Gráfica 1. Gráficas de doble masa de las estaciones en el área de estudio Estación Amoladero EI



Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S. 2017.

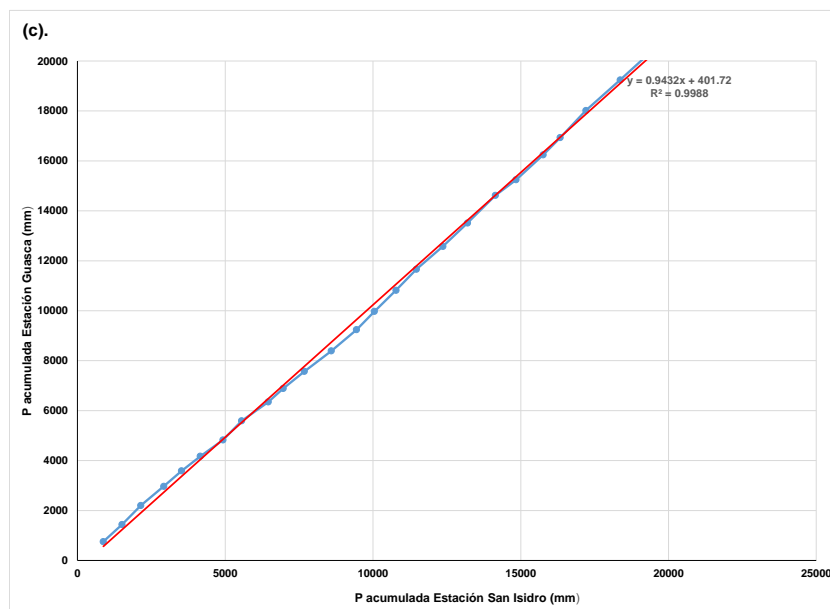
Gráfica 2. Gráficas de doble masa de las estaciones en el área de estudio Consuelo EI



Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S. 2017.

Zona 2: La serie patrón tomada como referencia es la Estación San Isidro que presenta un comportamiento ideal del ciclo de precipitación anual. Las gráficas 3,4, y 5 muestra las gráficas de doble masa para las estaciones Guasca, Potrero Largo y Planta Wiessner. La gráfica de doble masa de la (c). Estación Guasca, presenta un leve cambio en la pendiente y se presenta una buena correlación de los datos, la (d). Estación Potrero Largo, presenta buena correlación de los datos, pero se observa un cambio de pendiente en el año 1998 hasta 2002 y la (e). Estación Planta Wiessner, presenta un cambio de pendiente en el año 2005, se presenta una buena correlación de los datos. Por lo general se recomienda que el cambio de la pendiente se mantenga en el tiempo, de 5 o más años, antes de considerar una corrección para la eliminar las fluctuaciones que puedan producirse y que no indican una falta de consistencia de los registros¹¹.

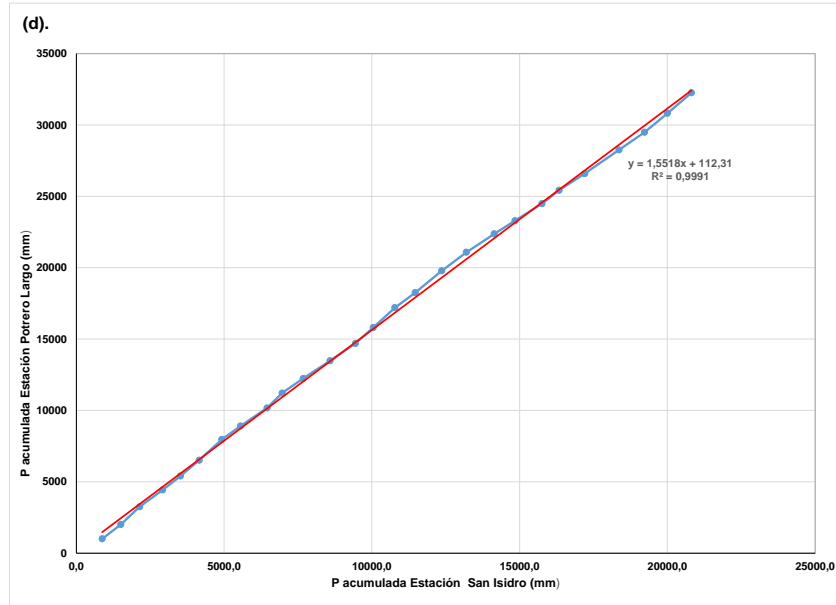
Gráfica 3. Gráficas de doble masa de las estaciones en el área de estudio Estación Guasca



Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S. 2017.

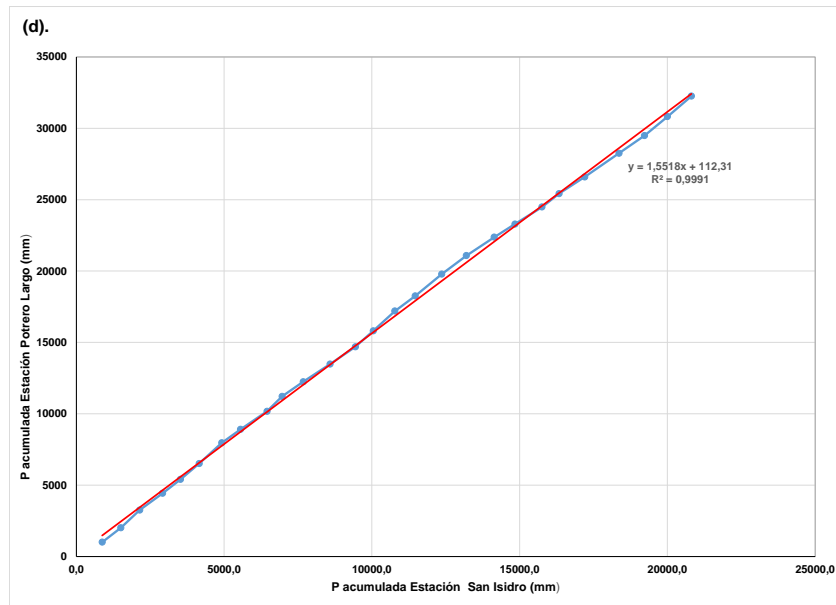
¹¹ CASTRO, Lina M. y CARVAJAL, Yesid. Op. Cit., p. 24.

Gráfica 4. Gráficas de doble masa de las estaciones en el área de estudio Estación Potrero Largo



Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S. 2017.

Gráfica 5. Gráficas de doble masa de las estaciones en el área de estudio Estación Planta Wiessner



Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S. 2017.

En el Anexo B se presentan las curvas de doble masa para las otras estaciones del área de estudio.

2.3.2.2. Prueba de normalidad

La prueba de normalidad se realiza para examinar si las observaciones siguen o no una distribución normal. Para describir el comportamiento estadístico de los datos hidroclimatológicos es necesario realizar una prueba estadística confirmatoria para rechazar o no la hipótesis nula de que la distribución de los datos sigue este tipo de distribución teórica. Las pruebas más utilizadas son Smirnov Kolmogorov y Shapiro Wilk entre otras; debido al tamaño de las muestras a analizar, la prueba que más se ajusta es la prueba Shapiro Wilk.

En la siguiente tabla (Tabla 3. Resultados estadísticos de la prueba de normalidad para las estaciones del área de estudio.), se pueden ver los resultados estadísticos de la prueba de normalidad para las estaciones del área de estudio.

Tabla 3. Resultados estadísticos de la prueba de normalidad para las estaciones del área de estudio.

CÓDIGO	ESTACIÓN	Prueba de normalidad					
		Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
35060160	POTRERITOS	0,093	27	0,200*	0,982	27	0,912
21205700	GUASCA	0,126	27	0,200*	0,966	27	0,503
21201610	SAN ISIDRO	0,121	27	0,200*	0,959	27	0,349
21201220	STA CRUZ DE SIECHA	0,129	27	0,200*	0,920	27	0,040
21205920	SUASUQUE	0,105	27	0,200*	0,938	27	0,109
35060050	JUNIN	0,141	27	0,182	0,962	27	0,405
35060020	SUEVA	0,138	27	0,200*	0,929	27	0,064
35060200	AMOLADERO EL	0,98	27	0,200*	0,892	27	0,009
21200780	POTRERO LARGO	0,100	27	0,200*	0,963	27	0,426
35065010	GACHETÁ	0,113	27	0,200*	0,958	27	0,330
21201050	LOURDES	0,126	27	0,200*	0,977	27	0,789
35025060	BOLSA LA	0,208	27	0,004	0,896	27	0,011
21201990	ALCO	0,103	27	0,200*	0,979	27	0,829
21201870	BOMBAS SESQUILÉ	0,132	27	0,200*	0,968	27	0,538

21201120	CASITA LA	0,115	25	0,200*	0,948	25	0,220
21200960	CONSUELO EL	0,140	27	0,190	0,950	27	0,219
21205620	GUATAVITA	0,120	27	0,200*	0,911	27	0,024
21200800	SAN JOSÉ	0,297	27	0,000	0,536	27	0,000
21201030	STA TERESA	0,177	27	0,029	0,833	27	0,001
21205650	TABIO	0,115	27	0,200*	0,958	27	0,340
21206420	PLANTA WIESSNER	0,177	27	0,030	0,916	27	0,32
21200110	SAN RAFAEL	0,155	27	0,96	0,889	27	0,008
21201990	TEUSACÁ	0,105	26	0,200*	0,951	26	0,247

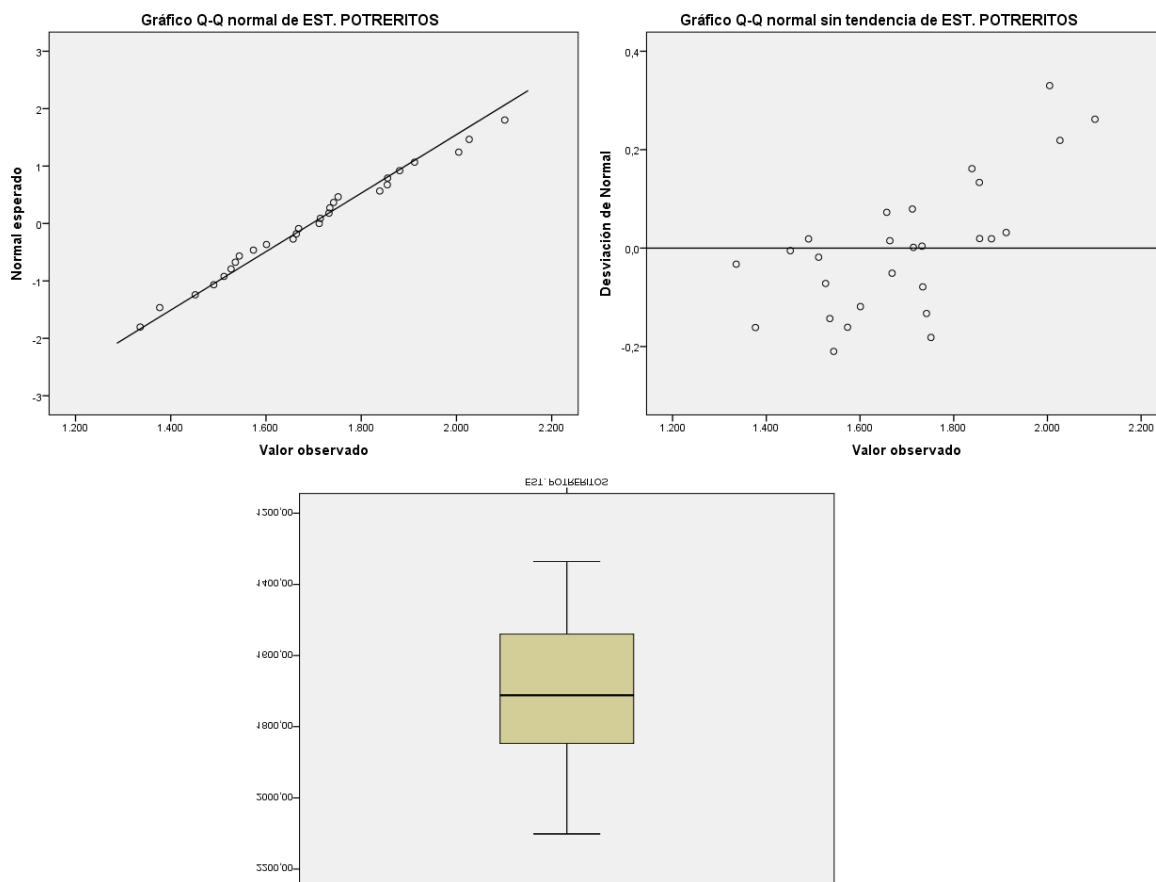
* Esto es un límite inferior de la significación verdadera
a. Corrección de significación Lilliefors

Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S. 2017.

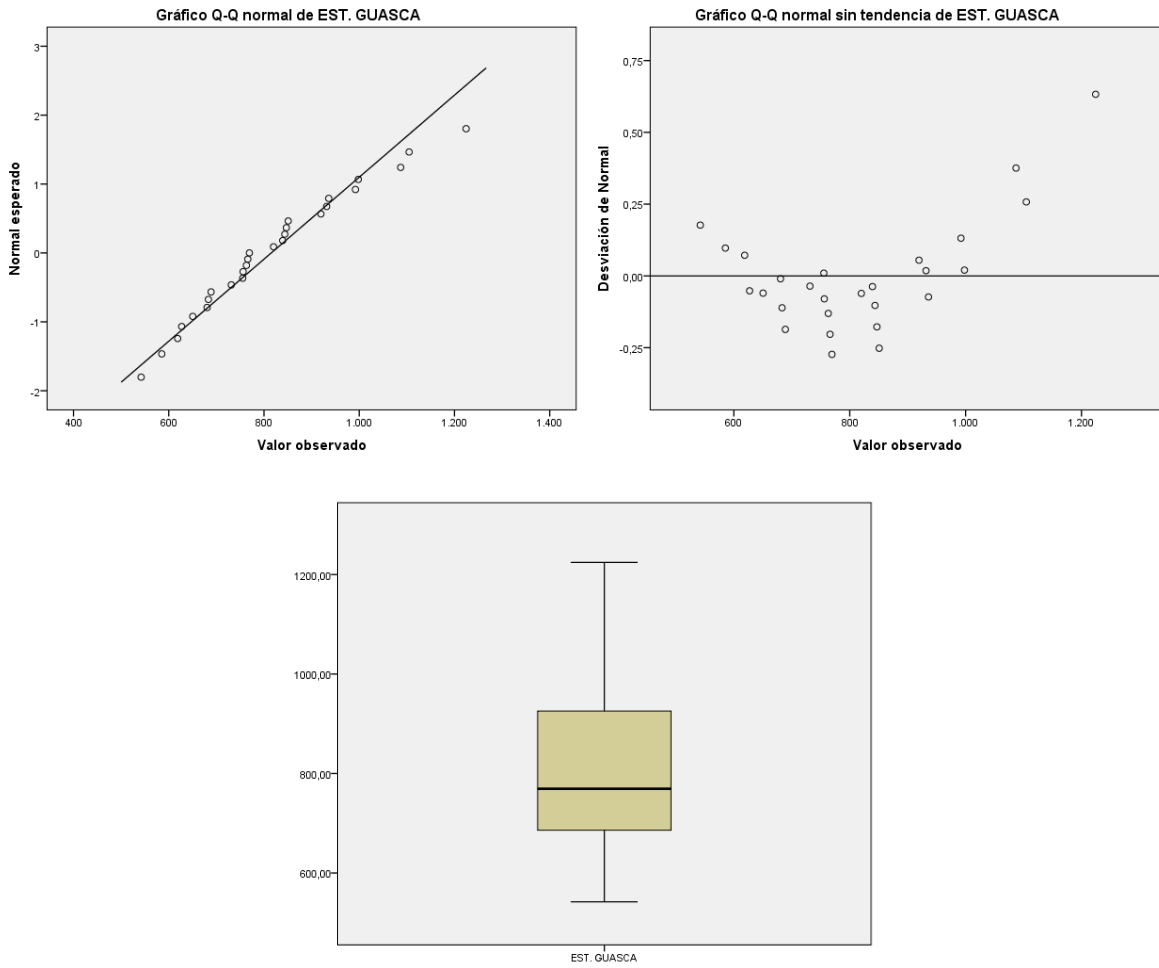
Las gráficas de normalidad de las estaciones del área de estudio se pueden ver en las siguientes gráficas.

Gráfica 6. Gráficas de Normalidad para las estaciones del área de estudio

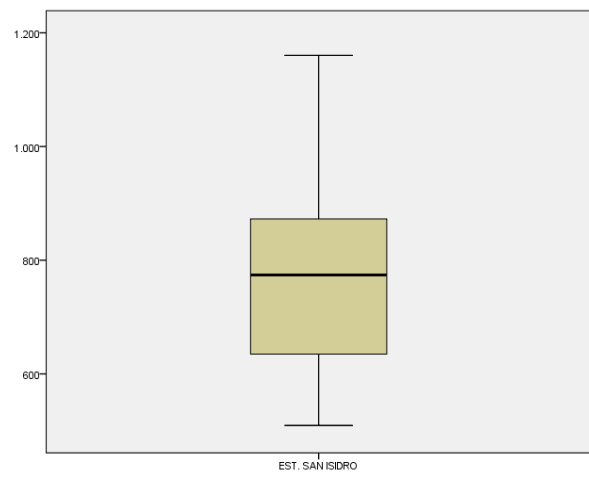
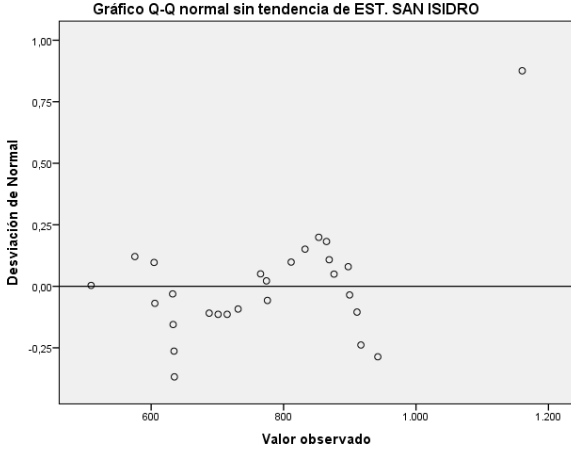
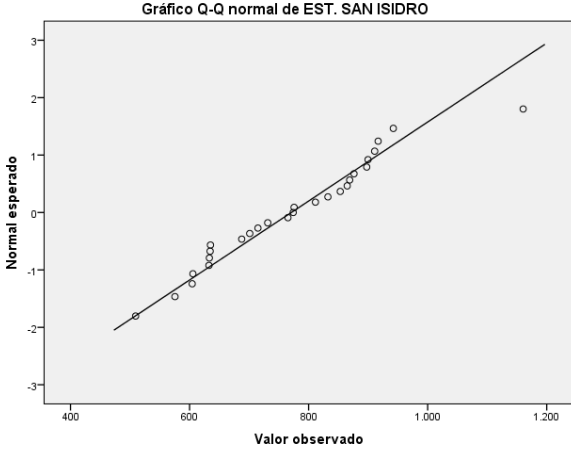
(a).



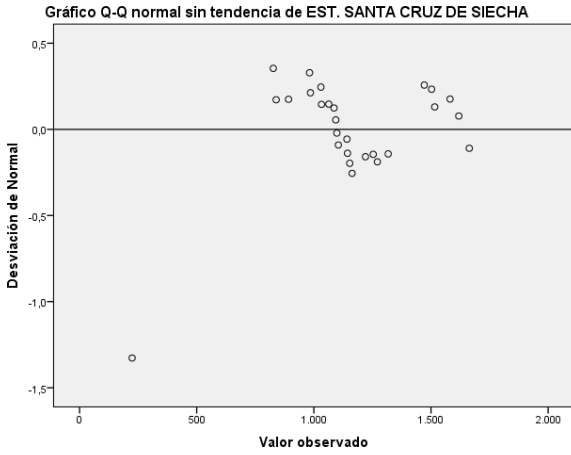
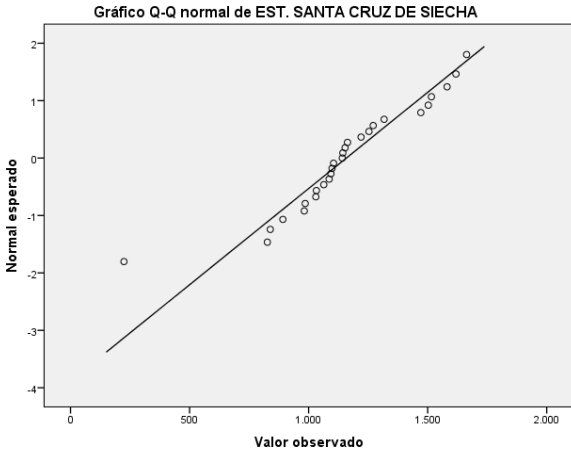
(b).

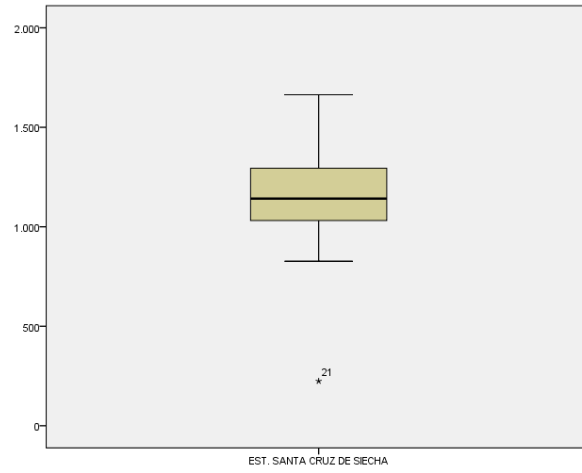


(c).

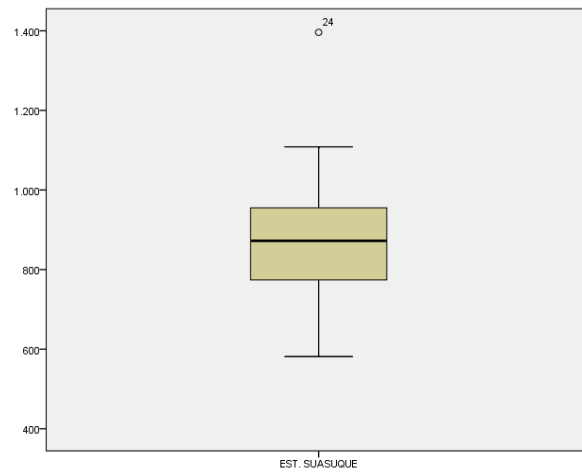
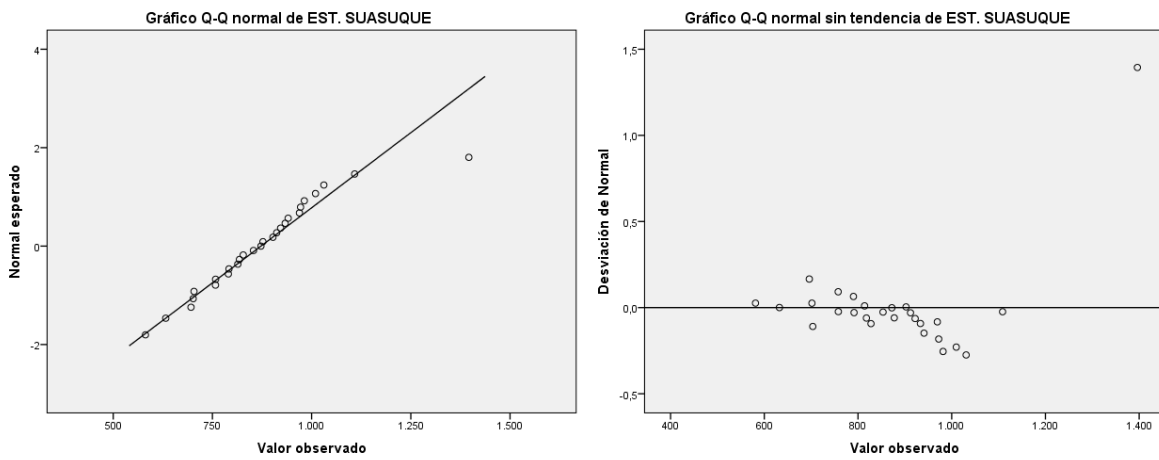


(d).

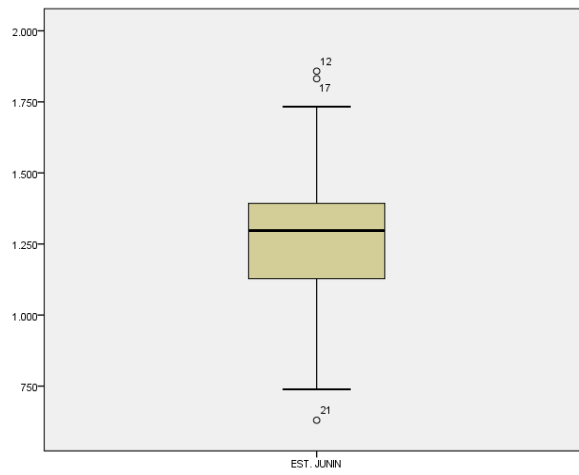
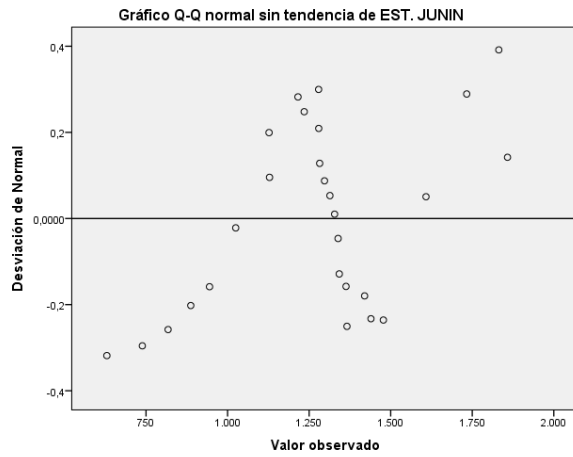
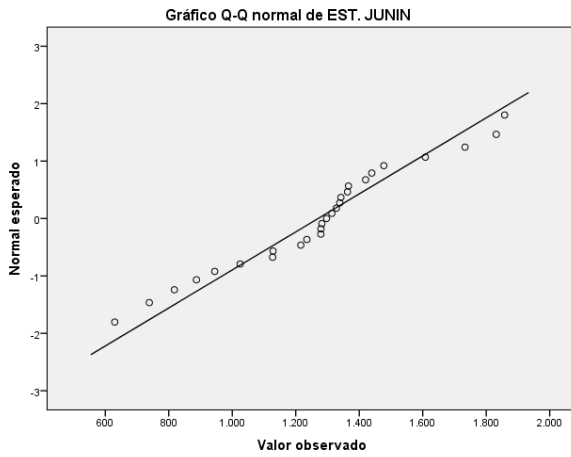




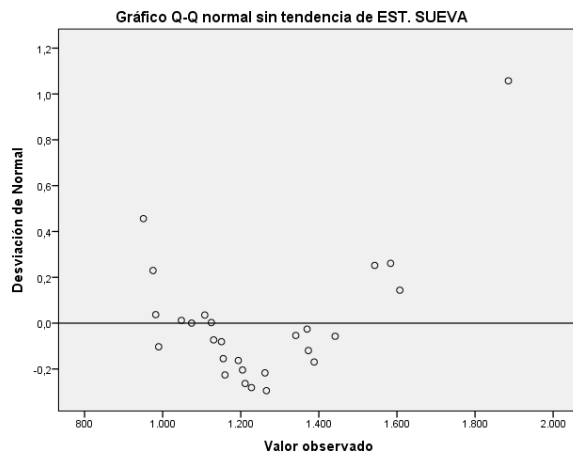
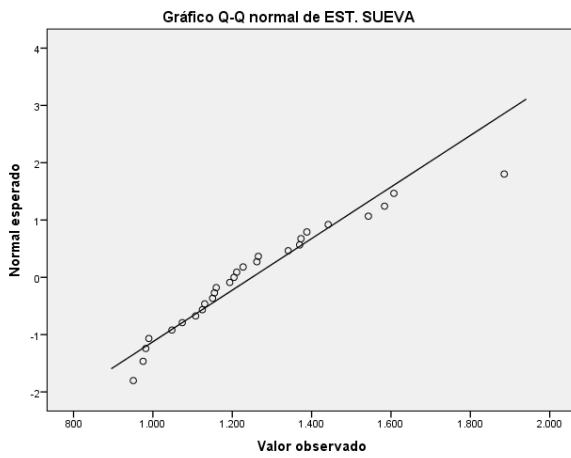
(e).

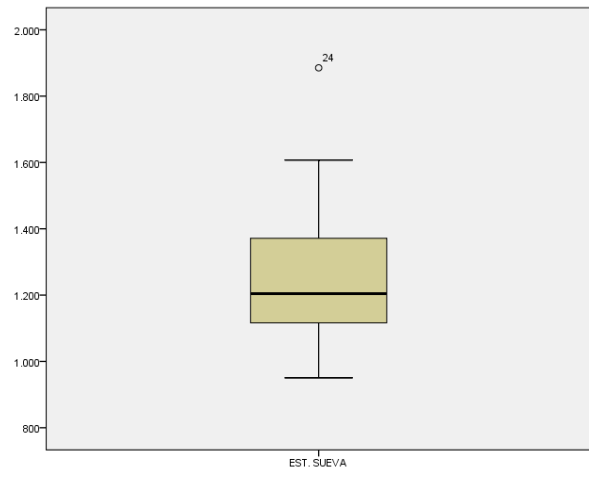


(f).

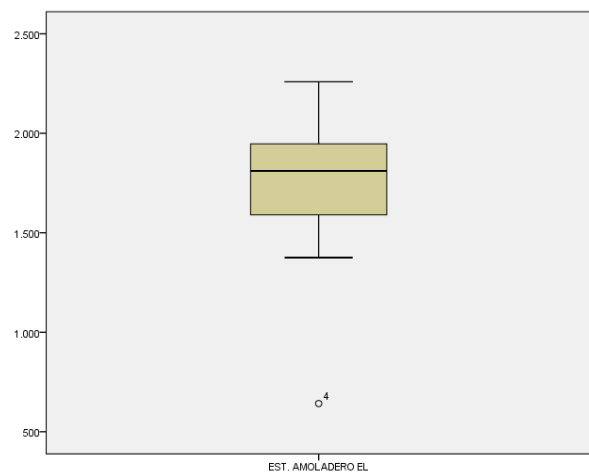
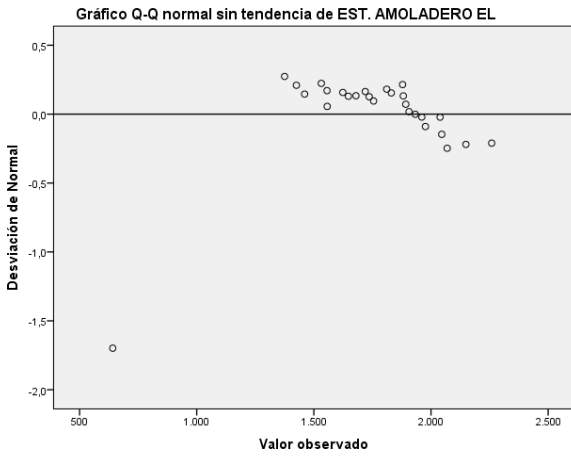
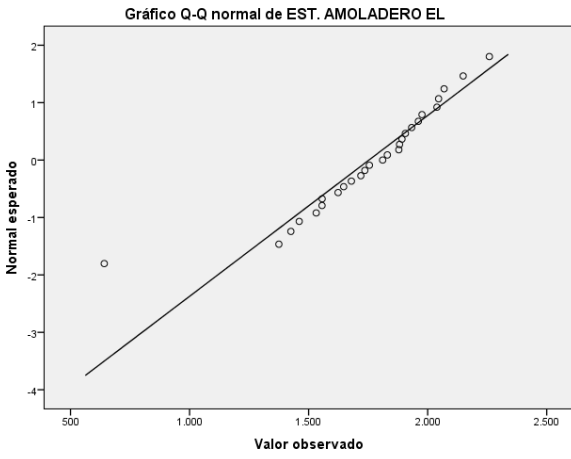


(g).

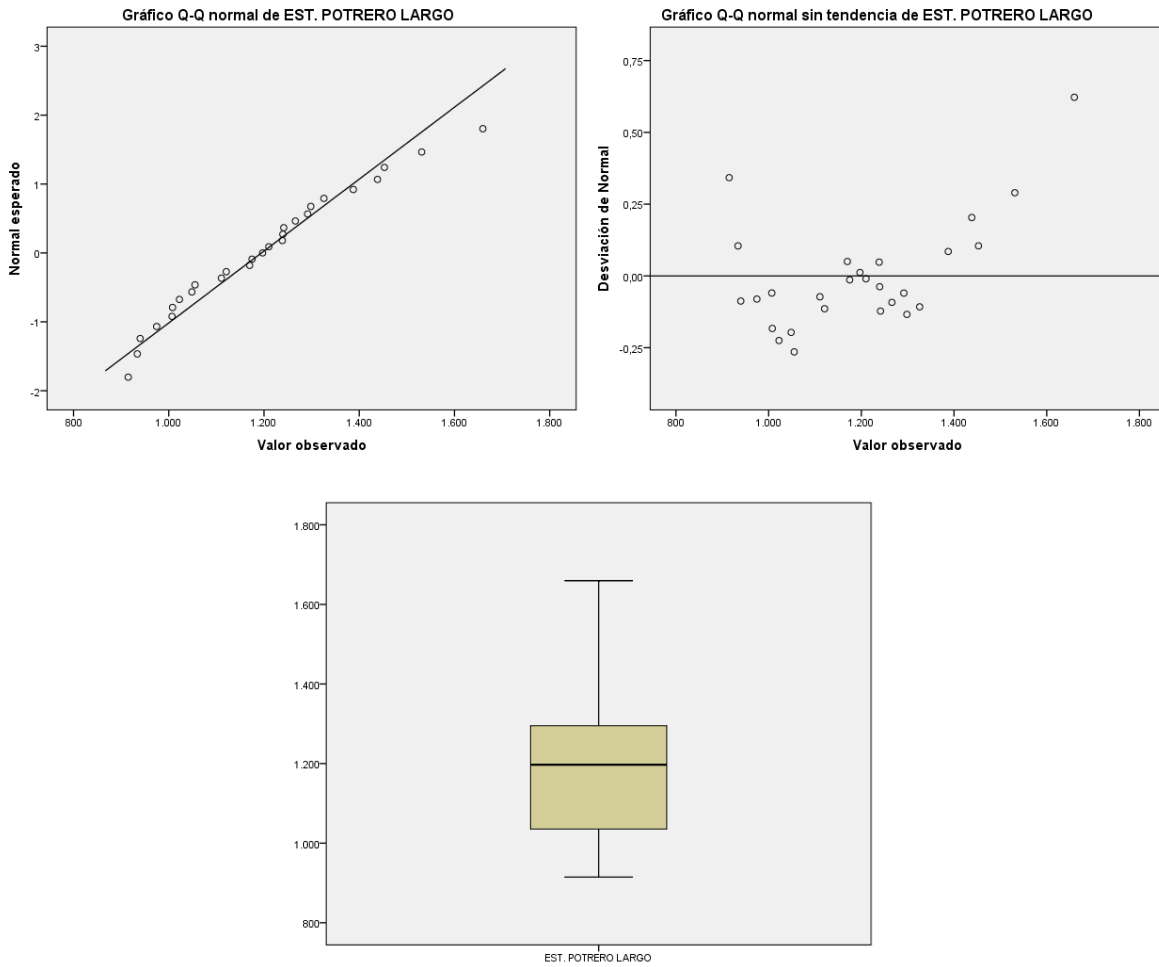




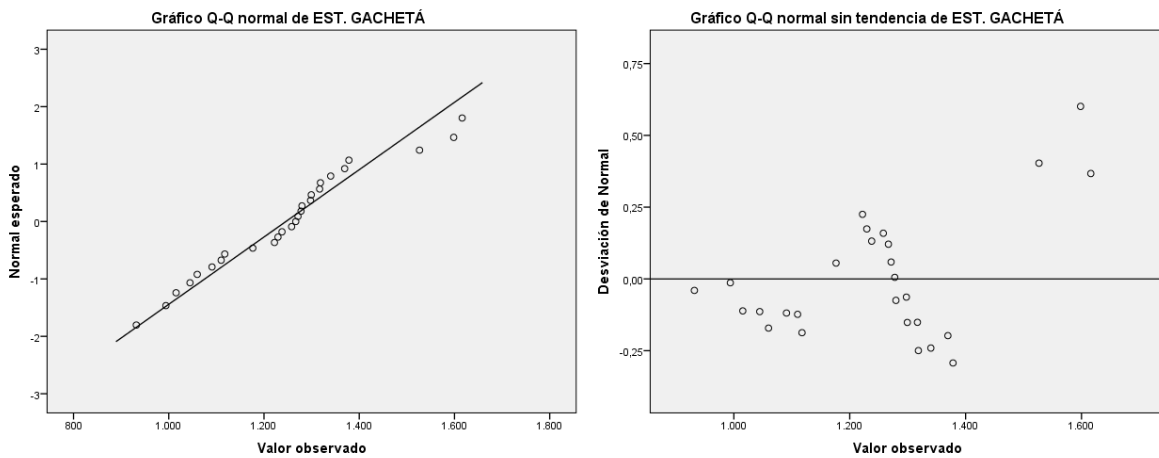
(h).

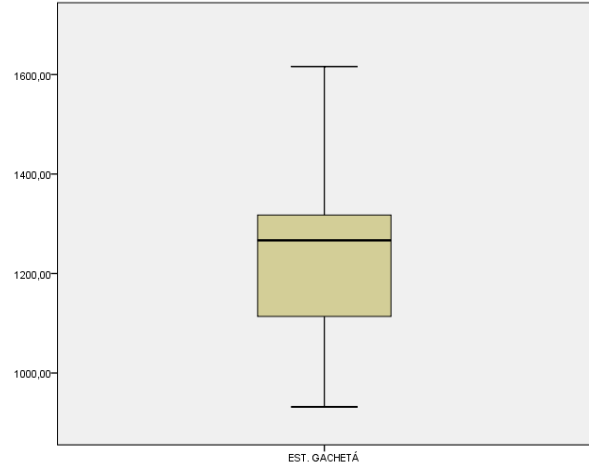


(i).

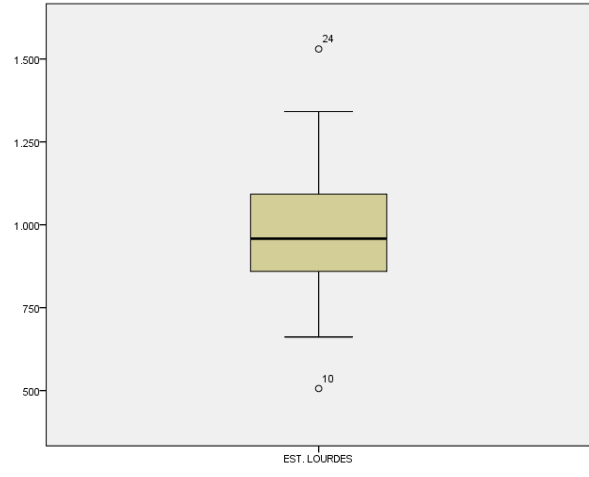
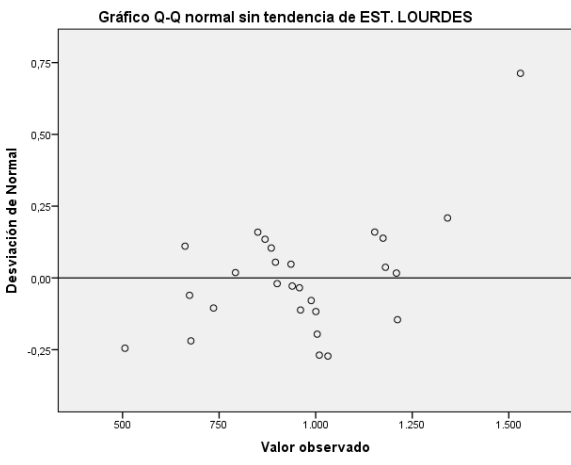
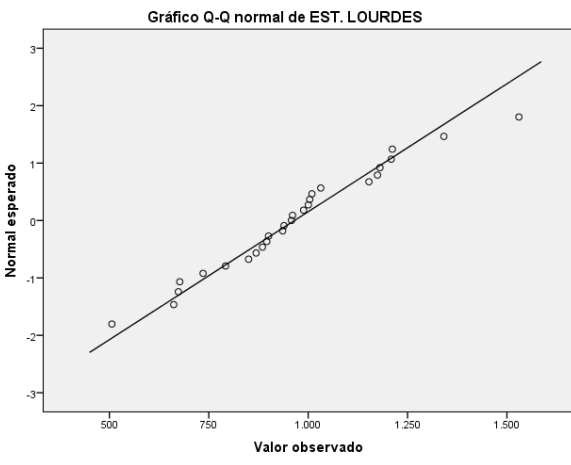


(j).

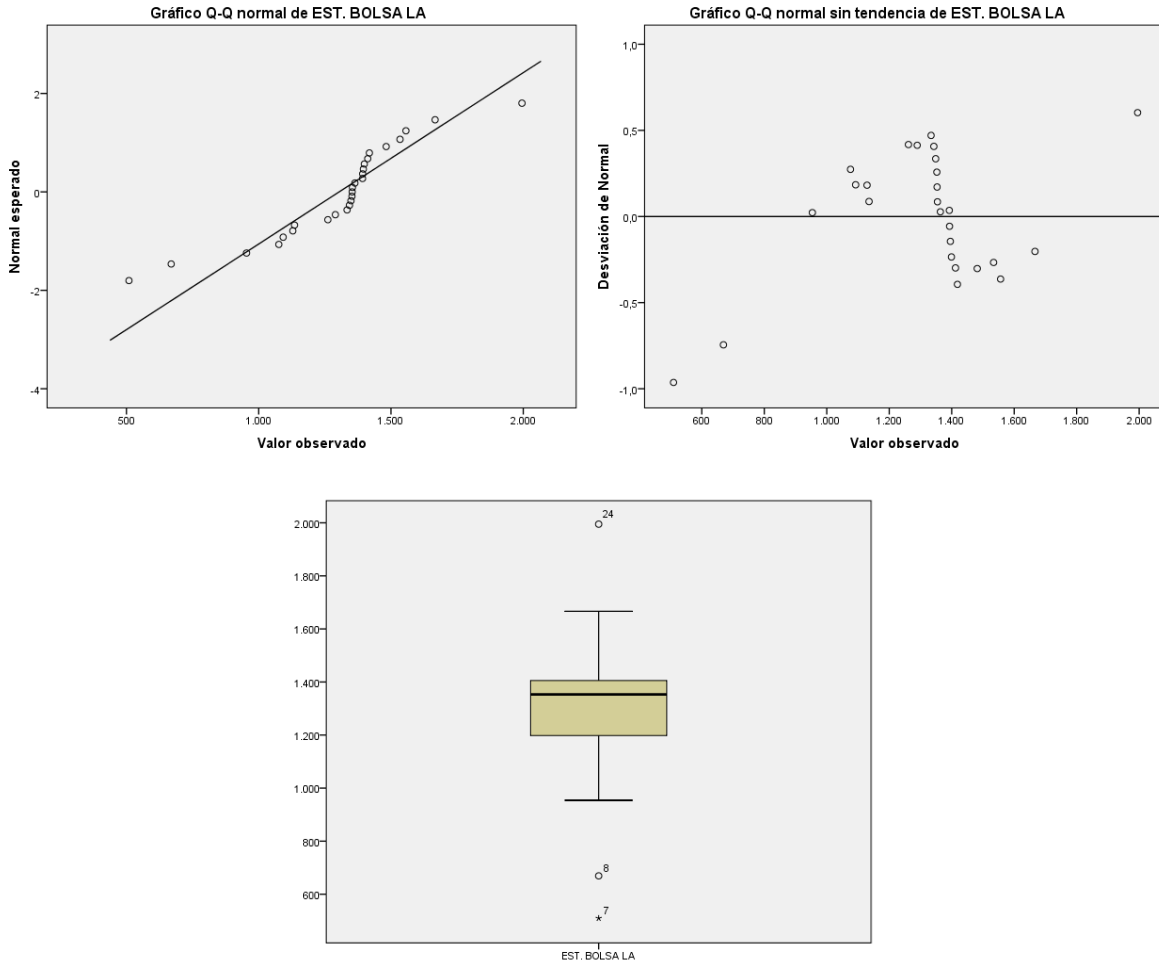




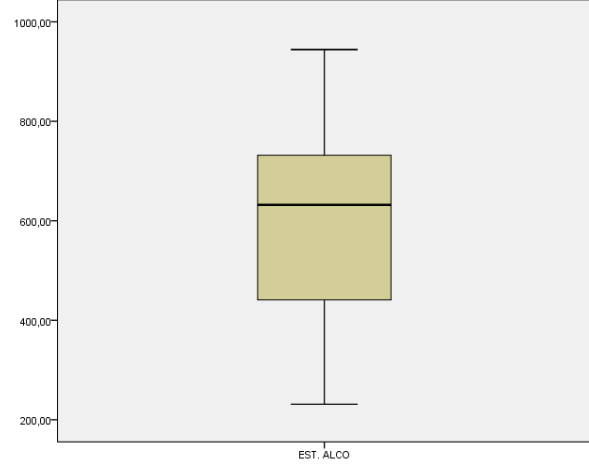
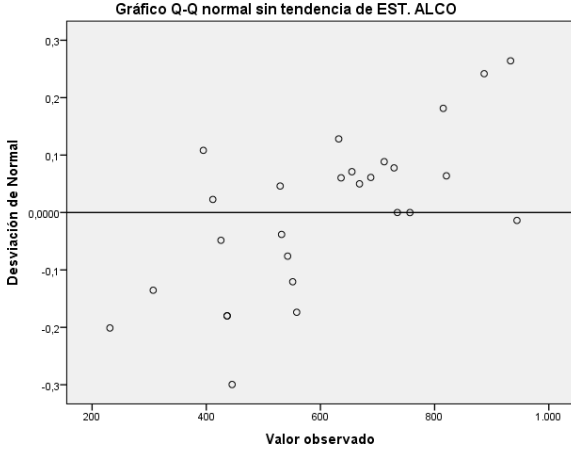
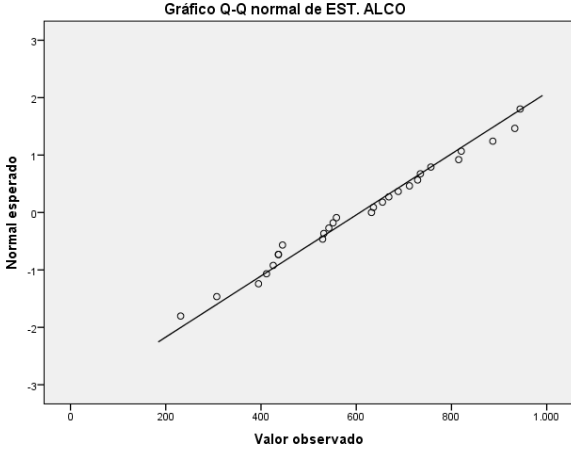
(k).



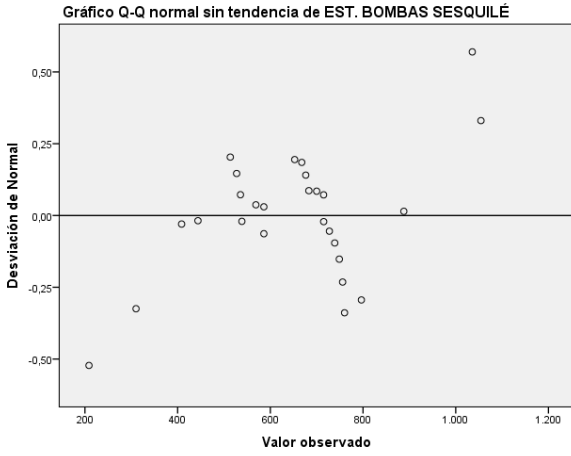
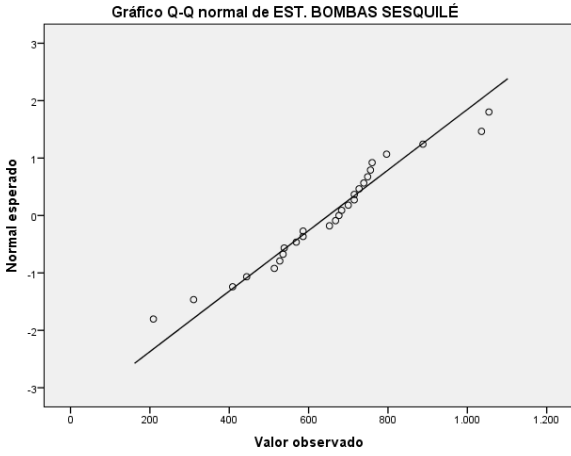
(l).

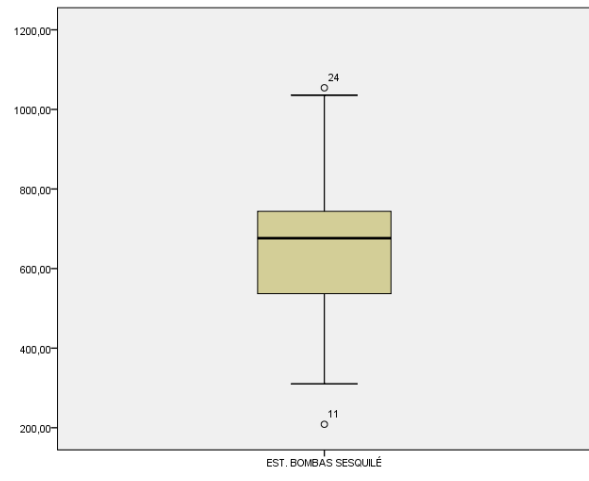


(m).

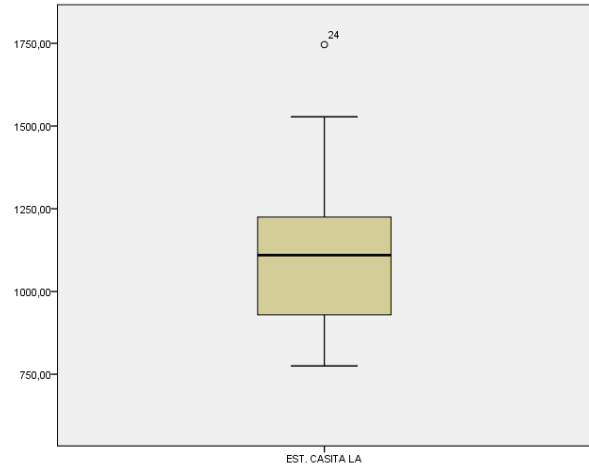
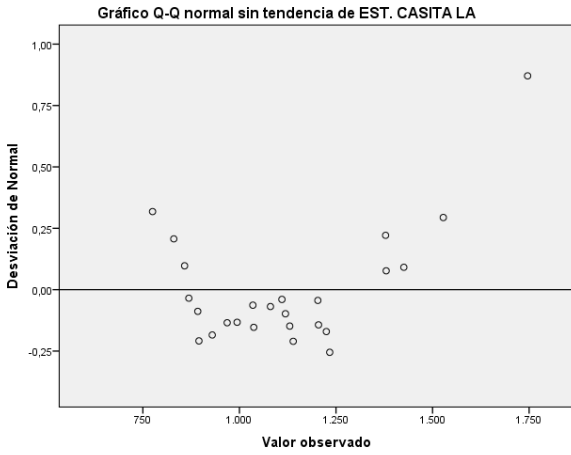
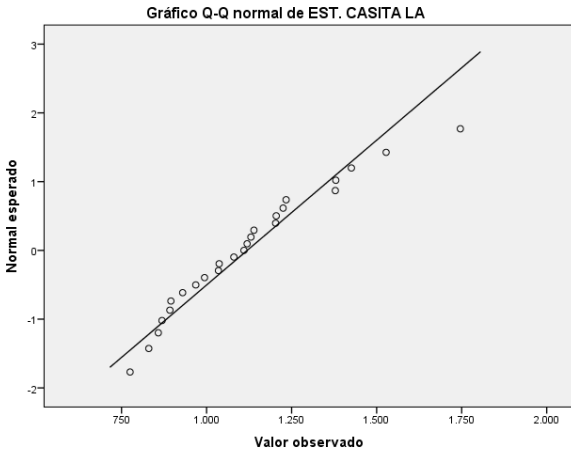


(n).

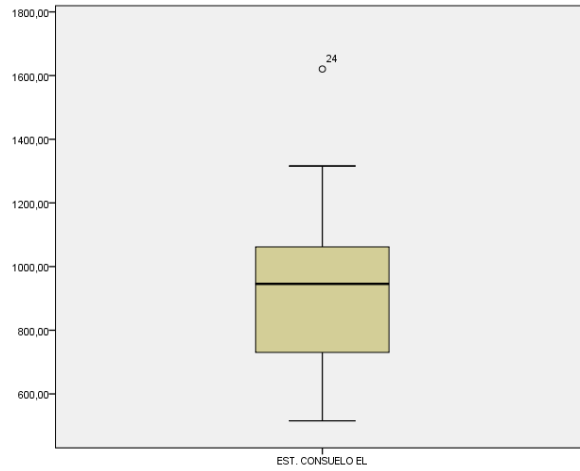
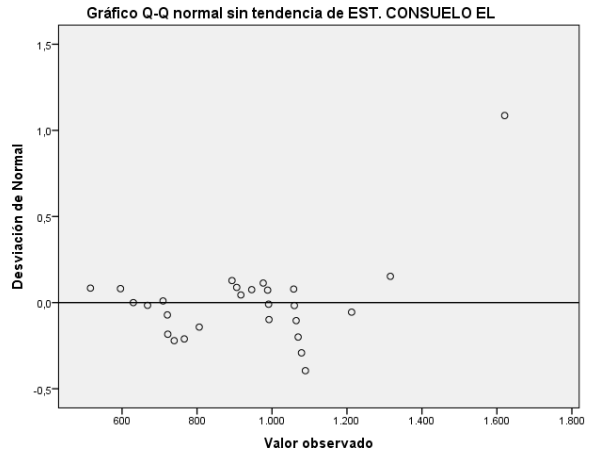
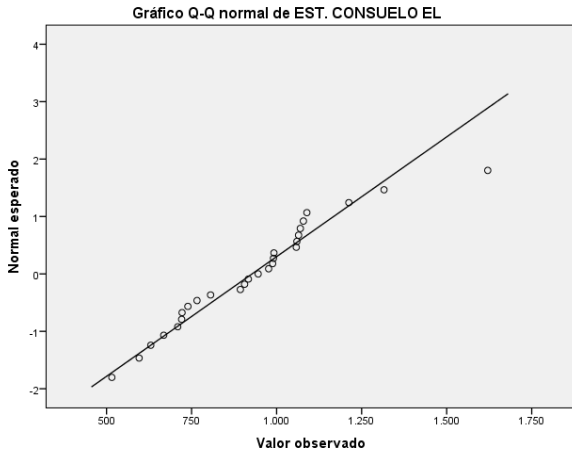




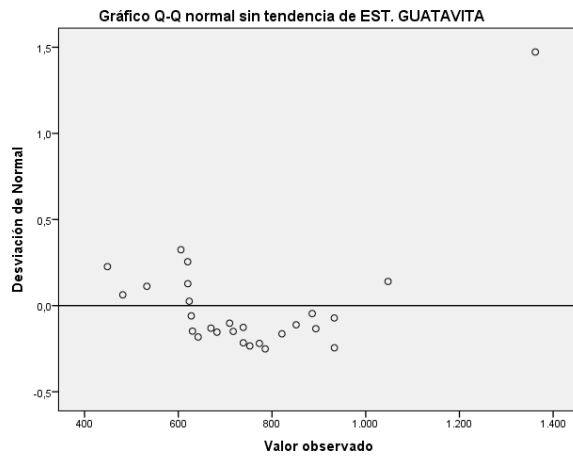
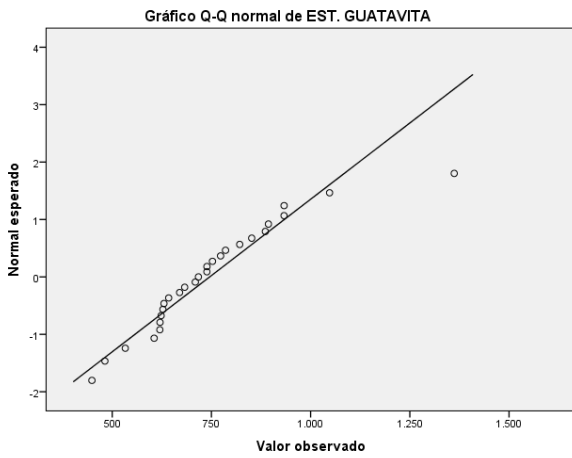
(o).

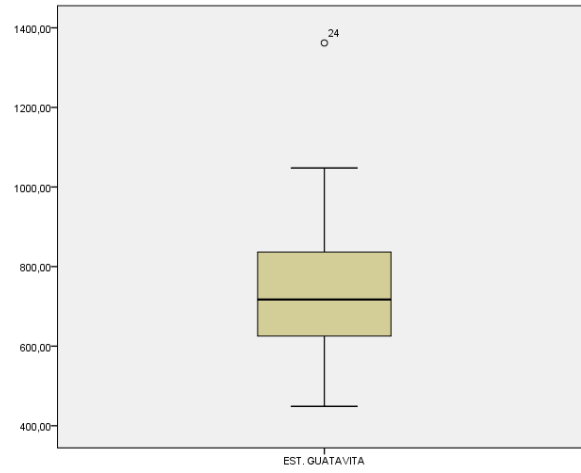


(p).

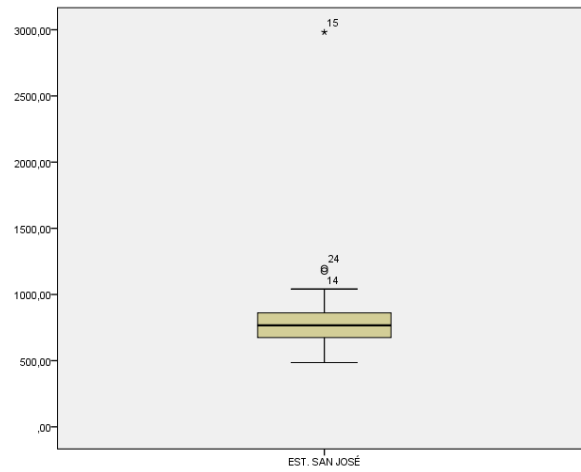
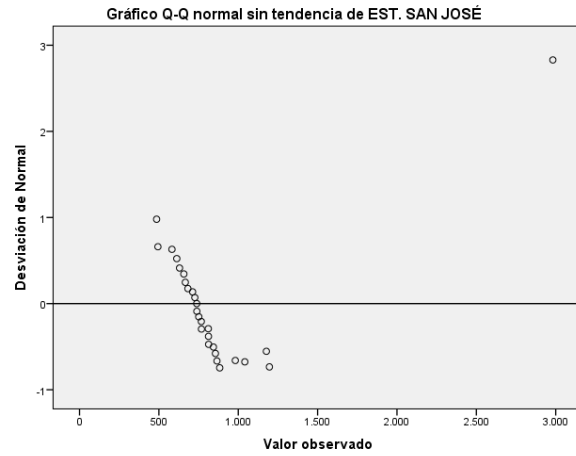
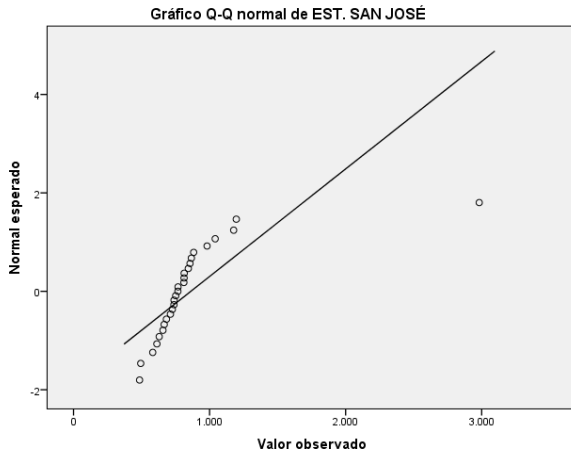


(q).

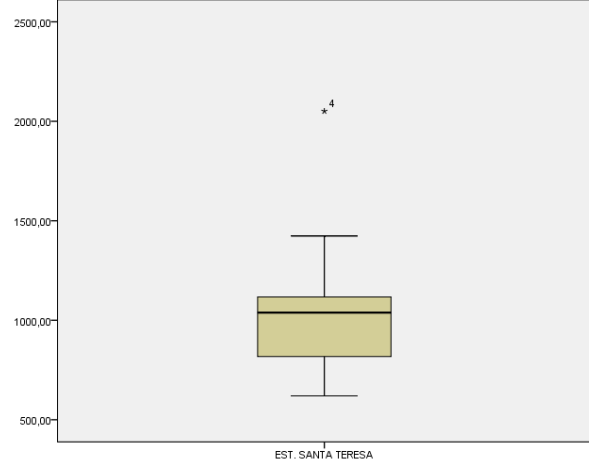
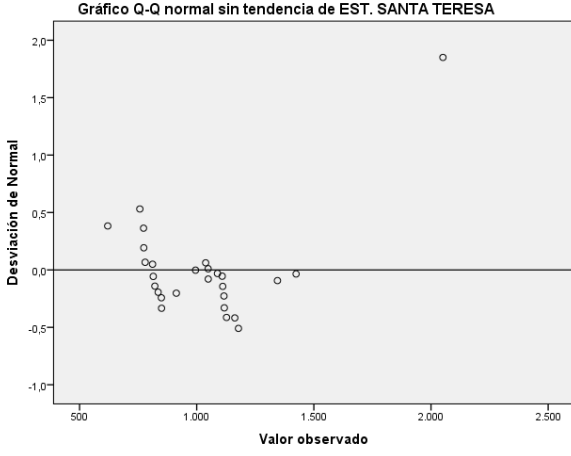
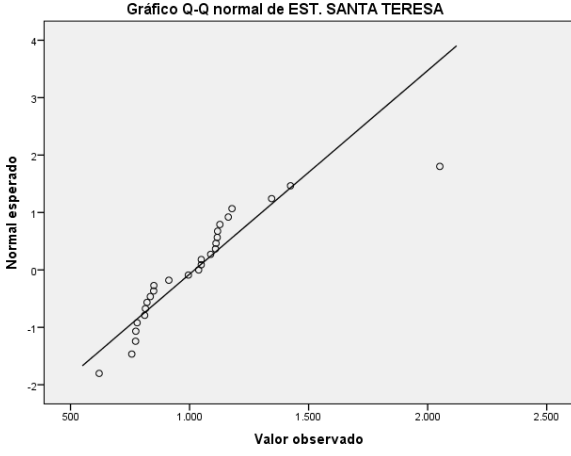




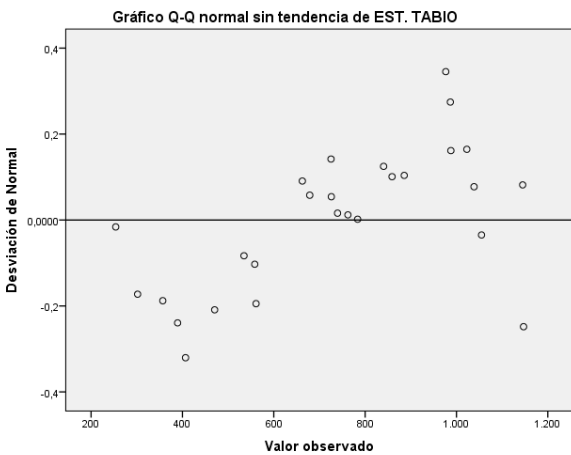
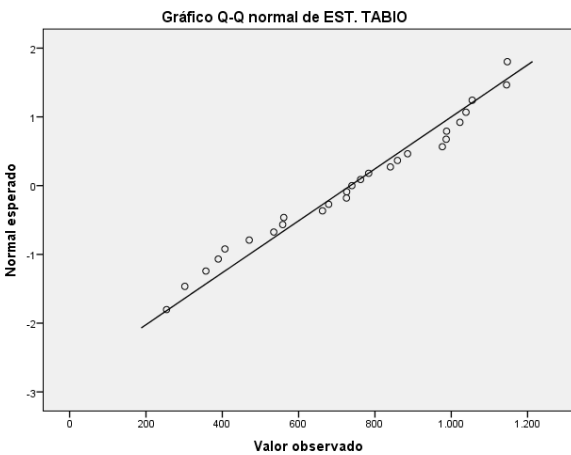
(r).

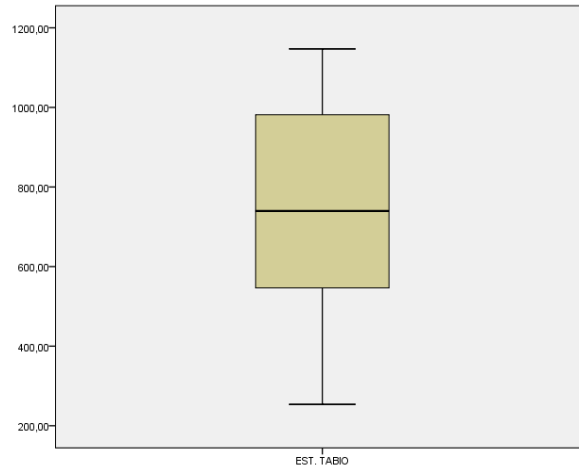


(s).

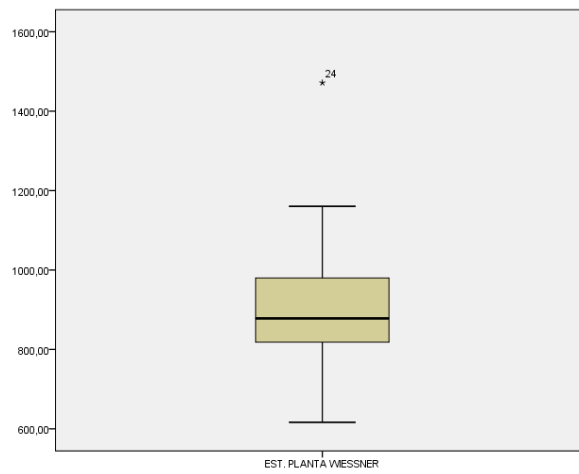
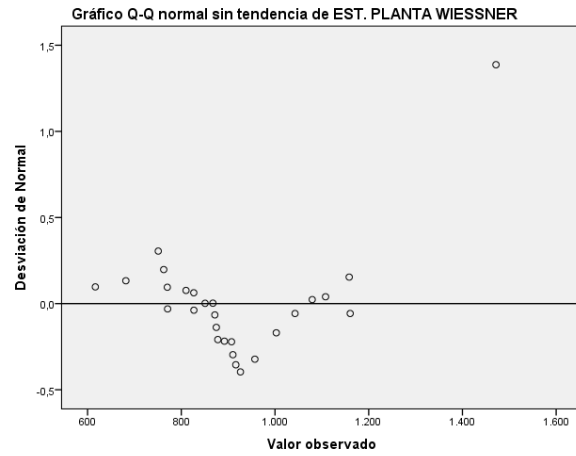
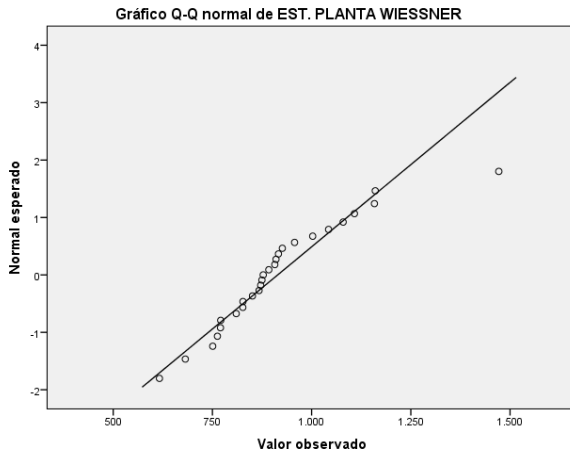


(t).

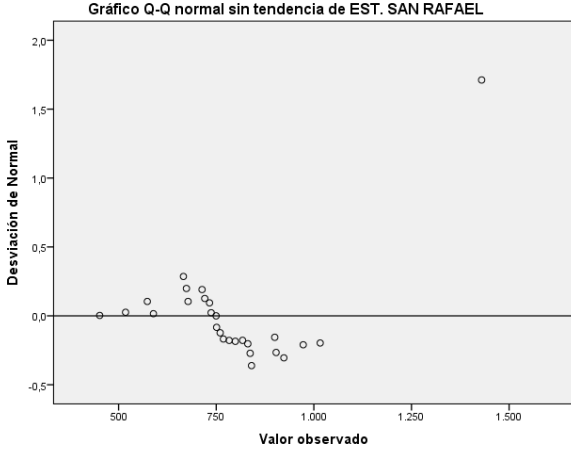
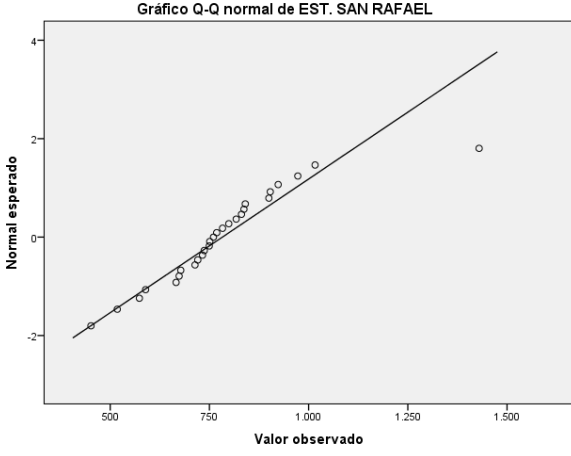




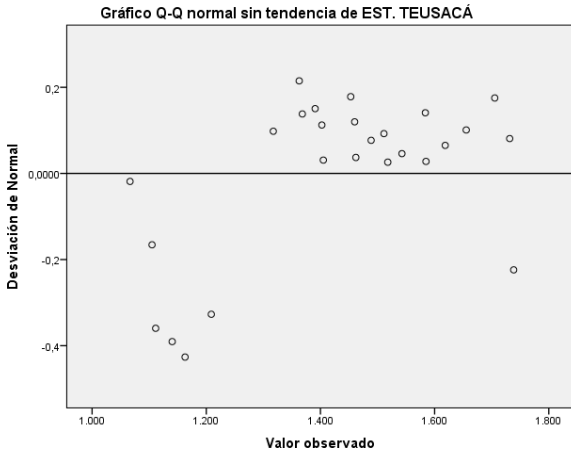
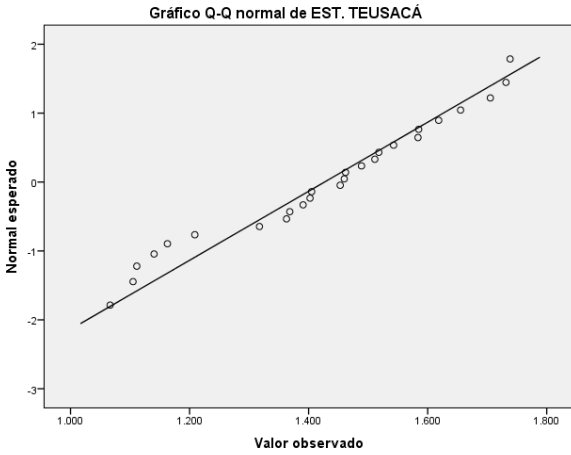
(u).

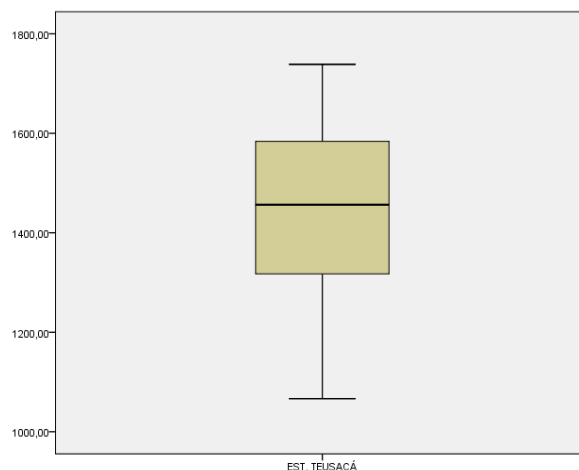


(v).



(w).





Gráficas de Normalidad para las estaciones del área de estudio. (a) Estación Potreritos, (b). Estación Guasca, (c). Estación San Isidro, (d). Estación Sta Cruz de Siecha, (e). Estación Suasuque, (f). Estación Junin, (g) Estación Sueva, (h) Estación Amoladero El, (i) Estación Potrero Largo, (j). Estación Gachetá, (k) Estación Lourdes, (l). Estación Bolsa La, (m). Estación Alco, (n). Estación Bombas Sesquilé, (o). Estación Casita La, (p). Estación Consuelo El, (q). Estación Guatavita, (r). Estación San José, (s). Estación Sta Teresa, (t) Estación Tabio, (u) Estación Planta Wiessner, (v) Estación San Rafael, (w) Estación Teusacá.

Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S. 2017.

De los resultados de la tabla 3 pruebas estadísticas de Smirnov Kolmogorov y Shapiro Wilk, se tomaron los resultados de la prueba de Shapiro Wilk debido al tamaño de las muestras a analizar (muestras pequeñas, menor a 50 observaciones). Se puede afirmar que los datos para (d). Estación Sta Cruz de Siecha, (h). Estación Amoladero El, (l). Estación Bolsa La, (r). Estación San José, (s). Estación Sta Teresa y (v) Estación San Rafael presentan un comportamiento que no sigue una distribución normal; estos resultados también se pueden comprobar de forma gráfica en la gráfica 6, donde se muestra que los gráficos Q-Q de probabilidad normal para estas estaciones muestran una relación que se aleja de la línea recta lo que sugiere que los datos no proceden de una distribución normal. Los gráficos Q-Q normal sin tendencias, muestran las desviaciones de los puntos con relación a una línea recta. En el diagrama de caja y bigotes se puede observar que la Estación Sta. Cruz de Siecha presenta una asimetría positiva y un valor atípico. Las Estaciones Amoladero El, Bolsa La, Sta Teresa y San Rafael presentan una asimetría negativa donde se observan de uno a tres valores atípicos (outliers) en estas estaciones y la Estación San José no presenta asimetría y se observan tres valores atípicos

Los datos para la (a). Estación Potreritos, (b). Estación Guasca, (c). Estación San Isidro, (e). Estación Suasuque, (f). Estación Junin, (g) Estación Sueva, (i) Estación Potrero Largo, (j). Estación Gachetá, (k) Estación Lourdes, (m). Estación Alco, (n). Estación Bombas Sesquilé, (o). Estación Casita La, (p). Estación Consuelo El, (q).

Estación Guatavita, (t) Estación Tabio, (u) Estación Planta Wiessner y (w) Estación Teusacá presentan una distribución normal, estos resultados también se pueden comprobar de forma gráfica en la gráfica 6, donde se muestra que los gráficos Q-Q de probabilidad normal para estas estaciones muestran una relación cercana a una línea recta, lo que sugiere que los datos proceden de una distribución normal. Los gráficos Q-Q normal sin tendencias, muestran que los puntos se sitúan alrededor de la línea horizontal con el origen en el punto 0,0 lo que nos indica que la muestra ha sido extraída de una población normal y finalmente los diagramas de caja y bigotes muestran una asimetría negativa para las estaciones Potreritos, San Isidro, Suasuque, Junin, Potrero Largo, Gachetá, Alco, Bombas Sesquilé, Casita La, Consuelo El, Teusacá. Las estaciones Suasuque, Casita la, Consuelo el, Bombas Sesquilé y Junin presentan de uno a tres valores atípicos. Las estaciones Guasca, Sueva, Lourdes, Guatavita, Tabio, Planta Wiessner, presentan una asimetría positiva, donde las estaciones Sueva y Planta Wiessner presenta un valor atípico.

2.3.2.3. Análisis confirmatorio

Posterior al análisis gráfico y a la aplicación de las pruebas de normalidad conviene realizar un análisis más riguroso a partir de técnicas estadísticas, con el fin de determinar si la serie no presenta tendencia y es homogénea y los cuales son supuestos necesarios para realizar posteriormente modelaciones y simulaciones con las series hidroclimatológicas. Para realizar el análisis confirmatorio existen numerosas pruebas estadísticas paramétricas y no paramétricas; el uso de una u otra depende de la cantidad y la calidad de la información disponible en los datos y del cumplimiento o no del supuesto de normalidad en la distribución de los datos¹².

La mayoría de las pruebas paramétricas suponen que los datos se asemejan a una distribución normal, son sensibles a la cantidad de datos, a las asimetrías y a la presencia de datos atípicos. Las pruebas no paramétricas, en cambio, no requieren de ningún supuesto de normalidad o de otra distribución conocida, lo que indica que son útiles bajo un amplio rango de distribuciones de la población; además, en la mayoría de los casos, los resultados estadísticos se derivan únicamente a partir de procedimientos de ordenación y recuento, por lo que su base lógica es de fácil comprensión. Cuando se trabaja con muestras pequeñas ($n < 10$), en las que se desconoce si es válido suponer la normalidad de los datos, conviene utilizar pruebas no paramétricas, al menos para corroborar los resultados obtenidos a partir de la utilización de la teoría basada en la distribución normal¹³.

Para el presente estudio usaremos algunas de las pruebas paramétricas para el análisis cuantitativo de los datos de las estaciones y así comprobar la

¹² Ibid. p. 18

¹³ Ibid. p. 18

homogeneidad (o estacionalidad) de la serie (falta de tendencia) y detectar posibles cambios en la media y la varianza.

2.3.2.4. Prueba de ausencia de tendencia

Método de correlación de rangos de Sperman

Para verificar la ausencia de tendencia, se recomienda usar el método de correlación de rangos de Sperman, que se define como¹⁴:

$$R_{sp} = 1 - \frac{6 * \sum_{i=1}^n (D_i * D_i)}{n * (n * n - 1)}$$

Donde **n** es el número total de datos

D es la diferencia, y **i** es el número de orden cronológico. La diferencia entre las clasificaciones se calcula con¹⁵:

$$D_i = K_{x_i} - K_{y_i}$$

Donde **k_x**, es el rango de la variable, **x** es el número de orden cronológico de las observaciones. Las series de observaciones **Y_i**, se transforman en su rango equivalente **K_y**, asignando el número de orden cronológico de una observación en la serie original al número de orden correspondiente en la serie clasificada, y si hay ligaduras es decir dos o más observaciones clasificadas y, con el mismo valor, la convención es tomar **k_x** como el rango promedio¹⁶.

Se puede probar la hipótesis nula, Ho: Rsp= 0 (no hay tendencia), en contra de la hipótesis alternativa, H1: Rsp <>0 (existe una tendencia), con la prueba estadística:

$$t_t = R_{sp} \left[\frac{n-2}{1 - R_{sp} * R_{sp}} \right]^{0.5}$$

Donde **t_t** tiene una distribución t Student con v= n-2 grados de libertad. La distribución t Student es simétrica alrededor de t=0¹⁷.

¹⁴ Dahmen, E. R y Hall. M, J. Op. Cit., p.17.

¹⁵ Ibid. p. 17.

¹⁶ Ibid. p. 17.

¹⁷ Ibid. p. 17.

Por lo tanto, debemos tener en cuenta que $t\{v, p\} = t\{v, 1 - p\}$ cuando se usan las tablas. A un nivel de significancia del 5 por ciento (dos colas), la región crítica de dos lados, U de t, está delimitada por: $\{-\infty, t\{v, 2.5\%\}\} \cup \{t\{v, 97.5\%\}, +\infty\}$

Y la hipótesis nula se acepta si t, no está contenida en la región crítica. En otras palabras, la serie temporal no tiene tendencia si:

$$t\{v, 2.5\%\} < t_t < t\{v, 97.5\%\}$$

Si la serie temporal tiene una tendencia, los datos no se pueden usar para análisis de frecuencia o modelado. La eliminación de la tendencia solo se justifica si los procesos físicos subyacentes se entienden lo que rara vez ocurre¹⁸.

En la tabla 4 se pueden observar los resultados del método de correlación de Spermán realizado para las estaciones del área de estudio.

Tabla 4. Análisis de tendencia para la precipitación total anual (en mm) para las estaciones del área de estudio desde 1988 a 2014.

CÓDIGO	NOMBRE	Rsp	t _t	v	t 2,5% t 97,5%
35060160	POTRERITOS	-0,24	-1,23	25	-2,04 2,04
21205700	GUASCA	0,26	1,34	25	--2,04 2,04
21201610	SAN ISIDRO	0,36	1,94	25	-2,04 2,04
21201220	STA CRUZ DE SIECHA	0,15	0,77	25	-2,04 2,04
21205920	SUASUQUE	0,31	1,62	25	-2,04 2,04
35060050	JUNIN	-0,37	-2,02	25	-2,04 2,04
35060020	SUEVA	0,31	1,61	25	-2,04 2,04
35060200	AMOLADERO EL	0,37	1,99	25	-2,04 2,04
21200780	POTRERO LARGO	0,37	1,98	25	-2,04 2,04
35065010	GACHETÁ	0,37	2,02	25	-2,04 2,04
21201050	LOURDES	0,35	1,89	25	-2,04 2,04
35025060	BOLSA LA	0,29	1,54	25	-2,04 2,04
21201990	ALCO	0,13	0,68	25	-2,04 2,04

¹⁸ Ibid. p. 17.

21201870	BOMBAS SESQUILÉ	0,26	1,36	25	-2,04 2,04
21201120	CASITA LA	0,18	0,88	23	-2,06 2,06
21200960	CONSUELO EL	0,31	1,62	25	-2,04 2,04
21205620	GUATAVITA	0,27	1,43	25	-2,04 2,04
21200800	SAN JOSÉ	0,24	1,23	25	-2,04 2,04
21201030	STA TERESA	-0,02	-0,09	25	-2,04 2,04
21205650	TABIO	0,15	0,74	25	-2,04 2,04
21206420	PLANTA WIESSNER	0,29	1,49	25	-2,04 2,04
21200110	SAN RAFAEL	0,29	1,50	25	-2,04 2,04
21201990	TEUSACÁ	0,28	1,43	24	-2,06 2,06

Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S. 2017.

En el Anexo B se encuentra los resultados de la correlación de angos de Sperman

2.3.2.5. Estabilidad de la varianza

Detectar cambios en la varianza es un paso fundamental para determinar si la serie presenta homogeneidad o no. Se recomienda hacer el test para la estabilidad de la varianza, ya que la inestabilidad de la varianza implica que la serie cronológica no es estacionaria y, por lo tanto, no es adecuada para usos posteriores¹⁹.

Prueba F o prueba de Fisher

Es una prueba paramétrica que relaciona las varianzas de dos conjuntos que resultan de dividir la serie hidroclimatológica en dos partes iguales. Esta distribución muestra la relación entre las varianzas de las muestras que vienen de una distribución normal; sin embargo, Dahmen y Hall²⁰ afirman que, si las muestras no vienen de una distribución normal, la prueba F dará una buena estimación de la estabilidad de la varianza²¹.

¹⁹ CASTRO, Lina M. y CARVAJAL, Yesid. Op. Cit., p. 19.

²⁰ Dahmen, E. R y Hall, M, J. Op. Cit., p.21.

²¹ CASTRO, Lina M. y CARVAJAL, Yesid. Op. Cit., p. 19.

La prueba estadística dice:

$$F_t = \frac{\sigma_1^2}{\sigma_2^2} = \frac{S_1^2}{S_2^2}$$

Donde S^2 es la varianza.

$$s = \left[\frac{\sum_{i=1}^n (x_i^2) - n \cdot \bar{x}^2}{n - 1} \right]^{0.5}$$

Donde x_i es la observación, n es el número total de datos de la muestra y \bar{x} es la media de los datos.

La hipótesis nula para la prueba, $H_0: S_1^2 = S_2^2$ es la igualdad de las varianzas y la hipótesis alternativa $H_1: S_1^2 \neq S_2^2$.

La región de rechazo está delimitada por $\{0, F\{v_1, v_2, 2.5\%\}\} \cup \{F\{v_1, v_2, 97.5\%\}, +\infty\}$ donde $v_1 = n_1$ y $v_2 = n_2$, son los grados de libertad para el numerador y denominador respectivamente. En otras palabras, la varianza de la serie de tiempo es estable y uno puede usar la desviación estándar de la muestra S , como una desviación estándar de una población σ , sí:

$$F\{v_1, v_2, 2.5\%\} < F_t < F\{v_1, v_2, 97.5\%\}^{22}$$

En la Tabla 5. Análisis de la estabilidad de la varianza para la precipitación total anual (en mm) para las estaciones del área de estudio desde 1988 a 2014. se pueden observar los resultados de la prueba F o prueba de Fisher realizado para las estaciones del área de estudio

Tabla 5. Análisis de la estabilidad de la varianza para la precipitación total anual (en mm) para las estaciones del área de estudio desde 1988 a 2014.

CÓDIGO	NOMBRE	Sub-set (Water Years)	Sub-set (Water Years)	v_1, v_2	F_t	F 2,5% F 97,5%
35060160	POTRERITOS	1-14	15-27	13,12	1,27	0,328 3,21
21205700	GUASCA	1-14	15-27	13,12	0,32	0,328 3,21
21201610	SAN ISIDRO	1-14	15-27	13,12	0,79	0,328 3,21
21201220	STA CRUZ DE SIECHA	1-14	15-27	13,12	0,34	0,328 3,21
21205920	SUASUQUE	1-14	15-27	13,12	0,41	0,328

²² Dahmen, E. R y Hall. M, J. Op. Cit., p.21.

						3,21
35060050	JUNIN	1-14	15-27	13,12	0,52	0,328 3,21
35060020	SUEVA	1-14	15-27	13,12	0,85	0,328 3,21
35060200	AMOLADERO EL	1-14	15-27	13,12	2,5	0,328 3,21
21200780	POTRERO LARGO	1-14	15-27	13,12	0,43	0,328 3,21
35065010	GACHETÁ	1-14	15-27	13,12	1,01	0,328 3,21
21201050	LOURDES	1-14	15-27	13,12	1,09	0,328 3,21
35025060	BOLSA LA	1-14	15-27	13,12	1,62	0,328 3,21
21201990	ALCO	1-14	15-27	13,12	1,31	0,328 3,21
21201870	BOMBAS SESQUILÉ	1-14	15-27	13,12	1,50	0,328 3,21
21201120	CASITA LA	1-13	14-25	12,11	0,38	0,301 3,43
21200960	CONSUELO EL	1-14	15-27	13,12	0,81	0,328 3,21
21205620	GUATAVITA	1-14	15-27	13,12	0,55	0,328 3,21
21200800	SAN JOSÉ	1-14	15-27	13,12	0,39	0,328 3,21
21201030	STA TERESA	1-14	15-27	13,12	2,64	0,328 3,21
21205650	TABIO	1-14	15-27	13,12	0,38	0,328 3,21
21206420	PLANTA WIESSNER	1-14	15-27	13,12	0,35	0,328 3,21
21200110	SAN RAFAEL	1-14	15-27	13,12	0,39	0,328 3,21
21201990	TEUSACÁ	1-13	15-27	12,12	0,81	0,305 3,28

Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S. 2017.

De los resultados obtenidos para las estaciones del área de estudio, se puede comprobar que los valores de F1 caen fuera de la región crítica en todos los casos, por lo tanto, se comprobó que la varianza de las series temporales es estable a un nivel de significancia del 5%.

Para concluir, no se observaron discrepancias importantes, las series temporales no presentan tendencia y la varianza y la media son estables. Por lo tanto, las series de tiempo son estacionarias y no hay objeción para el uso de los datos.

En el Anexo B se encuentra los resultados de la prueba de Fisher

3. CARACTERIZACIÓN VARIABLES CLIMATOLÓGICAS

El clima es uno de los determinantes y condicionantes más importantes para la dinámica de los suelos, desarrollo de la vegetación, actividades agrícolas y actividades culturales. Entre los elementos que intervienen para definir el clima están la temperatura, precipitación, vientos y altura; a partir de estos se determinan las características de una región y se pueden establecer diferentes sistemas de clasificación²³.

Guasca se encuentra ubicada en la parte nororiental del departamento de Cundinamarca, con una altitud de 2.700 msnm y 15° de temperatura promedio, y su distribución de precipitación está caracterizada por un largo periodo de lluvias que es seguido por un periodo seco, comportamiento conocido como de tipo monomodal²⁴. Regionalmente presenta un período de descenso en las lluvias en los meses de diciembre y enero, y un muy leve descenso en los meses de agosto y septiembre, mientras que la temporada lluviosa empieza en abril y se prolonga hasta el mes de noviembre²⁵. Las precipitaciones varían entre los 2.000 mm y 2.400 mm promedio anual en los períodos lluviosos y entre los 800 mm y 400 mm promedio anual en períodos de estiaje²⁶. El municipio tiene variaciones diarias de temperatura entre los 4 °C y los 20 °C, dependiendo de la hora del día y los regímenes de vientos. En promedio anual tiene 13 °C en su territorio²⁷.

Las variaciones en el clima y especialmente en las lluvias de la región, se ven afectadas por un fenómeno natural denominado Zona de Confluencia Intertropical (ZCIT). La ZCIT es la región del globo terrestre donde convergen los vientos Alisios del noreste, originados como un flujo alrededor de las altas del Atlántico Norte, con los vientos Alisios del sureste, formados como un flujo alrededor de las altas del Pacífico Sur y Atlántico Sur²⁸. El encuentro de estos vientos obliga al aire cálido ecuatorial a elevarse (convección) provocando un enfriamiento del aire (expansión),

²³ DÍAZ, E., y ZAMORA, L. Estrategia de gestión ambiental para el manejo del recurso hídrico en el ámbito local Caso municipio de Guasca – Cundinamarca. Trabajo de grado para optar al título de Magister en gestión ambiental. BOGOTÁ D.C.: Pontificia Universidad Javeriana, 2011. p. 25

²⁴ CMGRD. Plan Municipal de Gestión del Riesgo de Desastres. Municipio de Guasca Cundinamarca. 2012. p. 7-8

²⁵ Ibid. p. 7-8

²⁶ DÍAZ, E., y ZAMORA, L. Op. Cit., p. 26

²⁷ Ibid. p. 26

²⁸ BOADA, C. Caracterización climatológica de la cuenca alta del río Bogotá. Trabajo de grado para optar el título de Ingeniera Ambiental y Sanitaria. BOGOTÁ D.C.: Universidad de La Salle, 2011. p. 24

que favorece la condensación, el desarrollo de nubes y abundantes lluvias²⁹. El ciclo de esta zona inicia su recorrido de sur a norte en enero – febrero, subiendo paulatinamente la hacia el norte desde Perú y Brasil, para seguidamente cruzar la línea Ecuatorial y hacer su paso por el departamento de Cundinamarca entre los meses de abril y mayo, llegando hasta el norte del continente suramericano sobre el mar Caribe; el recorrido de norte a sur inicia entre los meses de julio y agosto, volviendo a pasar por el departamento a principios de octubre, época en que se presenta otro pico máximo de precipitación en la cuenca del río Bogotá y región del Páramo de Sumapaz³⁰. En las proximidades de la superficie, los vientos en dichas regiones son generalmente variables y débiles antes de constituirse en vientos alisios que luego alcanzan el Ecuador. De esta manera se forma en cada hemisferio un circuito meridional en el movimiento del aire, a través de una amplia célula convectiva conocida como Celda de Hadley³¹.

3.1. PRECIPITACIÓN

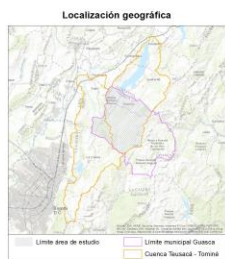
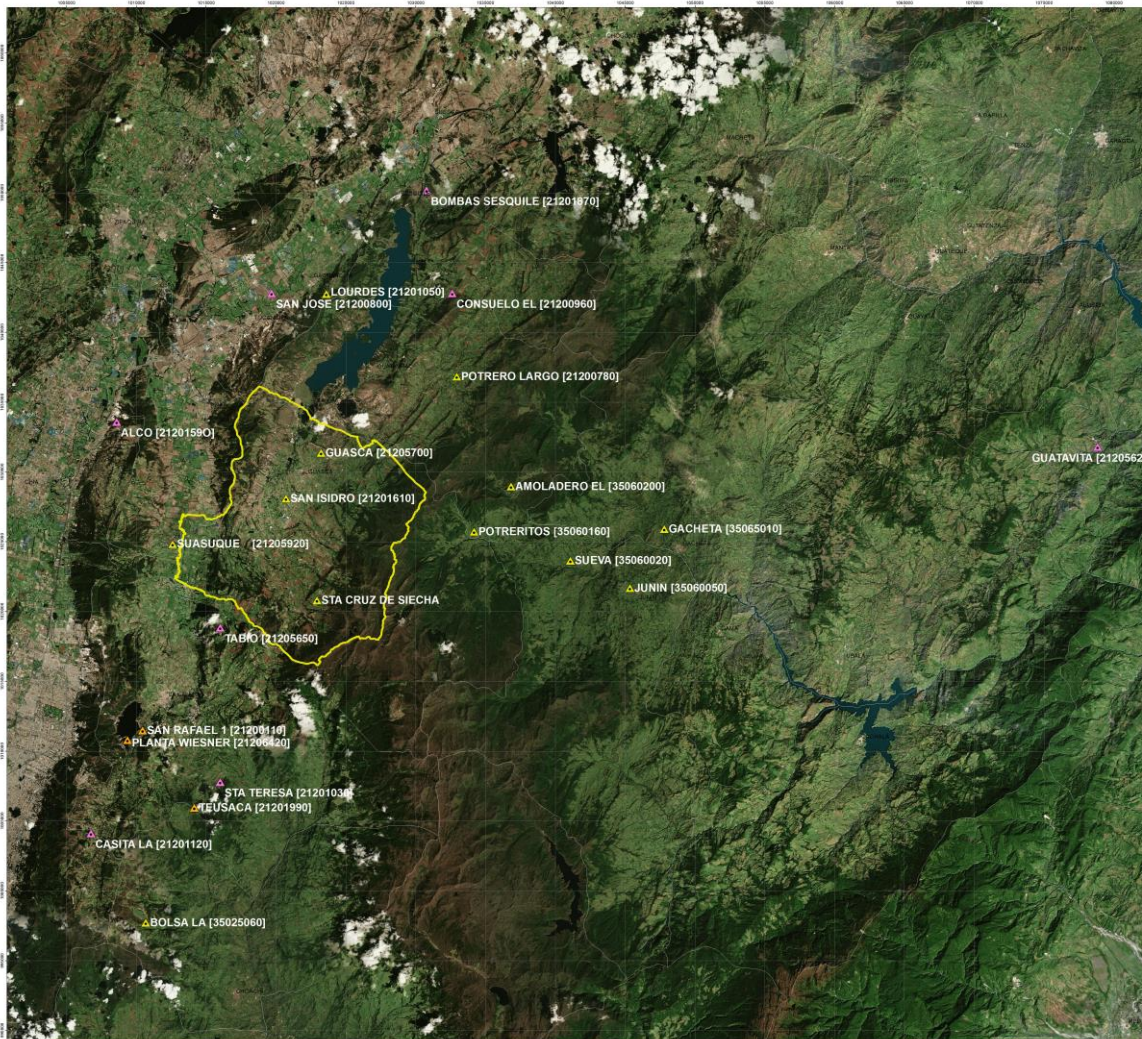
Para realizar la caracterización de la variable precipitación en el área de estudio se tuvieron en cuenta las estaciones del IDEAM: Potreritos, Guasca, San Isidro, Santa Cruz de Siecha, Suasuque, Junin, Sueva, Amoladero El, Potrero Largo, Lourdes, Gacheta y Bolsa La, las estaciones de la CAR: Alco, Bombas Sesquilé, La Casita, Consuelo El, Guatavita, San Jose, Sta Teresa y Tabio, y las estaciones de la EAAB-ESP: Planta Wiesner, San Rafael y Teusacá. De acuerdo con la información disponible se estableció un periodo de tiempo de 27 años, iniciando en el año 1988 y finalizando en el año 2014. La imagen 3 muestra la localización de cada una de las estaciones utilizadas para el análisis de precipitación.

²⁹ Ibid. p. 24

³⁰ Ibid. p. 24-25

³¹ Ibid. p. 25

Imagen 3. Localización de cada una de las estaciones utilizadas para el análisis de precipitación.


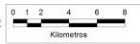


Convecciones

-  Estaciones hidrometeorológicas seleccionadas del IDEAM
-  Estaciones hidrometeorológicas seleccionadas de la CAR
-  Estaciones hidrometeorológicas seleccionadas del EAAB-ESP
-  Límite área de estudio
-  Municipios

DESARROLLO DE LAS FASES DE APRESTAMIENTO Y PRIMERA PARTE DE LA FASE DE DIAGNÓSTICO DEL SISTEMA DE ACUÍFEROS EN EL MUNICIPIO DE GUASCA, JURISDICCIÓN DE CORPOGUAYO

ESTACIONES HIDROMETEOROLÓGICAS - PRECIPITACIÓN



 Escala: 1:65.000

Coordinate System: MAGNA Colombia Bogota
 Projection: Transverse Mercator
 Datum: MAGDA
 False Easting: 1.000.000.0000
 False Northing: 1.000.000.0000
 Central Meridian: -74.0775
 Scale Factor: 1,0000
 Latitude Of Origin: 4.5962
 Units: Meter

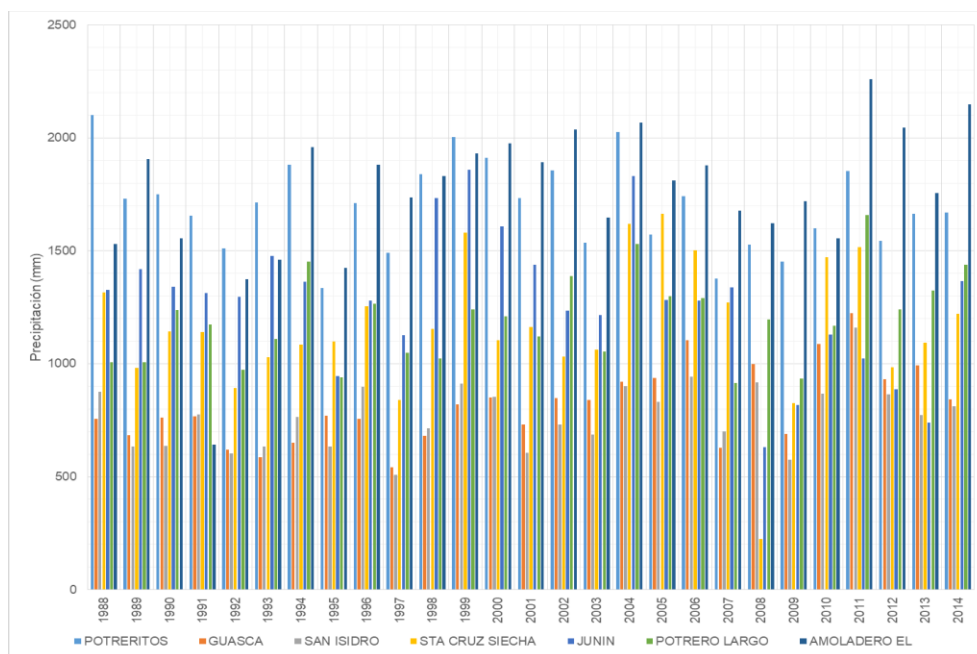
Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S. 2017.

3.1.1. Distribución temporal de la precipitación

3.1.1.1. Precipitación total anual

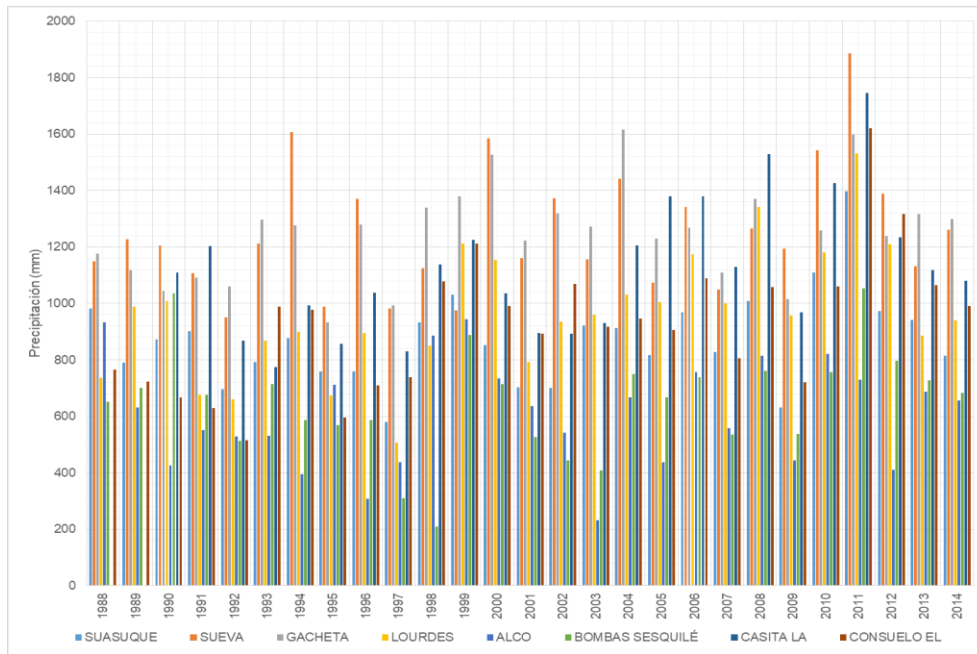
Los diagramas de precipitación total anual para el área de estudio muestran aumentos y disminuciones de precipitaciones en diferentes años, siendo los años más lluviosos 1991, 2002, 2011 y 2014 donde los mayores valores de precipitación se presentan en las estaciones Sta Teresa con valor de 2.050,9 mm, San José con valor de 2.981,8 mm y Amoladero El con valores de 2.148,9 mm y 2.258,9 mm. Los años más secos se registran en los años 1992, 1997, 2008 y 2009 donde los menores valores de precipitación se presentan en las estaciones Consuelo el con un valor de 515,6 mm, Bombas Sesquilé con un valor de 310,2 mm, Sta Cruz de Siecha con un valor de 224,3 mm y la estación San José con un valor de 493,7 mm. Las gráficas 7, 8 y 9 muestran la precipitación total anual de las estaciones climatológicas seleccionadas en el área de estudio.

Gráfica 7. Diagramas de precipitación total anual de las estaciones climatológicas seleccionadas en el área de estudio



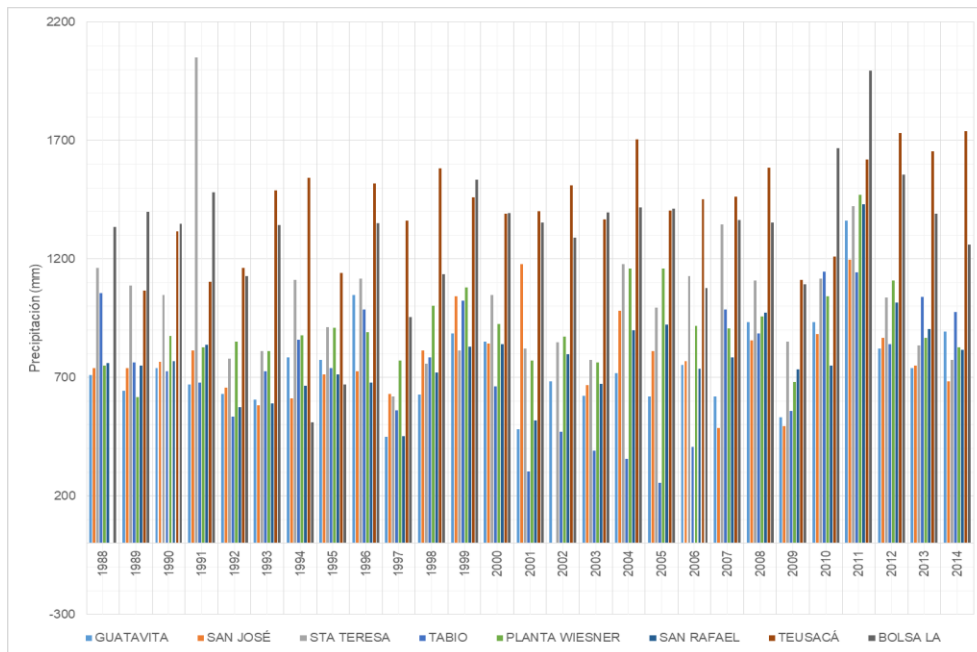
Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S. 2017.

Gráfica 8. Diagramas de precipitación total anual de las estaciones climatológicas seleccionadas en el área de estudio.



Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S. 2017.

Gráfica 9. Diagramas de precipitación total anual de las estaciones climatológicas seleccionadas en el área de estudio.

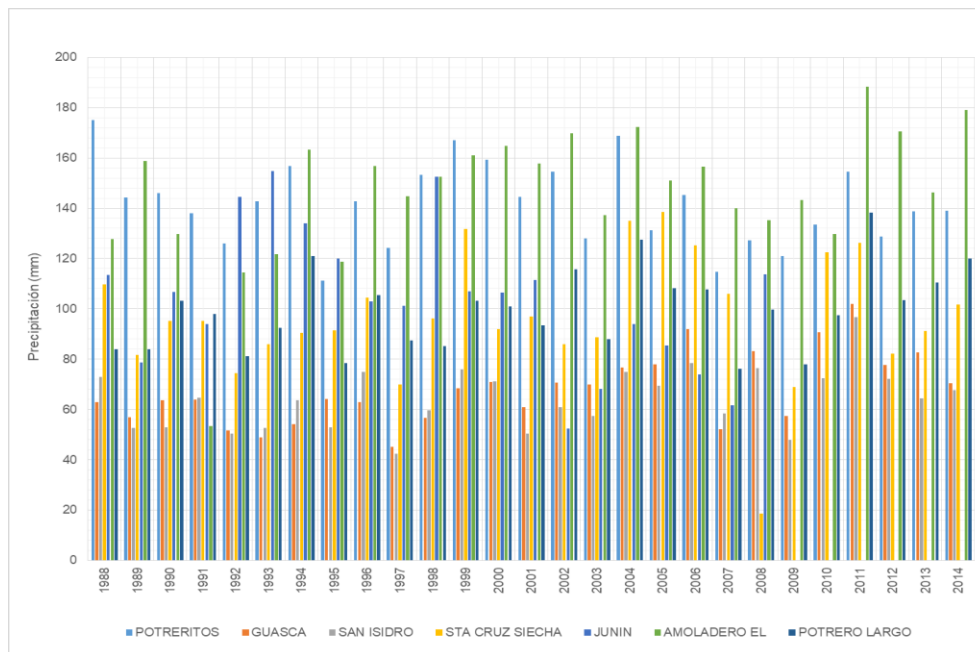


Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S. 2017.

3.1.1.2. Precipitación media anual

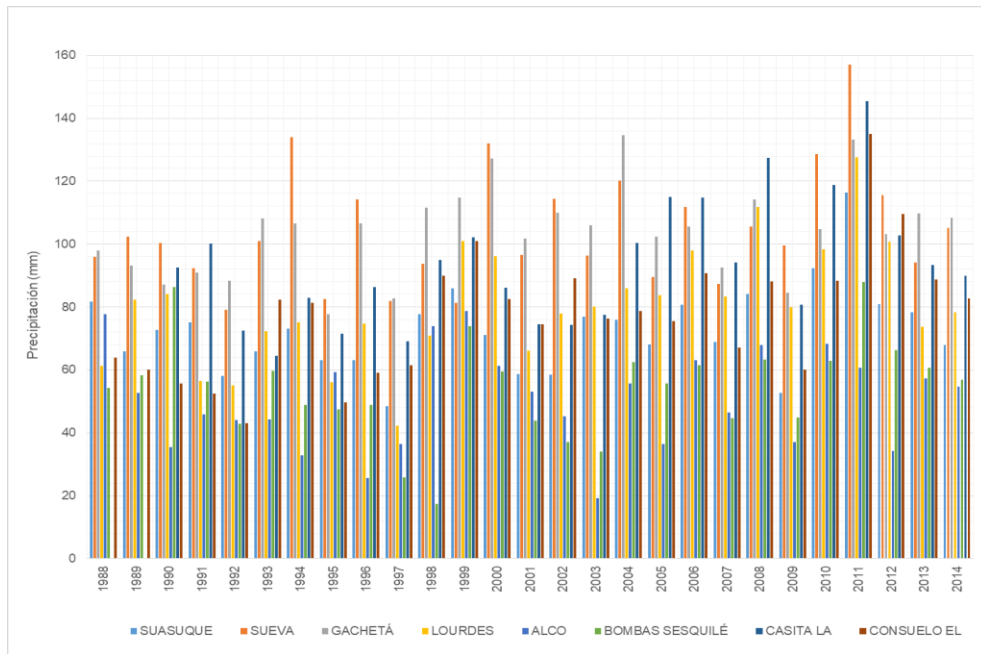
La precipitación media anual muestra una tendencia constante para cada una de las estaciones, siendo los años más lluviosos 1988, 2011 y 2014, donde Amoladero El con un valor de 188,2 mm es la estación con mayor precipitación en el año 2011. Los años con valores de precipitación más bajos fueron 1997, 2001 y 2008, donde la estación Sta Cruz de Siecha presenta la menor precipitación total acumulada con un valor de 18,7 mm en el año 2008. Las gráficas 10, 11 y 12 muestran la precipitación media anual de las estaciones climatológicas seleccionadas en el área de estudio.

Gráfica 10. Diagrama de precipitación media anual de las estaciones climatológicas seleccionadas en el área de estudio.



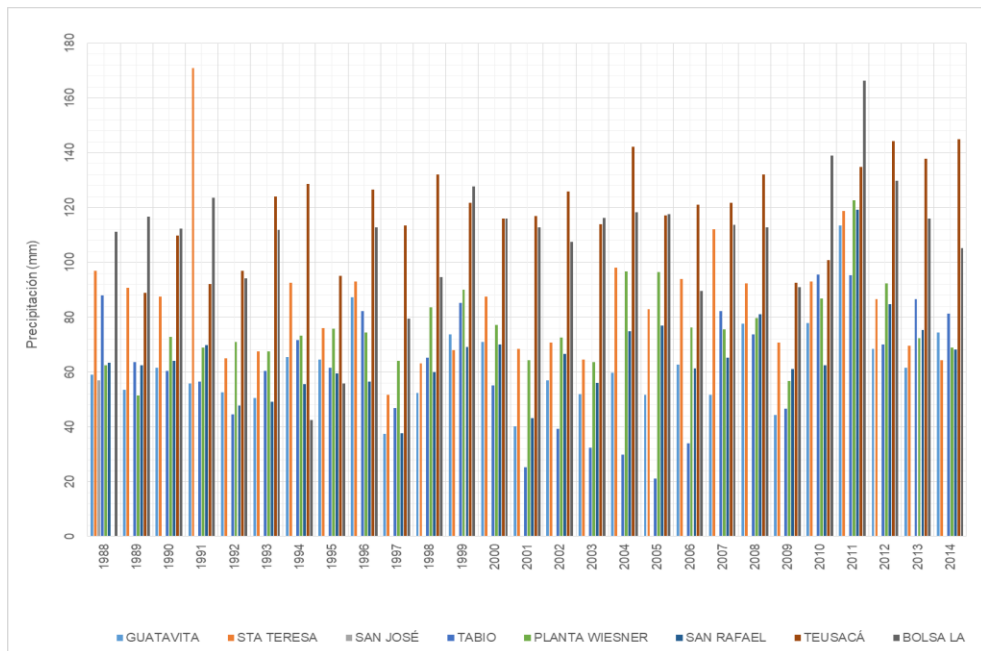
Fuente: SYSYCOL CONSULTORES S.A.S. 2017.

Gráfica 11. Diagrama de precipitación media anual de las estaciones climatológicas seleccionadas en el área de estudio.



Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S. 2017.

Gráfica 12. Diagrama de precipitación media anual de las estaciones climatológicas seleccionadas en el área de estudio.



Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S. 2017.

3.1.1.3. Precipitación media mensual multianual

La precipitación media mensual multianual es el promedio multianual en los 27 años de estudio de la precipitación total anual. La tabla 6 muestra la serie de los valores de precipitación media mensual multianual del área de estudio.

Las gráficas 13, 14 y 15 muestran el comportamiento de la precipitación media mensual multianual del área de estudio. El régimen de precipitación observado es de tipo unimodal, donde el periodo con mayores valores de precipitación se presenta entre abril y agosto con un valor máximo de 252 mm en la estación Amoladero El y el periodo con menores valores de precipitación se presenta entre septiembre y marzo, obteniendo registros de precipitación de 26,1 mm y 24,1 mm para las estaciones Consuelo El y Sueva respectivamente.

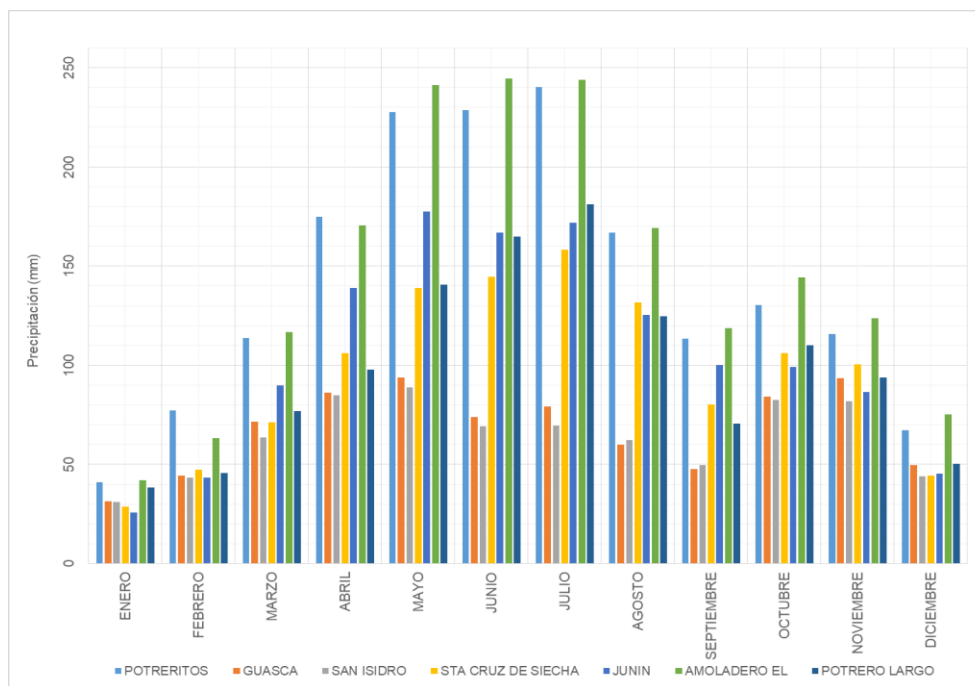
Tabla 6. Estaciones activas de precipitación en el área de estudio.

PRECIPITACIÓN MEDIA MENSUAL MULTIANUAL												
ESTACIÓN	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SEP.	OCT.	NOV.	DIC.
AMOLADERO EL	42,1	63,3	116,6	170,4	241,4	244,4	243,9	169,3	118,7	144,3	123,7	75,1
GUASCA	31,4	44,2	71,7	86,1	93,7	74,0	79,1	60,1	47,7	84,1	93,5	49,8
JUNIN	25,8	43,5	89,8	139,1	177,4	166,9	171,9	125,5	100,0	99,0	86,4	45,3
POTRERITOS	40,9	77,1	113,6	174,8	227,6	228,5	240,1	166,8	113,5	130,2	115,7	67,4
POTRERO LARGO	38,5	45,8	76,8	97,8	104,5	164,9	181,1	124,5	70,6	110,0	93,9	50,3
SAN ISIDRO	31,0	43,3	63,7	84,8	88,8	69,2	69,6	62,4	49,7	82,4	81,8	44,1
STA CRUZ DE SIECHA	28,8	47,2	71,2	106,3	139,1	144,6	158,3	131,8	80,1	106,1	100,5	44,4
SUASUQUE	30,5	43,3	64,7	95,5	95,9	80,9	100,1	74,8	57,5	85,2	85,7	47,2
SUEVA	24,1	44,0	83,1	149,8	168,1	151,7	159,8	123,5	89,0	115,5	98,2	42,9
GACHETÁ	28,5	43,6	86,1	137,7	168,4	151,4	149,4	112,1	92,7	114,5	107,9	53,7
LOURDES	42,9	54,2	97,0	101,7	111,5	80,3	83,6	63,6	62,3	102,5	109,8	56,4
ALCO	28,7	43,2	60,1	69,0	73,1	45,8	39,3	40,7	40,1	62,9	67,6	37,5
BOMBAS SESQUILÉ	40,0	31,2	57,9	70,6	68,2	51,4	58,9	49,8	39,3	77,1	72,8	32,5

CONSUELO EL	26,1	37,1	76,0	93,9	122,7	103,2	103,3	74,6	65,0	103,9	87,7	34,4
GUATAVITA	34,6	39,7	69,1	77,5	90,1	52,4	61,6	55,4	46,6	87,5	84,0	46,8
SAN JOSÉ	32,0	42,4	67,2	78,5	100,6	98,2	101,5	80,5	60,8	69,2	84,3	46,8
STA TERESA	34,8	49,9	79,1	96,2	120,0	109,4	104,3	89,8	73,1	109,4	102,5	52,2
TABIO	27,5	45,3	64,5	91,8	79,1	44,5	55,5	52,7	54,3	89,5	77,6	53,1
PLANTA WIESNER	53,2	54,4	79,5	97,4	98,4	69,2	73,9	57,8	42,3	101,3	117,0	70,0
SAN RAFAEL	47,2	48,9	73,5	89,0	88,8	51,8	55,0	44,0	45,2	91,4	91,2	57,0
TEUSACÁ	40,2	54,5	95,5	122,4	171,5	191,1	212,7	158,7	90,1	112,3	113,7	64,1
BOLSA LA	32,7	52,5	95,6	127,9	161,1	141,9	161,0	124,2	88,6	125,9	130,5	61,9

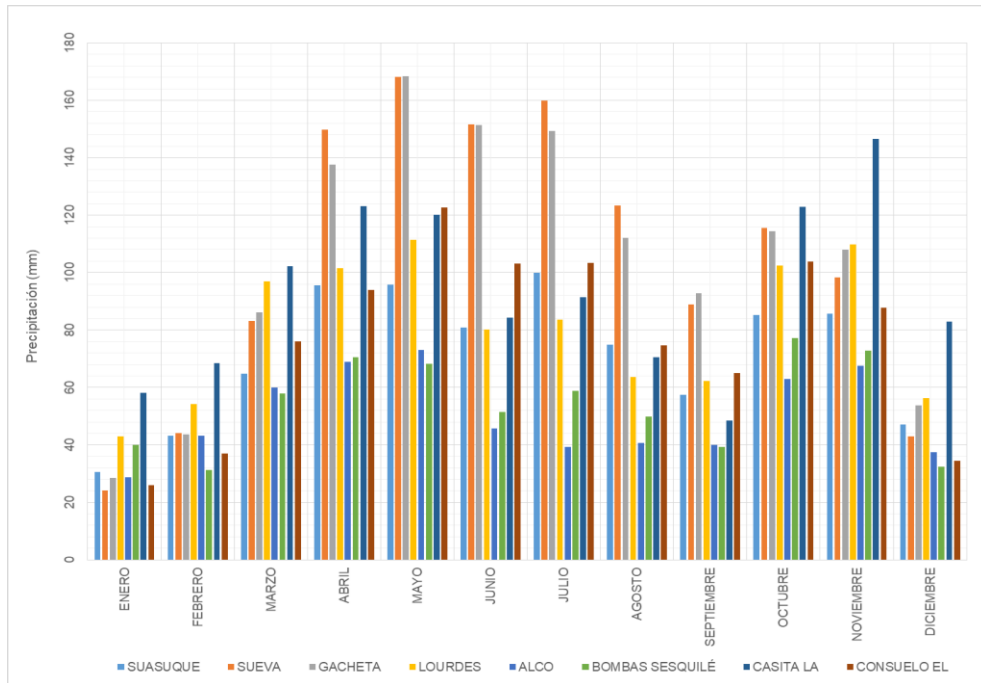
Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S. 2017.

Gráfica 13. Precipitación media mensual multianual en el área de estudio.



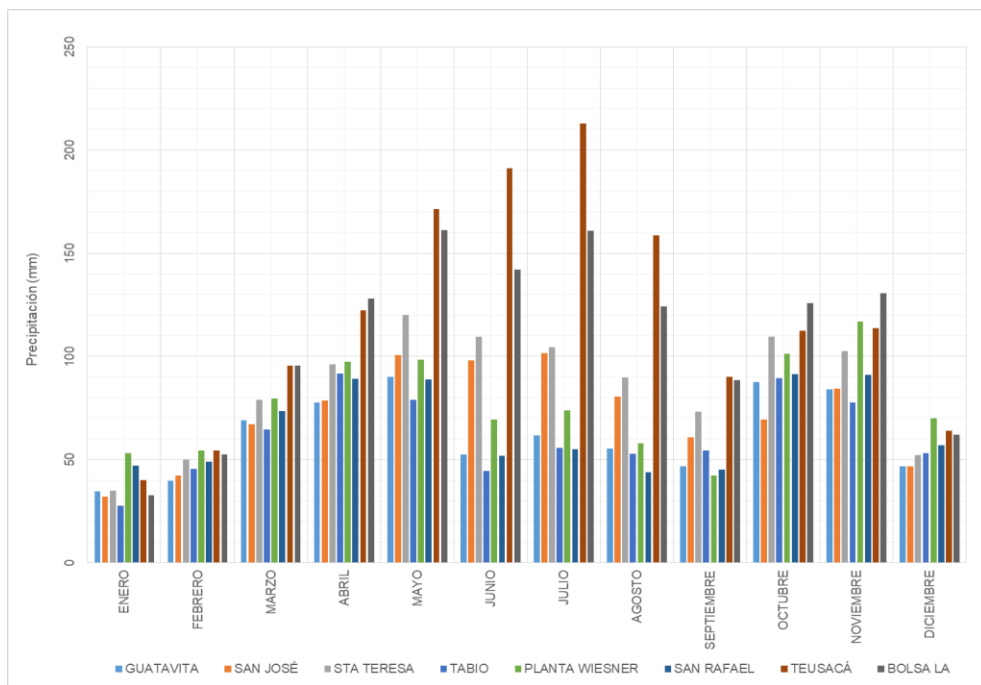
Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S. 2017.

Gráfica 14. Precipitación media mensual multianual en el área de estudio.



Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S. 2017.

Gráfica 15. Precipitación media mensual multianual en el área de estudio.



Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S. 2017.

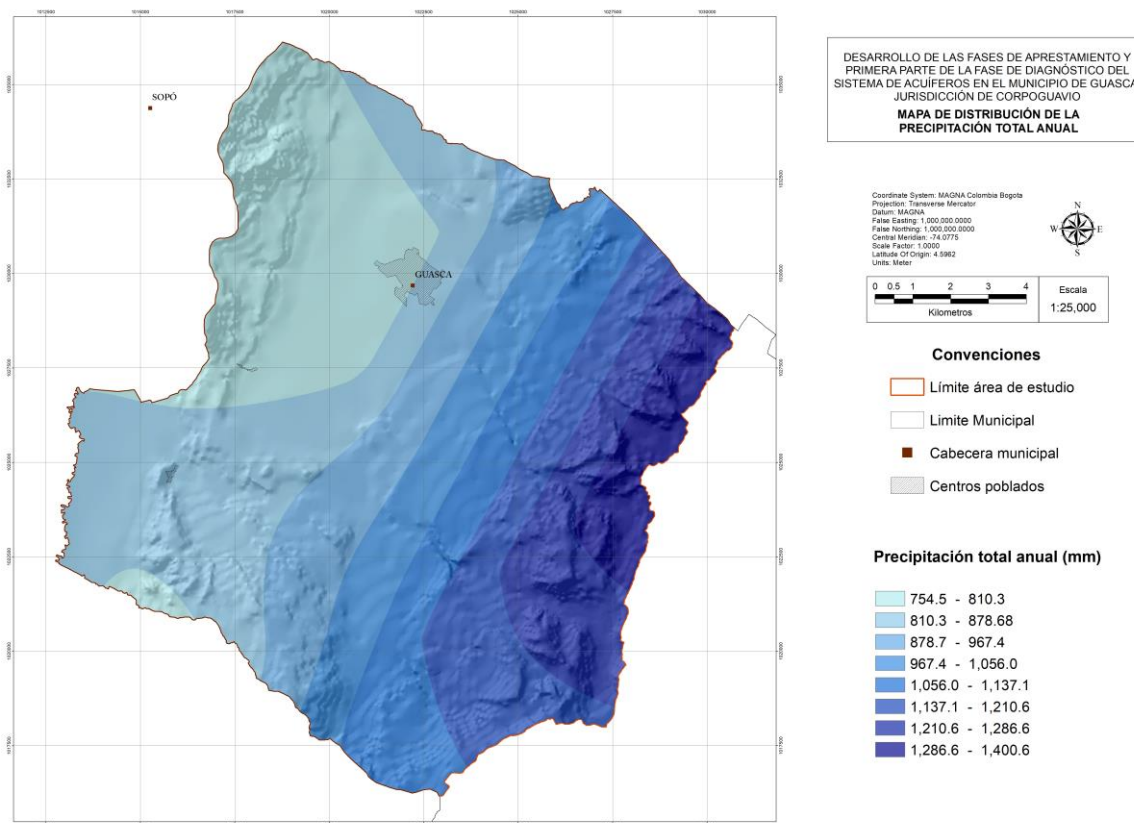
3.1.2. Distribución espacial de la precipitación

La distribución espacial de la precipitación se realizó mediante el software ArcGis, utilizando la herramienta de interpolación IDW.

3.1.2.1. Precipitación media anual

En la imagen 4 se muestra la distribución espacial de la precipitación total anual, donde se puede observar que las menores precipitaciones se presentan al norte del área de estudio incluyendo parte del casco urbano del municipio de Guasca y hace parte de la cuenca Tominé, con valores que van de 754,5 mm a 1.400,6 mm. Las mayores precipitaciones se pueden observar hacia el este del área de estudio, en las estribaciones del Páramo Grande con valores que van de 1.266,6 mm a 1.400,6 mm.

Imagen 4. Mapa de la precipitación total anual en el área de estudio.



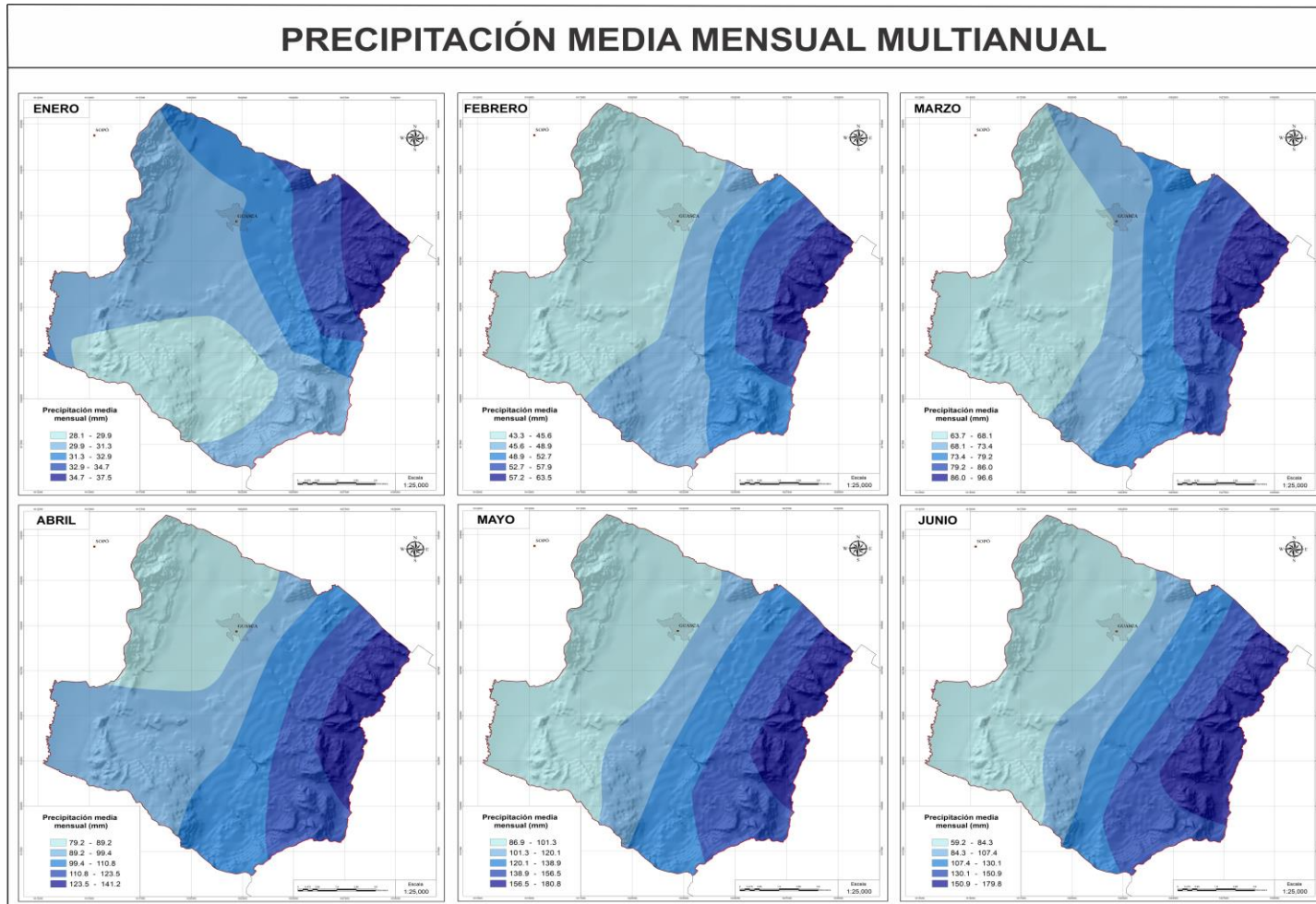
Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S. 2017

3.1.2.2. Precipitación media mensual multianual

Las imágenes 7 y 8 muestran la precipitación media mensual multianual en el área de estudio. Para el primer semestre, se observa que, en casi todos los meses, con excepción de enero, las menores precipitaciones se presentan hacia el noroeste del área de estudio con valores que van en un rango de 43,3 mm hasta 101,3 mm, en enero se presentan hacia el sur del área de estudio con valores que van desde 28,1 mm a 29,9 mm. En términos generales, en el primer semestre las menores precipitaciones se presentan en los meses de enero y febrero y las mayores precipitaciones se presentan hacia el este del área de estudio con valores que van en un amplio rango entre 34,7 mm y 180,8 mm, siendo abril y mayo los meses con mayores lluvias.

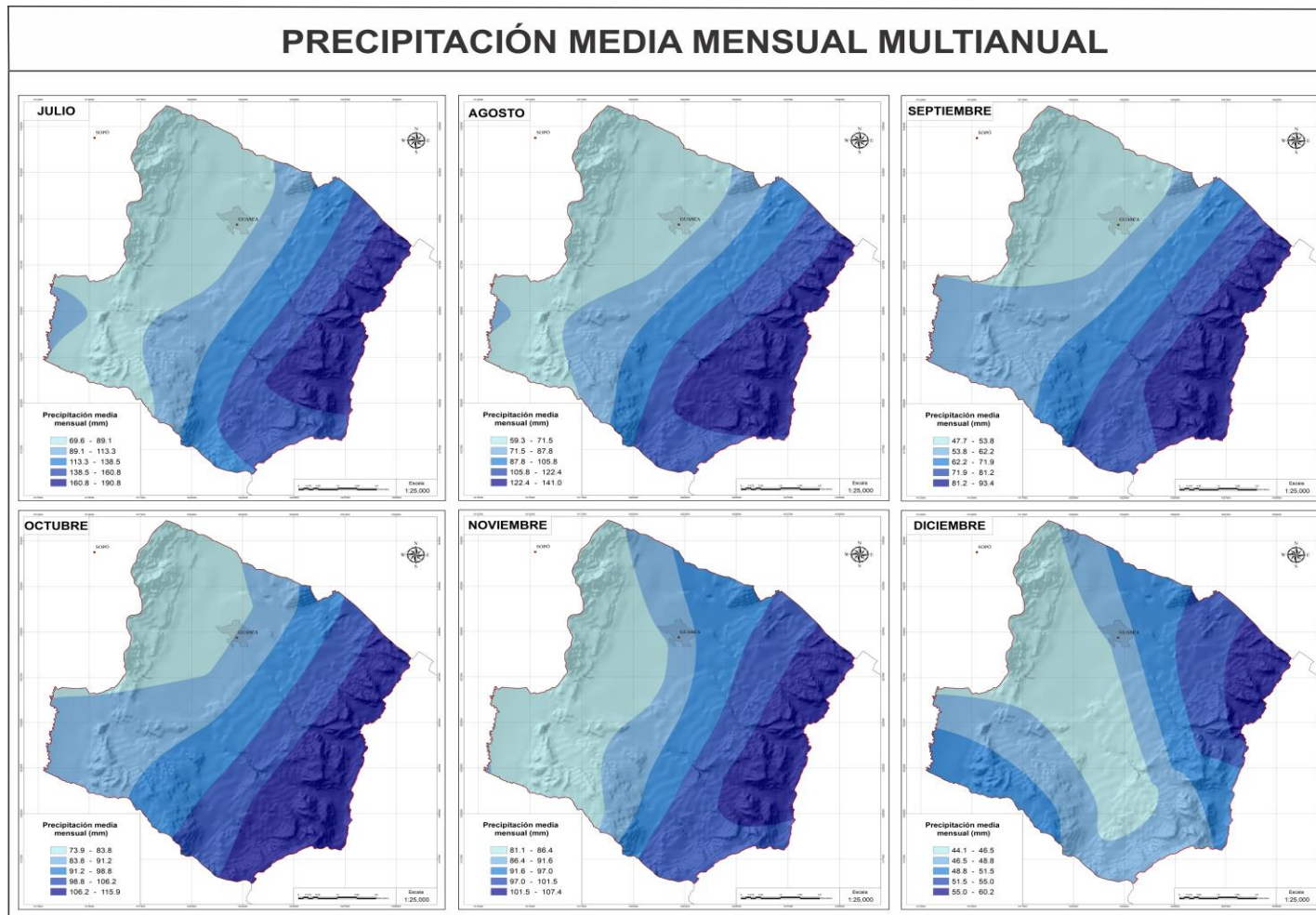
Para el segundo semestre, se observa que las menores precipitaciones se presentan hacia el noroeste del área de estudio con valores que van desde 44,1 mm hasta 86,4 mm. En términos generales, en el segundo semestre las menores precipitaciones se presentan en los meses de septiembre y diciembre y las mayores precipitaciones se presentan hacia el este del área de estudio con valores que van en un amplio rango entre 55,0 mm a 190,8 mm.

Imagen 5. Precipitación media mensual multianual (enero - junio).



Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S. 2017

Imagen 6. Precipitación media mensual multianual (Julio - diciembre).

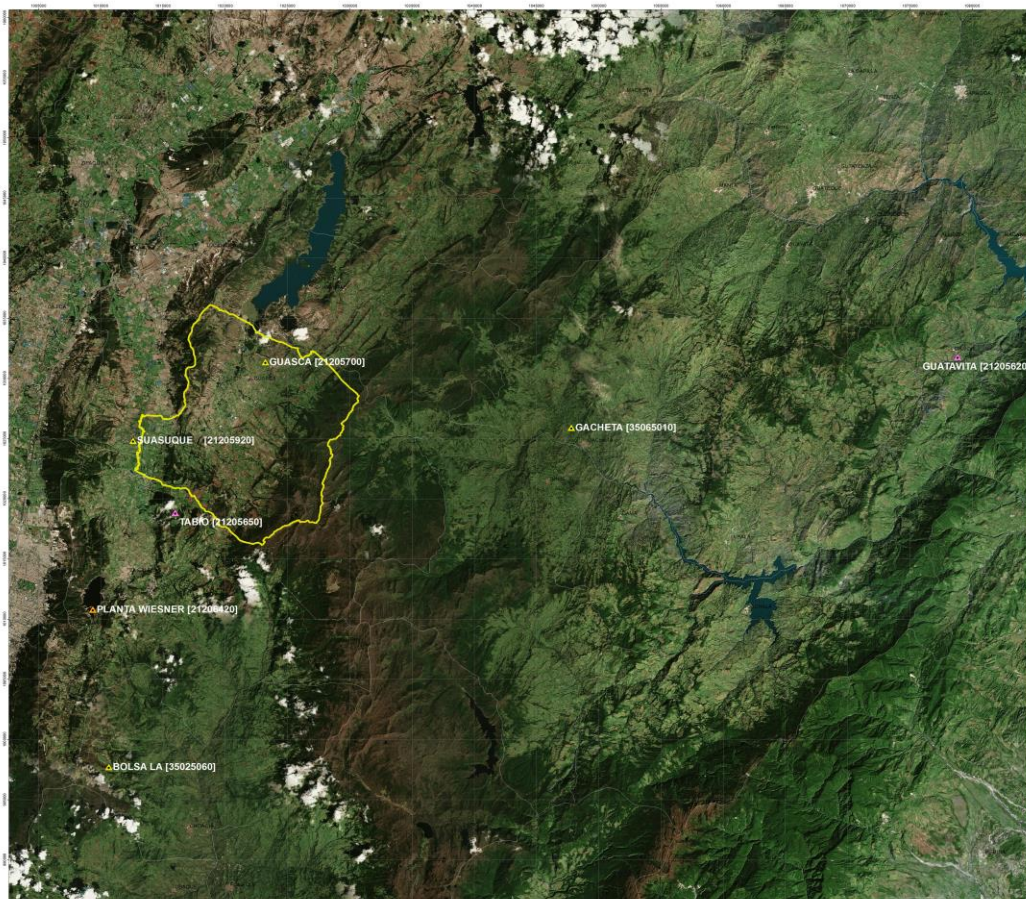


Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S. 2017

3.2. TEMPERATURA

Para realizar la caracterización de la variable temperatura en el área de estudio se tuvieron en cuenta las estaciones: Guasca, Suasuque y Llano El. La imagen 7 muestra la localización de cada una de las estaciones utilizadas para el análisis de temperatura.

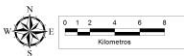
Imagen 7. Estaciones activas para temperatura activas en el área de estudio.



- Convecciones**
-  Estaciones hidrometeorológicas seleccionadas del IDEAM
 -  Estaciones hidrometeorológicas seleccionadas de la CAR
 -  Estaciones hidrometeorológicas seleccionadas del EAAB-ESP
 -  Limite área de estudio
 -  Municipios

DESARROLLO DE LAS FASES DE APRESTAMIENTO Y PRIMERA PARTE DE LA FASE DE DIAGNÓSTICO DEL SISTEMA DE ACUIFEROS EN EL MUNICIPIO DE GUASCA, JURISDICCIÓN DE CORPOGUAYO

ESTACIONES HIDROMETEOROLÓGICAS - TEMPERATURA



Coordinate System: MADM Colombia Bogotá
 Projection: Transverse Mercator
 Datum: MADDA
 False Easting: 1,000,000.0000
 False Northing: 1,000,000.0000
 Central Meridian: -76.0775
 Scale Factor: 1.0000
 Latitude Of Origin: 4.5962
 Units: Meter

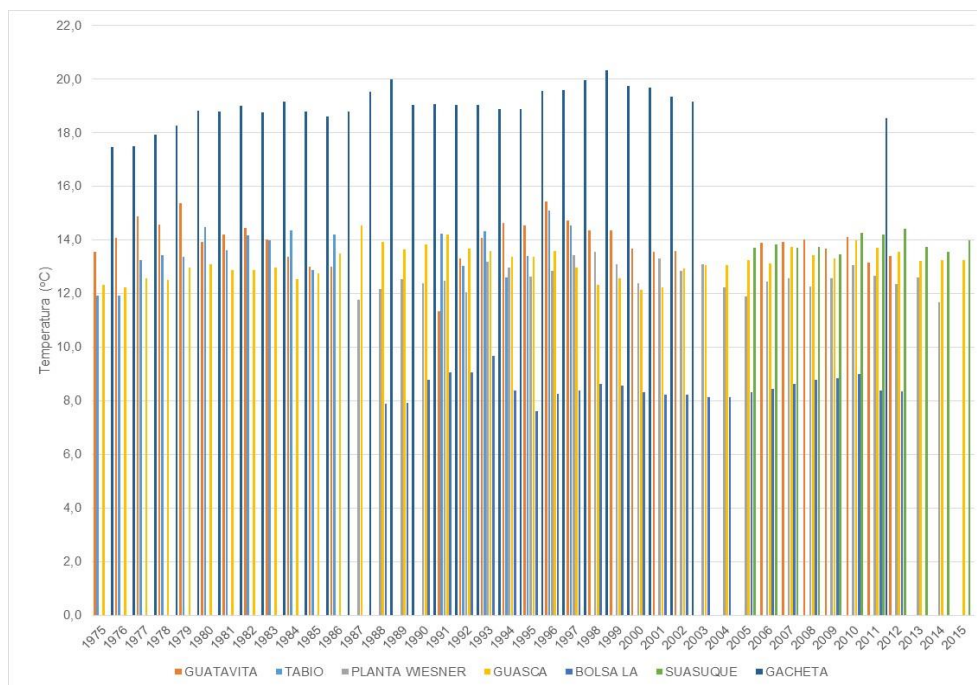
Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S. 2017

3.2.1. Distribución temporal de la temperatura

3.2.1.1. Temperatura media total anual

Para la temperatura media anual se tuvieron en cuenta mediciones entre 1975 y 2015, sin embargo, en este periodo se presentan varias interrupciones en las estaciones seleccionadas, por lo tanto, solo se tomaron los años que tuvieran datos completos. La temperatura media anual de las estaciones seleccionadas en el área de estudio se encuentra en un rango entre 8,5°C y 19°C con una media de 13,5°C, donde las mayores temperaturas medias se presentan en el año 1.999 con un valor de 20,3°C, registrado en las estaciones Gacheta y las menores se presentan el año 1.995 con un valor de 7,6°C en la estación Bolsa La. La gráfica 16 muestra la temperatura media de las estaciones seleccionadas en el área de estudio

Gráfica 16. Temperatura media anual en las estaciones seleccionadas en el área de estudio



Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S. 2017

3.2.1.2. Temperatura mensual multianual.

La tabla 7 y la gráfica 17 muestran el comportamiento de la temperatura media mensual multianual del área de estudio, donde se observa un comportamiento constante, sin embargo, se observa un incremento entre enero y abril y septiembre y noviembre con respecto al periodo entre mayo y agosto y noviembre y diciembre. El rango de temperatura media mensual multianual oscila entre 8,1°C y 19,2°C, donde las mayores temperaturas se presentan en los meses de febrero, marzo, abril y noviembre con valores superiores a 19,2°C, registrados en la estación Gacheta y las menores en junio y julio con valores menores a 8,1°C registrados en la estación de Bolsa La.

Tabla 7. Temperatura media mensual multianual en el área de estudio.

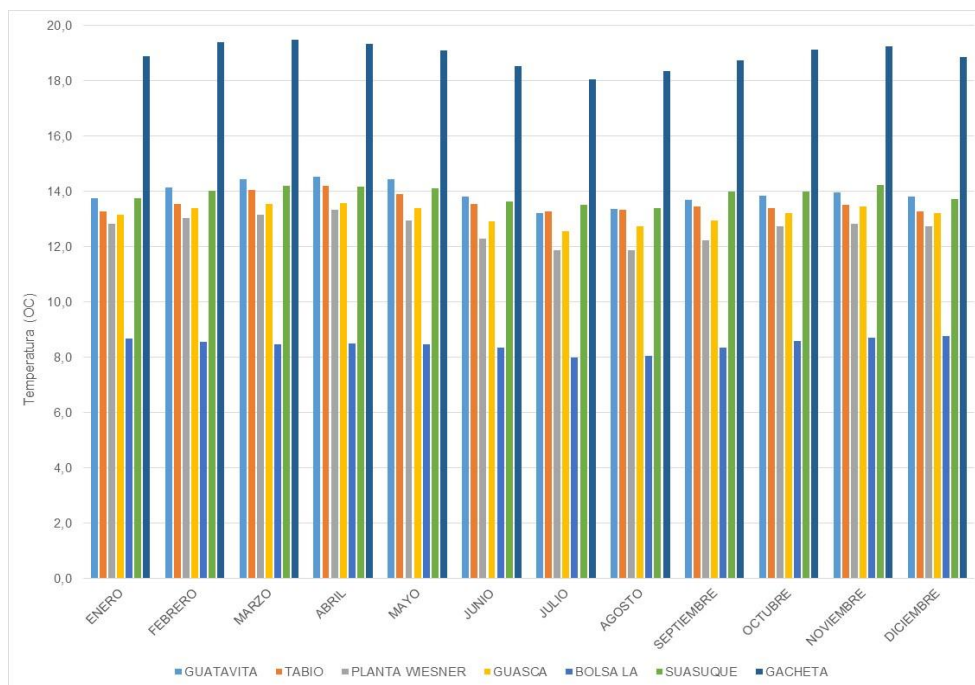
	GUATA VITA	TABIO	PLANTA WIESNER	GUASCA	BOLSA LA	SUAS UQUE	GACHETA
ENE	13,7	13,3	12,8	13,1	8,7	13,7	18,9
FEB	14,1	13,5	13,0	13,4	8,6	14,0	19,4
MAR	14,4	14,1	13,1	13,5	8,5	14,2	19,5
ABR	14,5	14,2	13,3	13,6	8,5	14,2	19,3
MAY	14,4	13,9	12,9	13,4	8,5	14,1	19,1
JUN	13,8	13,5	12,3	12,9	8,3	13,6	18,5
JUL	13,2	13,3	11,9	12,6	8,0	13,5	18,1
AGO	13,4	13,3	11,9	12,7	8,1	13,4	18,3
SEP	13,7	13,4	12,2	12,9	8,3	14,0	18,7
OCT	13,8	13,4	12,7	13,2	8,6	14,0	19,1
NOV	13,9	13,5	12,8	13,5	8,7	14,2	19,2
DIC	13,8	13,3	12,7	13,2	8,8	13,7	18,8

Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S. 2017

3.2.2. Distribución espacial de la temperatura

Inicialmente la distribución espacial de la temperatura se realizó mediante un software especializado en sistemas de información geográfica (SIG), empleando la herramienta de interpolación IDW (distancia inversa ponderada), una vez generada la distribución espacial se hizo un análisis de los resultados obtenidos para la temperatura media en el que se logra establecer que debido a la escasez de datos en el área de estudio los resultados obtenidos eran de poca confiabilidad. Por lo tanto, para determinar la distribución espacial se utilizaron dos métodos alternativos: relación temperatura - elevación y modelo existente de temperatura, los cuales nos permiten conocer de manera acertada el comportamiento real de la temperatura en el área de estudio.

Gráfica 17. Temperatura media mensual multianual en el área de estudio.



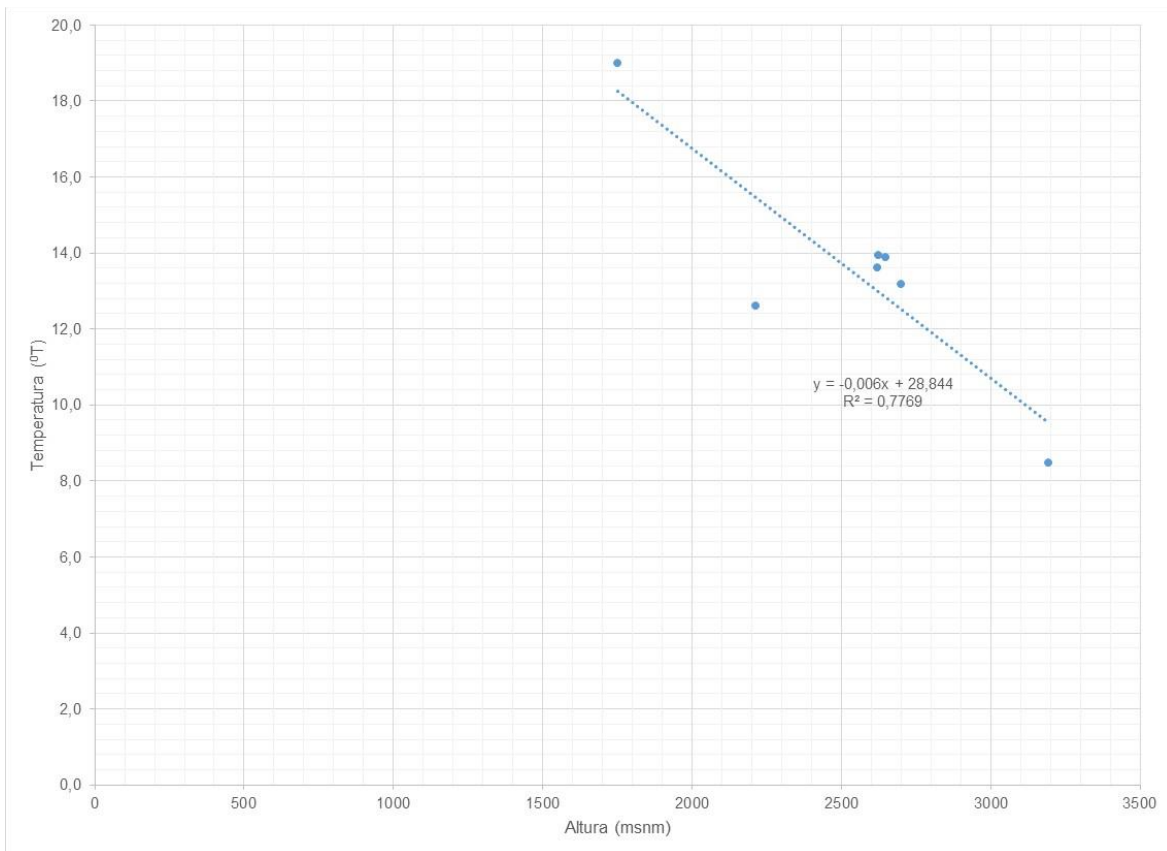
Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S. 2017

3.2.2.1. Relación temperatura – elevación

A partir de la información disponible de las estaciones localizadas en el área de estudio se logró establecer la relación entre los valores de temperatura media y las cotas de las estaciones seleccionadas. Por lo tanto, a partir del modelo de elevación digital del terreno y la relación establecida entre temperatura media y la elevación

se logró determinar la temperatura media para toda el área de estudio. La gráfica 18 muestra el ajuste entre la temperatura media y la elevación, considerando valores promedio de la temperatura media multianual, cuyo coeficiente de correlación es 0,7769.

Gráfica 18. Relación temperatura – elevación de las estaciones seleccionadas.



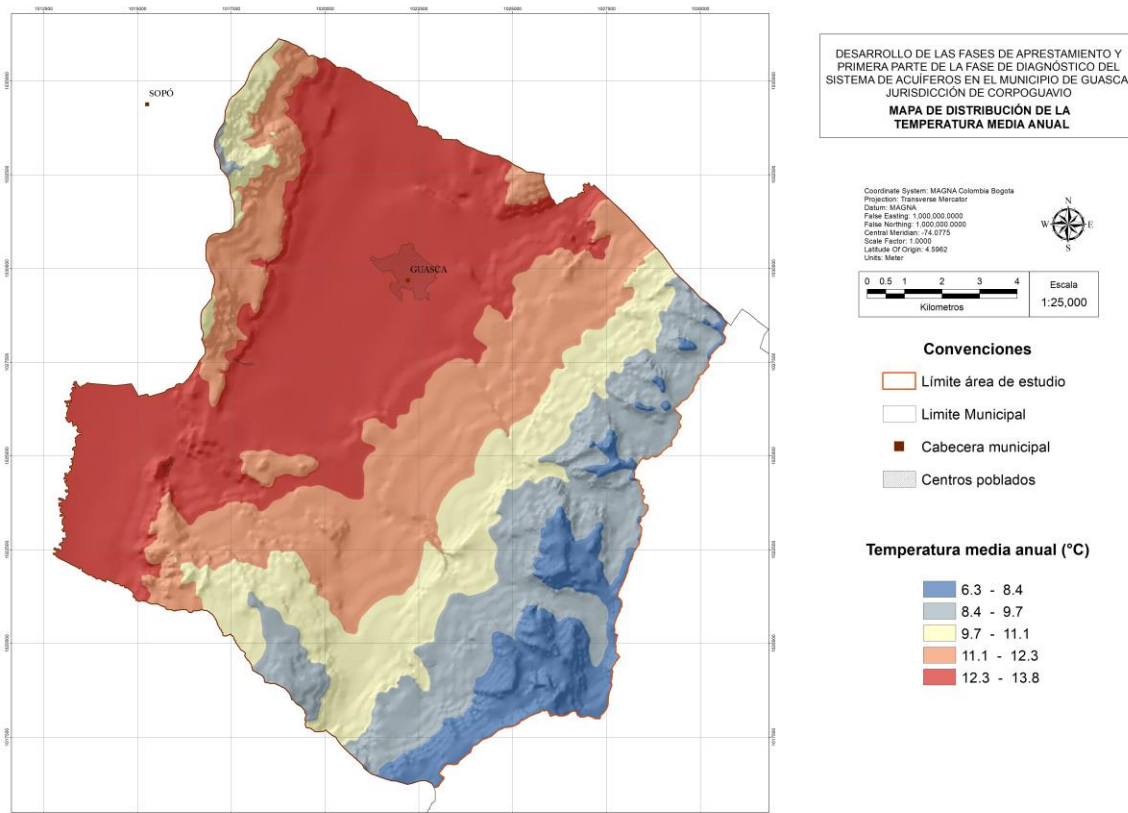
Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S. 2017

La imagen 8 muestra la distribución de la temperatura media anual en el área de estudio, donde se pueden observar que las menores temperaturas medias se presentan hacia el sureste del área de estudio con valores entre 6,3°C y 8,4°C mientras, las mayores temperaturas medias se presentan hacia el noreste y suroeste del área de estudio con valores entre 12,3°C y 13,8°C.

Adicionalmente, se realizó la espacialización de la temperatura media mensual multianual donde se puede observar la variación de la temperatura media en cada uno de los meses de año. Las imágenes 11 y 12 muestran los ajustes entre la temperatura media y la elevación para cada uno de los meses.

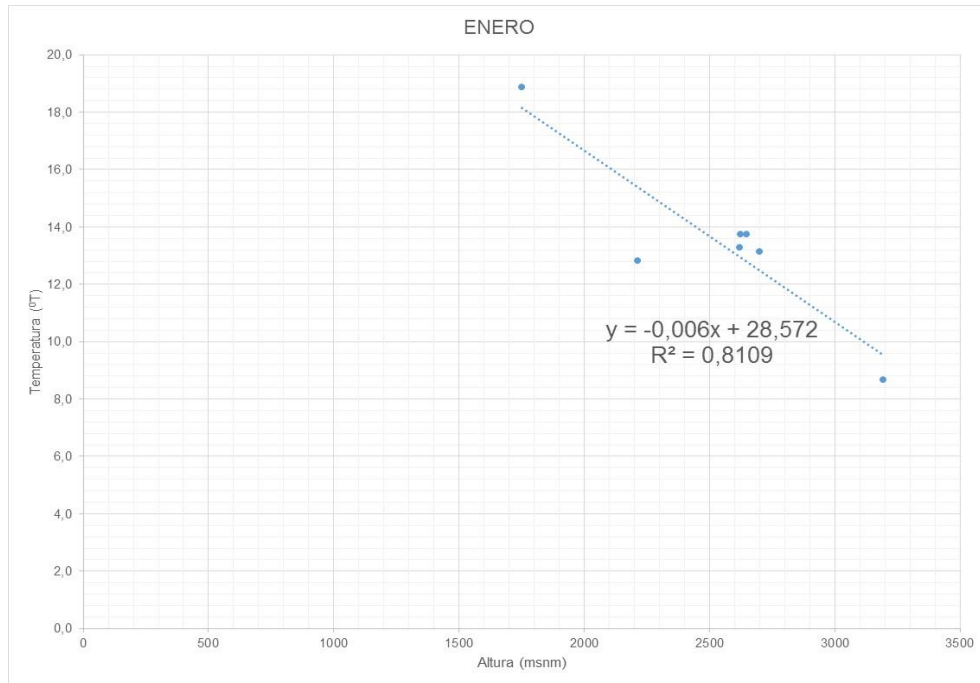
Las imágenes 13 y 14 muestran la temperatura media mensual multianual en el área de estudio. Para el primer semestre, se observa que las menores temperaturas se presentan hacia el sureste del área de estudio con valores entre 6,3°C y 8,4°C y las mayores se presentan hacia el norte y suroeste del área de estudio con valores entre 12°C y 14°C. En términos generales las menores temperaturas del primer semestre se presentan en los meses de enero y febrero y las mayores en los meses de abril y mayo. Para el segundo semestre se observa que las menores temperaturas se identifican en el sureste del área de estudio con valores entre 5,9°C y 8,3°C y las mayores temperaturas se presentan hacia el norte y suroeste del área de estudio con valores entre 11,6°C y 13,7°C. En términos generales las menores temperaturas del segundo semestre se presentan en los meses de julio y agosto y las mayores temperaturas en los meses de octubre y noviembre.

Imagen 8. Mapa de la distribución de la temperatura media anual en el área de estudio – relación temperatura – elevación.



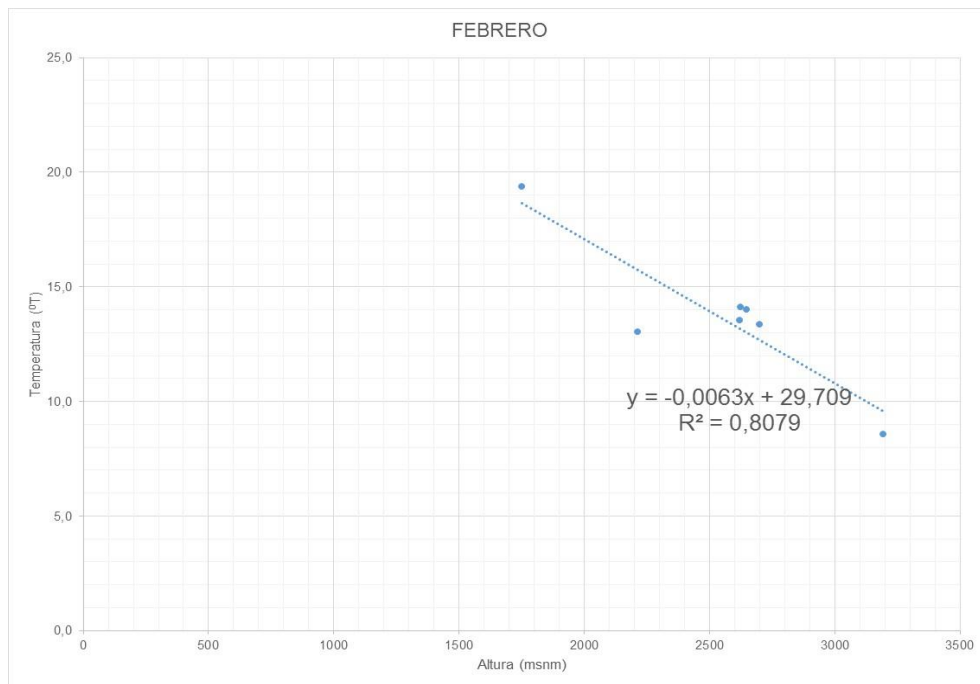
Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S. 2017

Gráfica 19. Relación temperatura – elevación de las estaciones seleccionada. Enero.



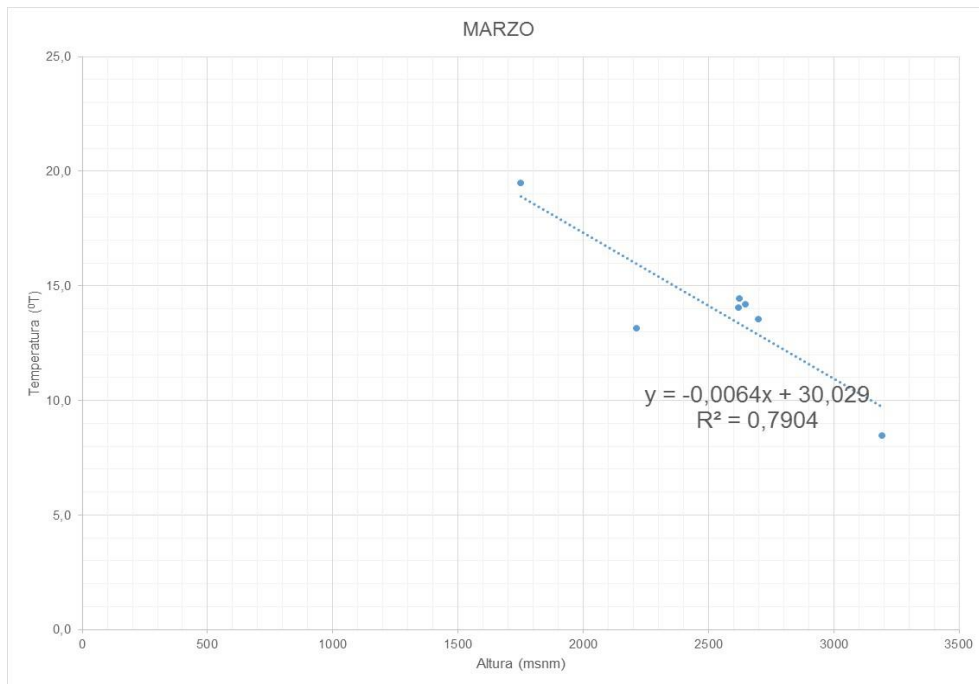
Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S. 2017

Gráfica 20. Relación temperatura – elevación de las estaciones seleccionada. Febrero.



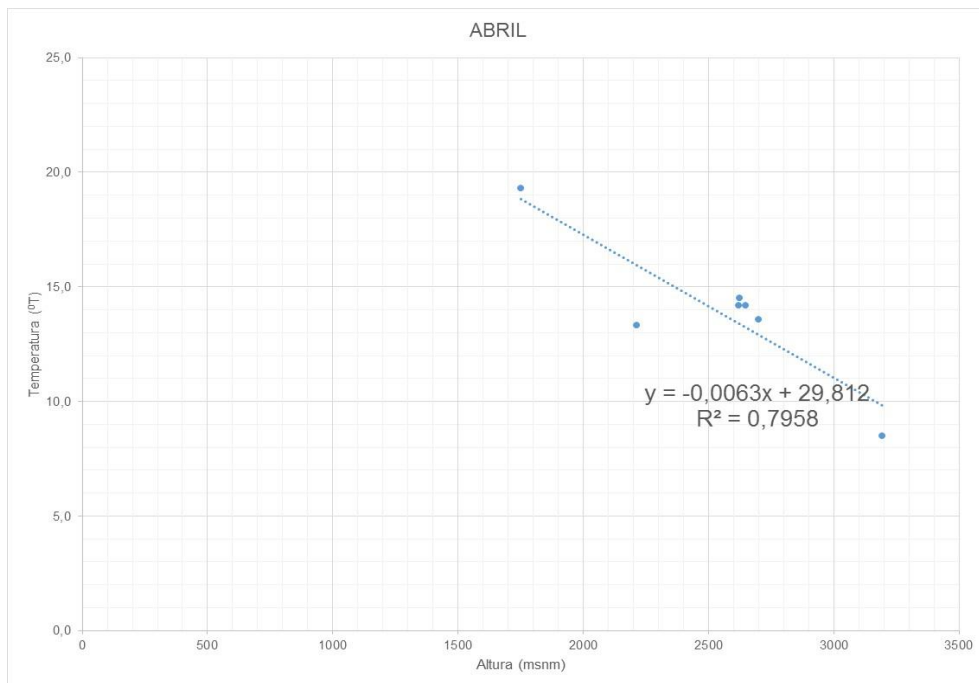
Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S. 2017

Gráfica 21. Relación temperatura – elevación de las estaciones seleccionada. Marzo.



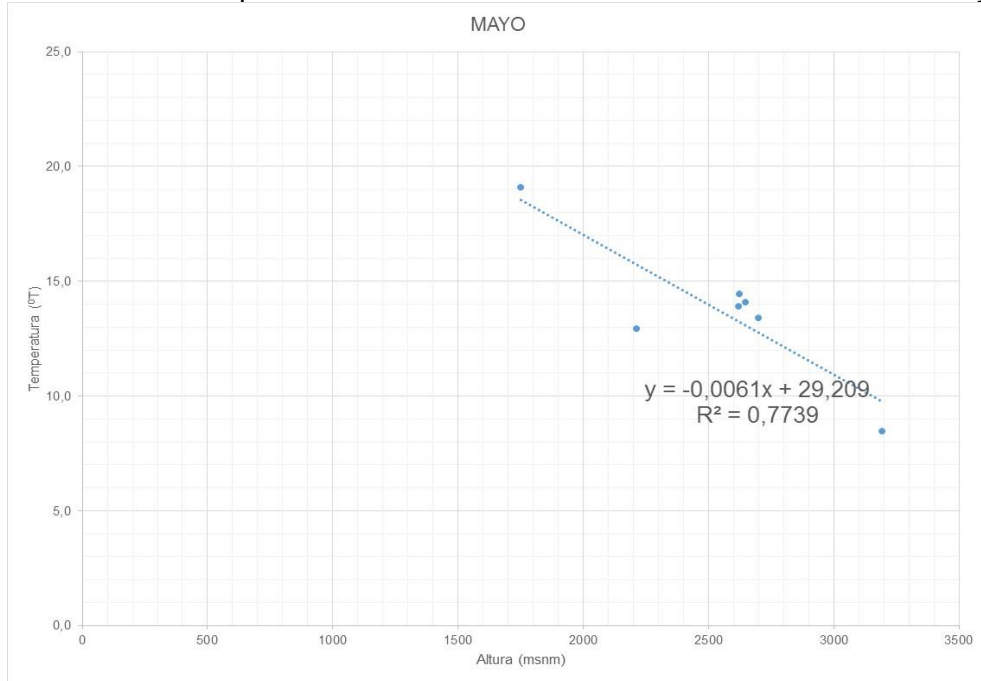
Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S. 2017

Gráfica 22. Relación temperatura – elevación de las estaciones seleccionada. Abril.



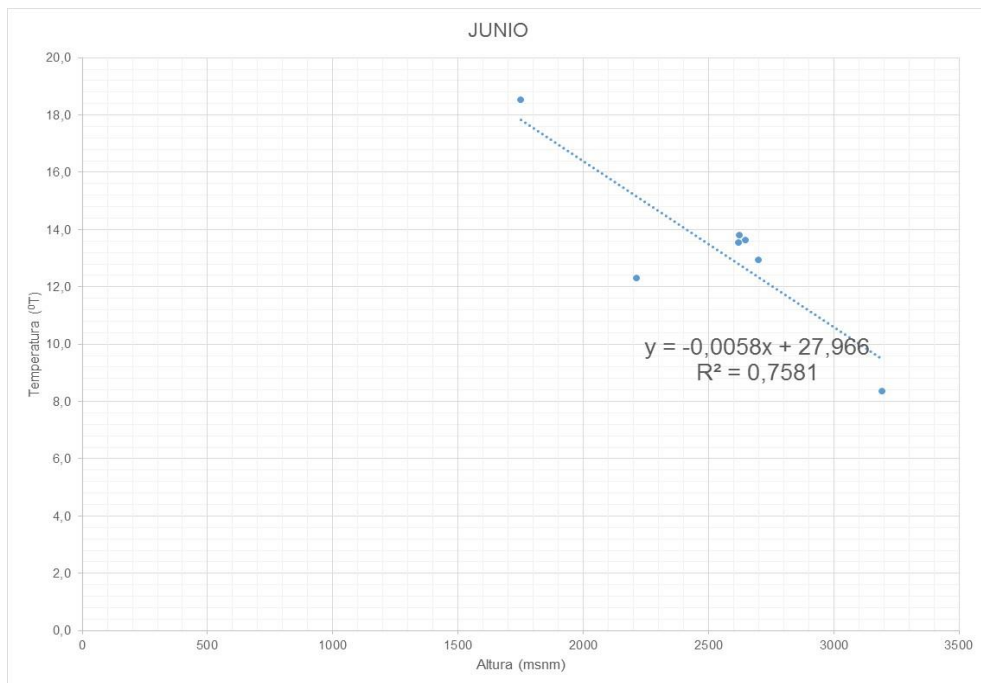
Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S. 2017

Gráfica 23. Relación temperatura – elevación de las estaciones seleccionada. Mayo.



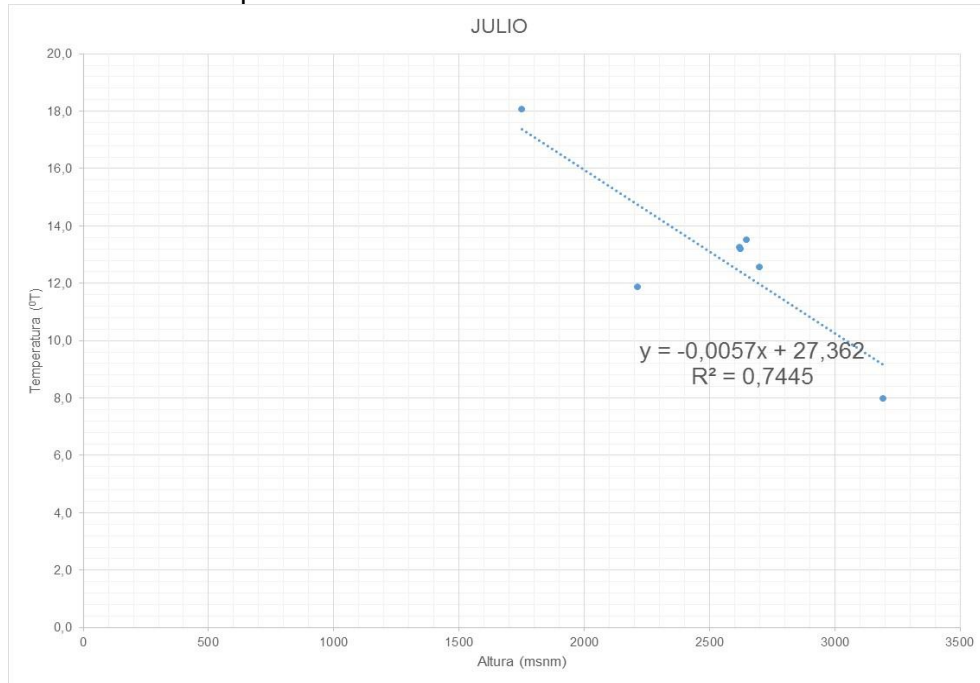
Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S. 2017

Gráfica 24. Relación temperatura – elevación de las estaciones seleccionada. Junio.



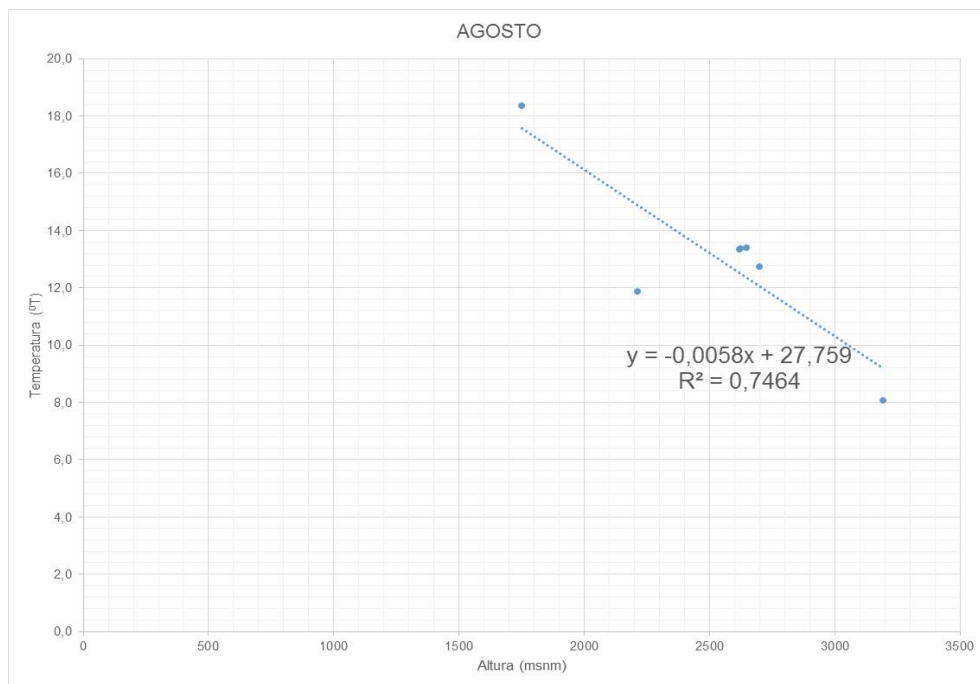
Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S. 2017

Gráfica 25. Relación temperatura – elevación de las estaciones seleccionada. Julio.



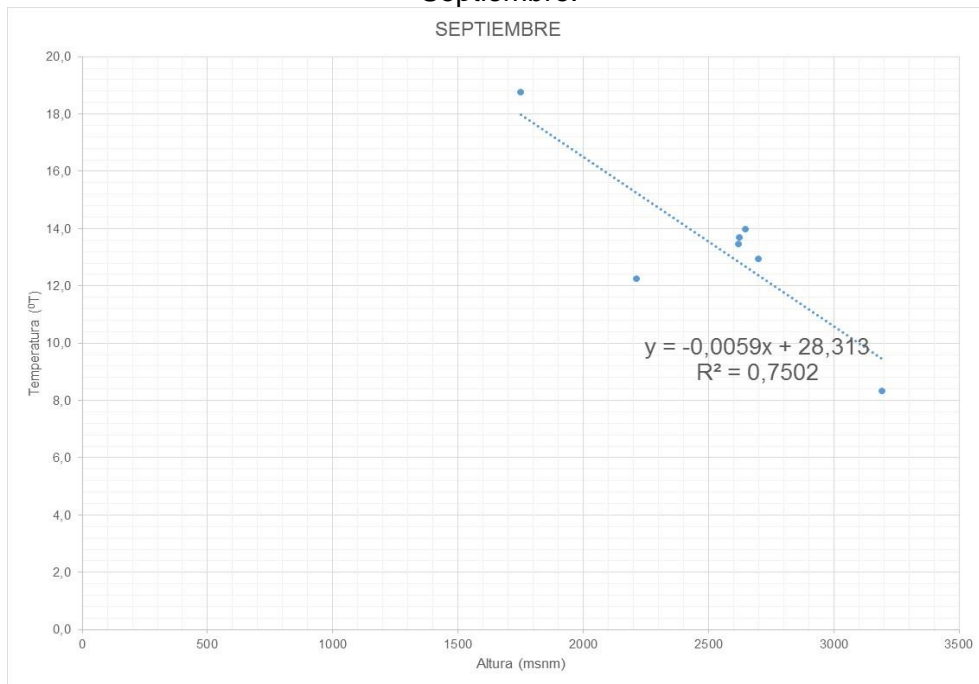
Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S. 2017

Gráfica 26. Relación temperatura – elevación de las estaciones seleccionada. Agosto.



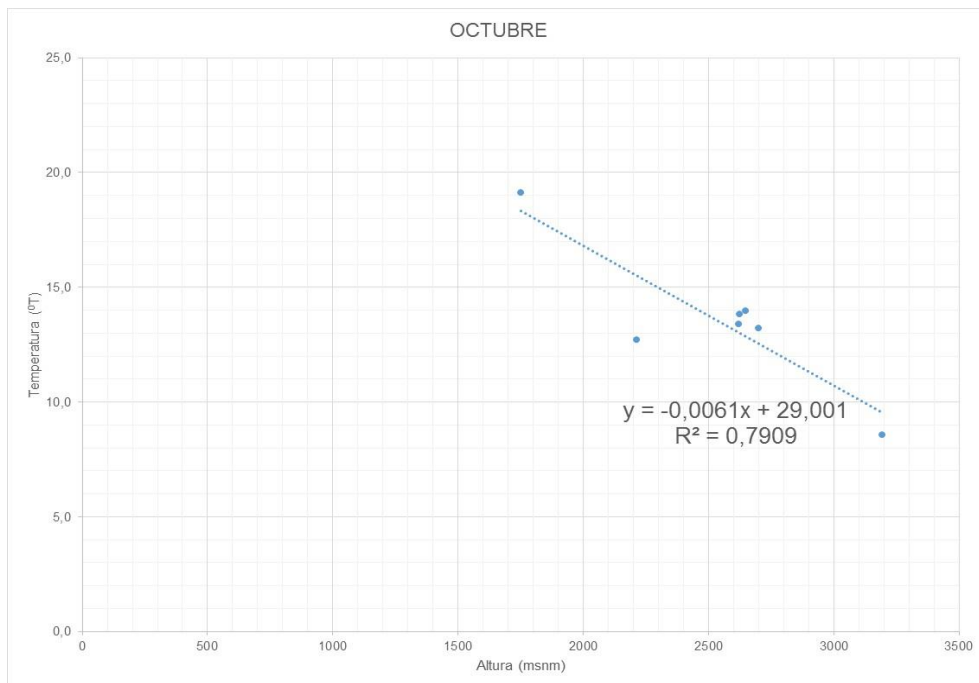
Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S. 2017

Gráfica 27. Relación temperatura – elevación de las estaciones seleccionada. Septiembre.



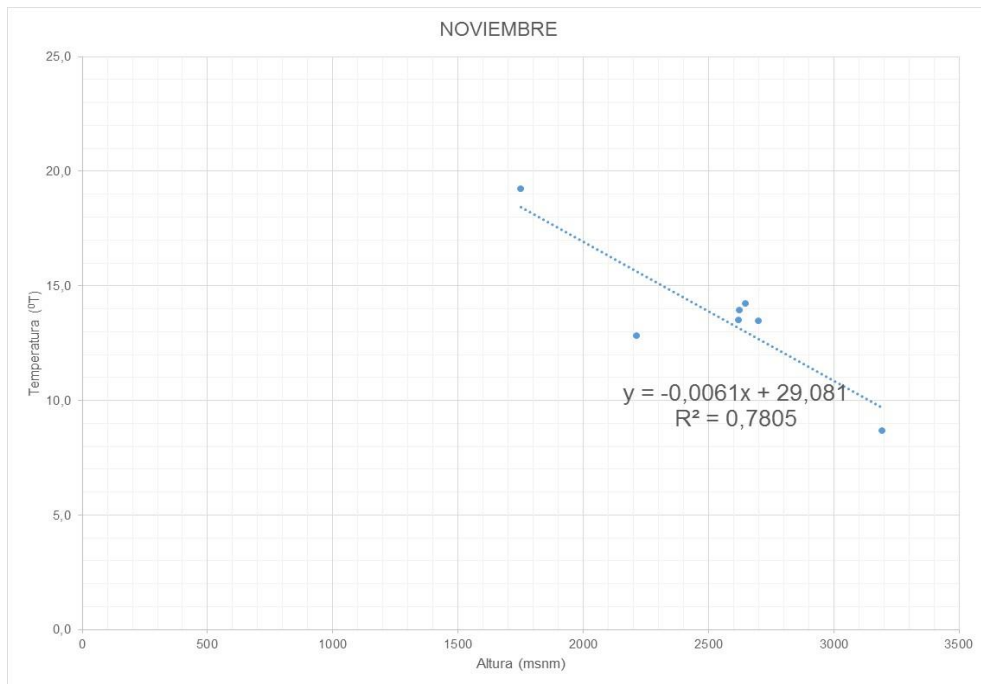
Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S. 2017

Gráfica 28. Relación temperatura – elevación de las estaciones seleccionada. Octubre.



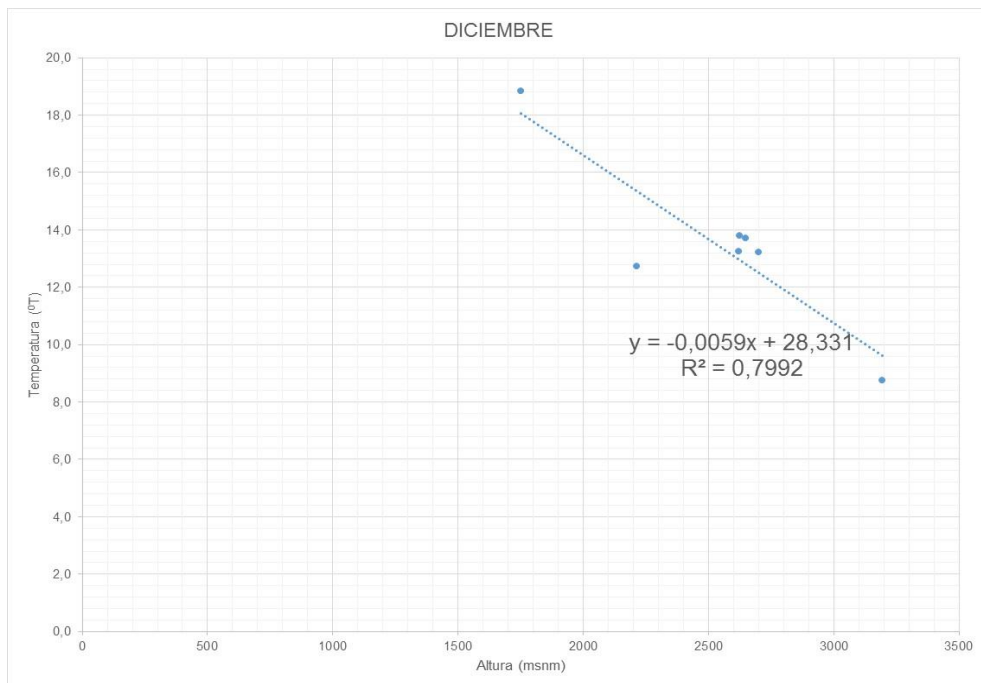
Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S. 2017

Gráfica 29. Relación temperatura – elevación de las estaciones seleccionada. Noviembre.



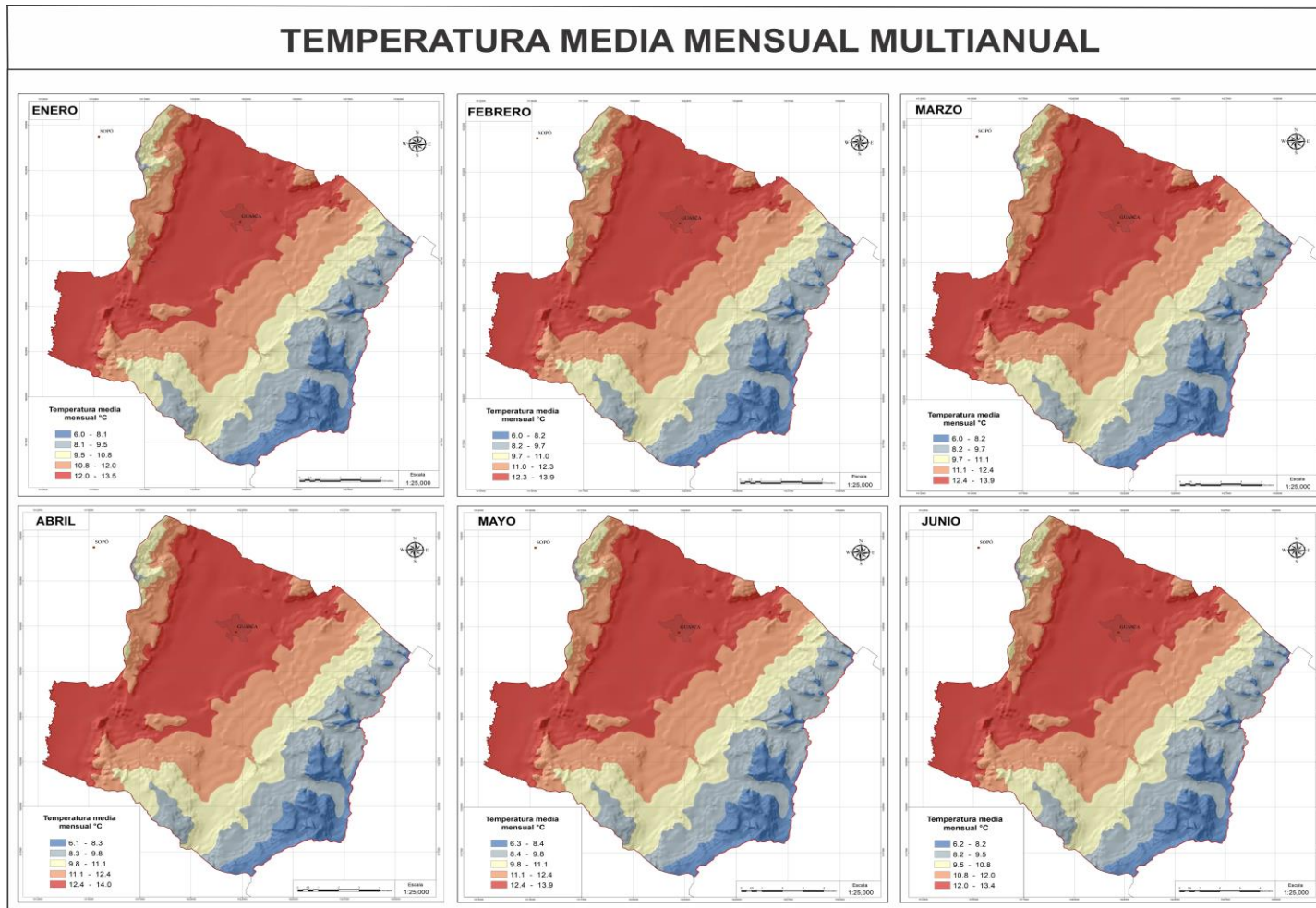
Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S. 2017

Gráfica 30. Relación temperatura – elevación de las estaciones seleccionada. Diciembre.



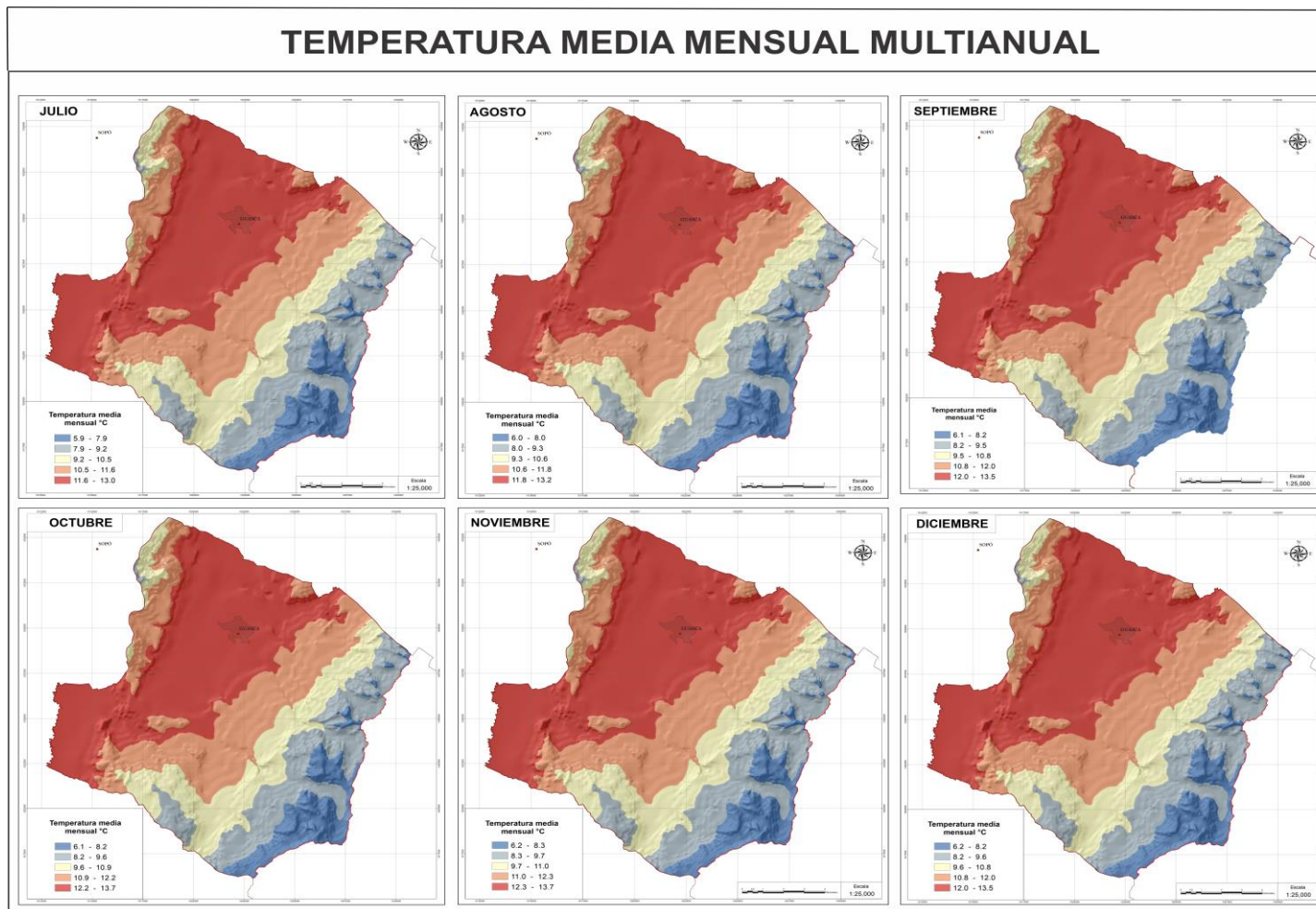
Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S. 2017

Imagen 9. Temperatura media mensual multianual - relación temperatura – elevación (enero - junio).



Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S. 2017

Imagen 10. Temperatura media mensual multianual - relación temperatura – elevación (Julio - diciembre).



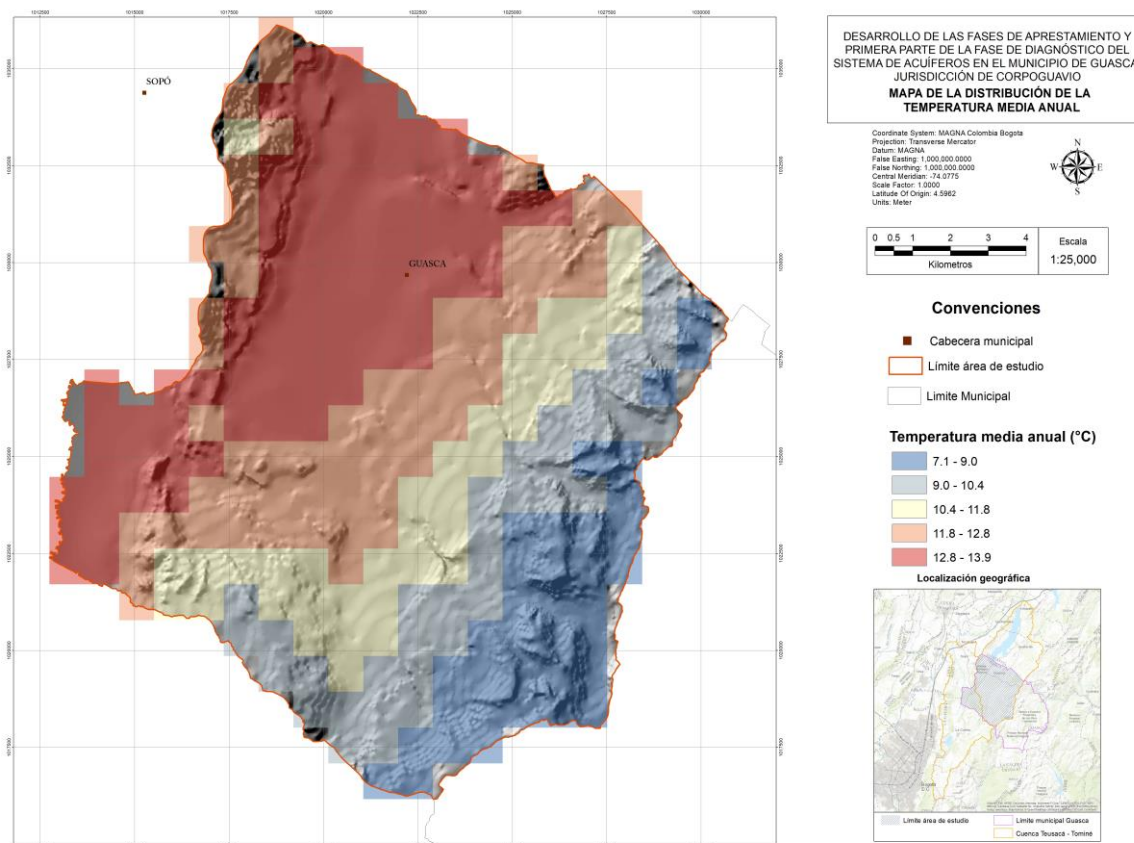
Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S. 2017

3.2.2.2. Distribución espacial de la temperatura con WORLDCLIM

Adicionalmente, se optó por utilizar como referencia los datos de WorldClim – Global Climate Data (Hijmans, Cameron, Parra, Jones, & Jarvis, 2017) que representa promedios de largo plazo (entre los años 1950 y 2000) a 30 arco-segundos de resolución espacial, esta información se validó con las estaciones existentes, obteniendo una mejor especialización de la información.

La imagen 11 muestra la distribución de la temperatura media anual en el área de estudio, donde se pueden observar que las menores temperaturas medias se presentan hacia el sureste del área de estudio con valores entre 7,1°C y 9,0°C mientras, las mayores temperaturas medias se presentan hacia el noreste y suroeste del área de estudio con valores entre 12,8°C y 13,9°C.

Imagen 11. Mapa de la distribución de la temperatura media anual en el área de estudio – WORLDCLIM



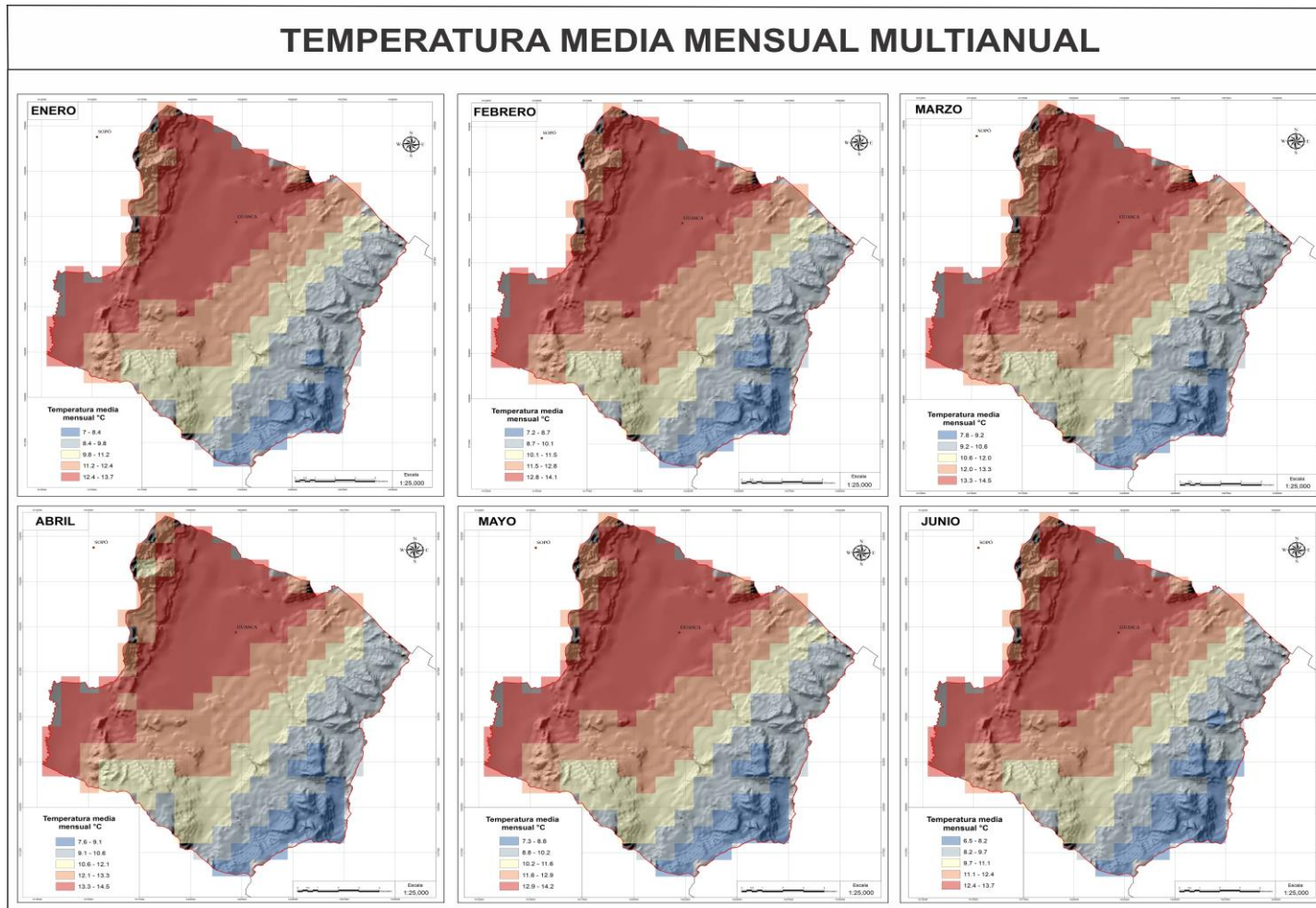
Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S. 2017

3.2.2.3. Temperatura mensual multianual

A continuación, se presenta la espacialización de la temperatura media mensual multianual donde se puede ver la variación de la temperatura en cada uno de los meses del año.

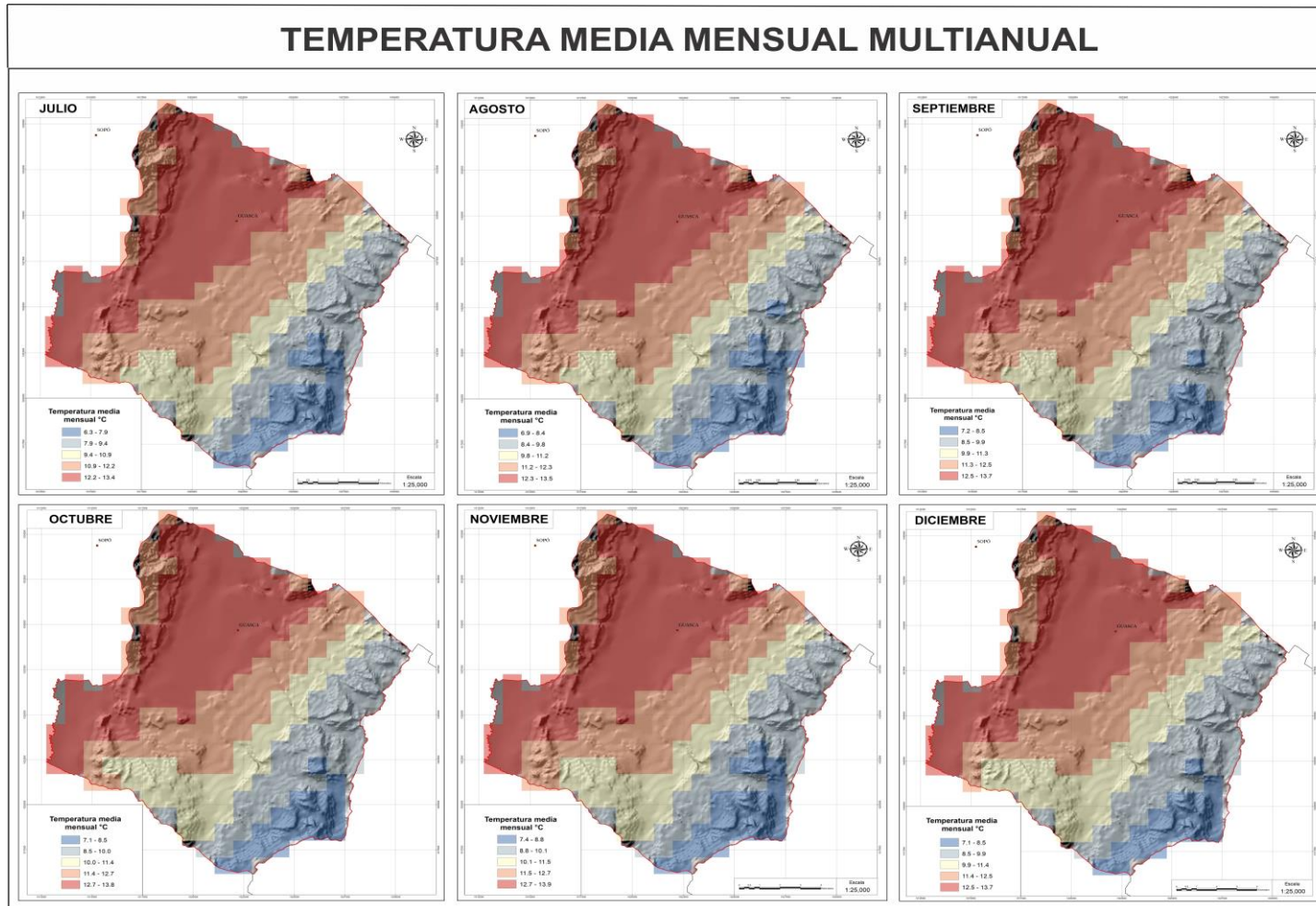
Las imágenes 12 y 13 muestran la temperatura media mensual multianual en el área de estudio. Para el primer semestre, se observa que en los meses de enero a junio las menores temperaturas se presentan hacia el sureste del área de estudio con valores entre $7,0^{\circ}\text{C}$ y $9,2^{\circ}\text{C}$ y las mayores se presentan hacia el noreste y suroeste del área de estudio con valores entre $13,3^{\circ}\text{C}$ y $14,5^{\circ}\text{C}$. En términos generales las menores temperaturas del primer semestre se presentan en los meses de enero y febrero y las mayores en los meses de marzo y abril. Para el segundo semestre, se observa que en los meses de julio a diciembre las menores temperaturas se presentan hacia el sureste del área de estudio con valores entre $6,3^{\circ}\text{C}$ y $8,8^{\circ}\text{C}$ y las mayores se presentan hacia el noreste y suroeste del área de estudio con valores entre $12,2^{\circ}\text{C}$ y $13,9^{\circ}\text{C}$. En términos generales las menores temperaturas para el segundo semestre se presentan en los meses de julio y agosto y las mayores en los meses de octubre y noviembre.

Imagen 12. Temperatura media mensual multianual - WORLDCLIM (enero - junio).



Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S. 2017

Imagen 13. Temperatura media mensual multianual - WORLDCLIM (julio - diciembre).

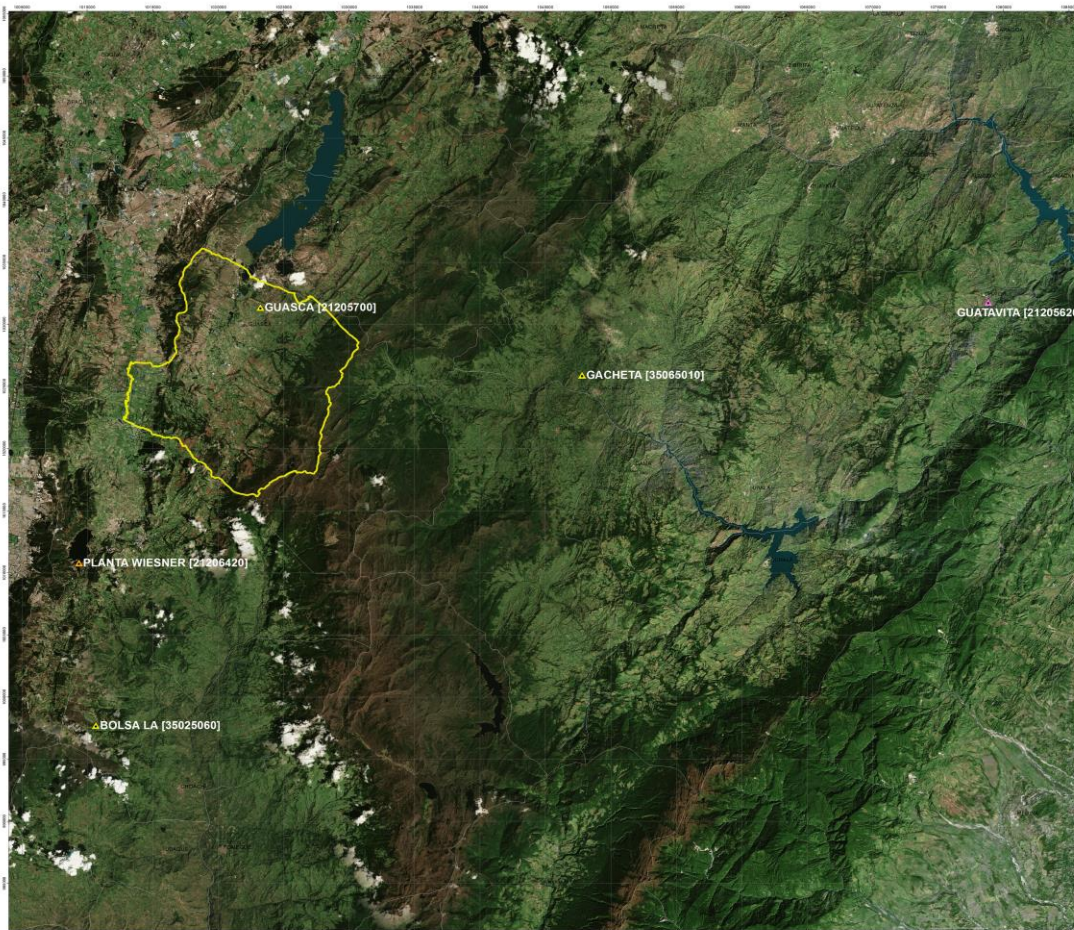


Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S. 2017

3.3. HUMEDAD RELATIVA

Para realizar la caracterización de la variable humedad relativa en el área de estudio se tuvieron en cuenta las estaciones de Guatavita, Planta Wiesner, Bolsa La, Gacheta y Guasca. La imagen 14 la localización de las estaciones utilizadas para el análisis de la humedad relativa.






Imagen 14. Estaciones activas humedad relativa en el área de estudio.



Localización geográfica



Convecciones

-  Estaciones hidrometeorológicas seleccionadas del IDEAM
-  Estaciones hidrometeorológicas seleccionadas de la CAR
-  Estaciones hidrometeorológicas seleccionadas del EAAB-ESP
-  Limite área de estudio
-  Municipios

DESARROLLO DE LAS FASES DE APRESTAMIENTO Y PRIMERA PARTE DE LA FASE DE DIAGNÓSTICO DEL SISTEMA DE ACUÍFEROS EN EL MUNICIPIO DE GUASCA, JURISDICCIÓN DE CORPOGUAYO

ESTACIONES HIDROMETEOROLÓGICAS - HUMEDAD RELATIVA



Escala
1:65 000

Coordinate System: MAGNA Colombia Bogota
Proyección: Transversa Mercator
Datum: MAGNA
False Easting: 1 000 000.0000
False Northing: 1 000 000.0000
Central Meridian: 74.0775
Scale Factor: 0.9999
Latitude Of Origin: 4.5962
Units: Meter

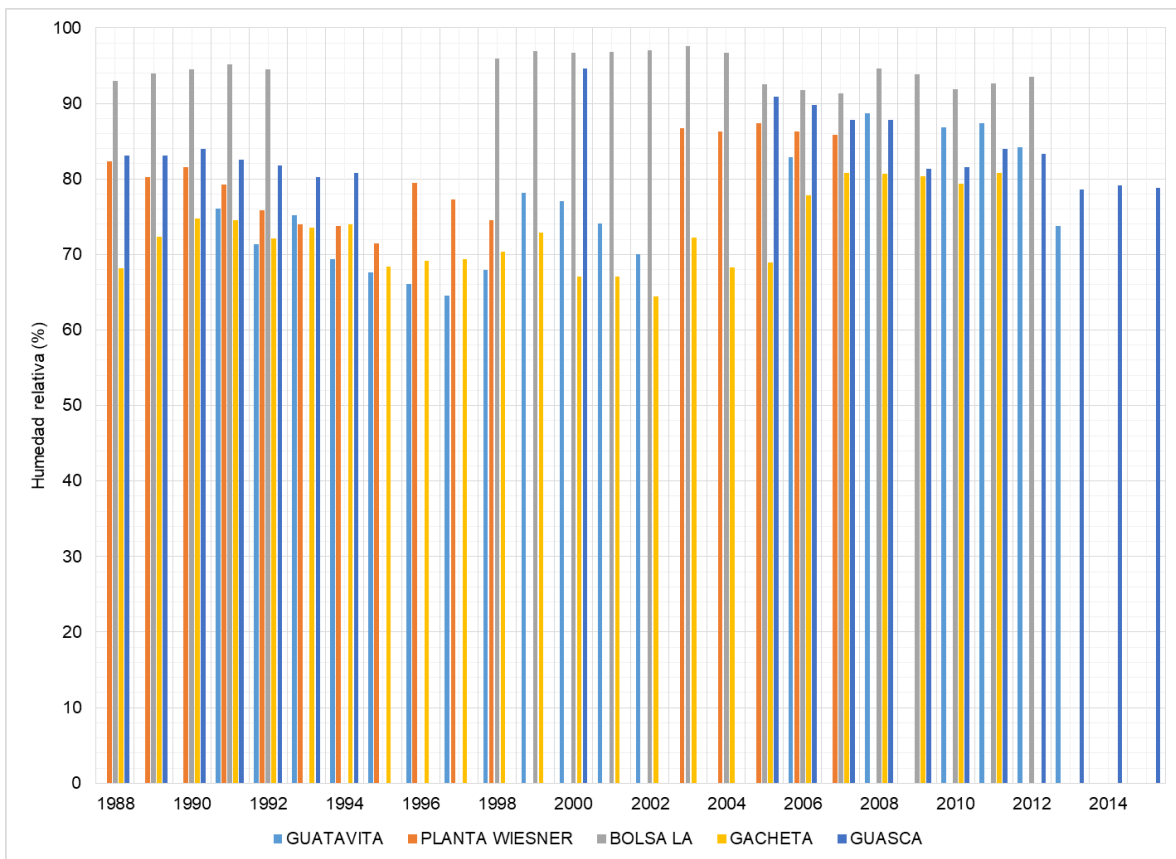
Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S. 2017

3.3.1. Distribución temporal de la humedad relativa

3.3.1.1. Humedad relativa media anual

La gráfica 31 muestra la humedad relativa media anual para el área de estudio, donde se observa que, en promedio, la humedad relativa anual es de 75,6% en la estación de Guatavita, 80,1% en la estación Planta Wiesner, 94,5% en la estación Bolsa La, 72,8% en la estación Gachetá y 83,9% en la estación Guasca. La humedad relativa media anual oscila entre 64,4% y 97,6% en el área de estudio.

Gráfica 31. Humedad relativa media anual en el área de estudio.



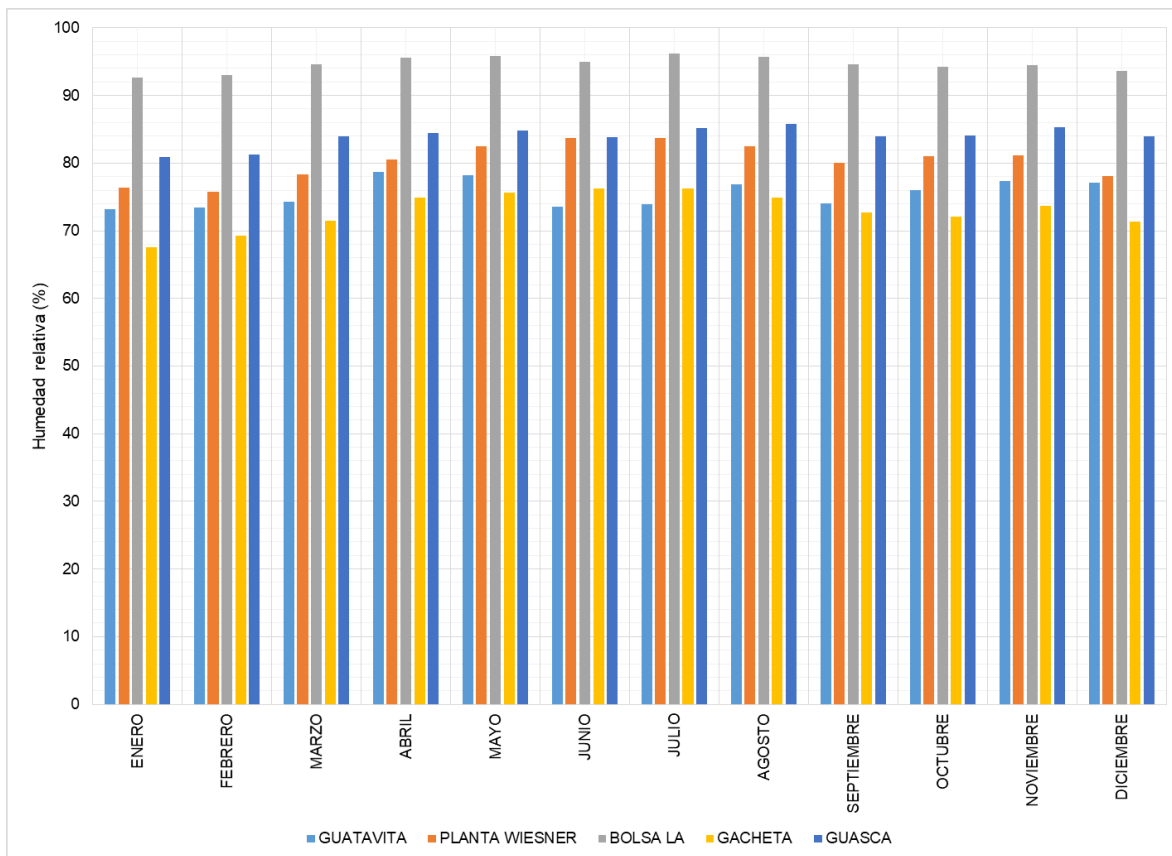
Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S. 2017

3.3.1.2. Humedad relativa media mensual multianual.

La gráfica 32 muestra la humedad relativa media mensual multianual donde se observa que, en promedio, la humedad relativa mensual es de 75,5% en la estación

de Guatavita, 80,3% en la estación Planta Wiesner, 94,6% en la estación Bolsa La, 73,0% en la estación Gacheta y 84,0% en la estación Guasca. La humedad relativa media mensual oscila entre 67,5% y 96,2% en el área de estudio

Gráfica 32. Humedad relativa media mensual multianual en el área de estudio.

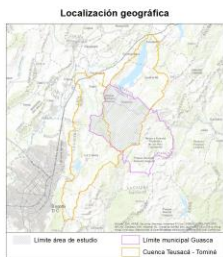
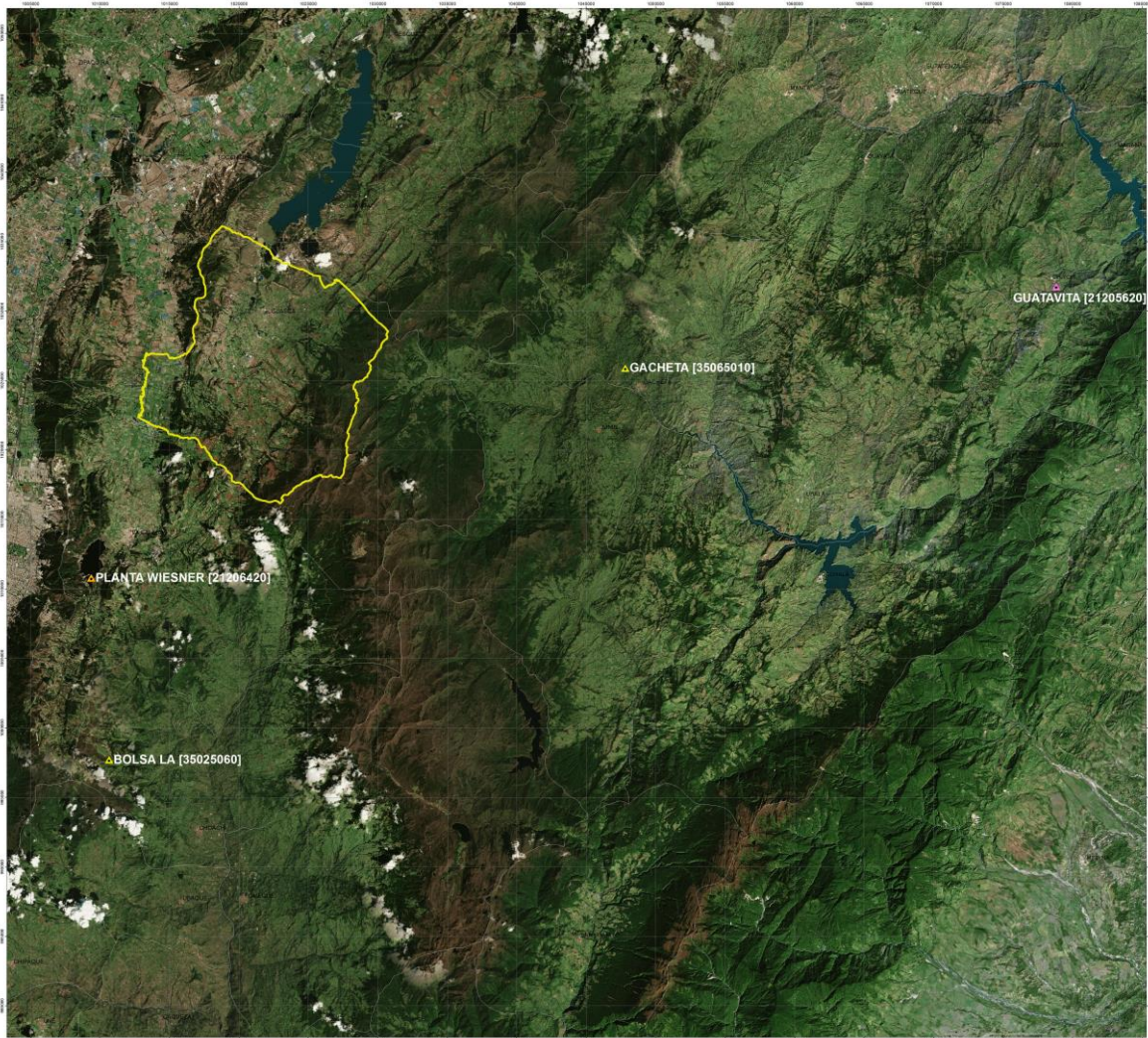


Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S. 2017

3.4. BRILLO SOLAR (BS)

Para realizar la caracterización de la variable brillo solar en el área de estudio se tuvieron en cuenta las estaciones de Guatavita, Planta Wiesner, Bolsa La y Gacheta. La imagen 15 muestra la localización de las estaciones utilizadas para el análisis del brillo solar.

Imagen 15. Estaciones activas para la caracterización del brillo solar en el área de estudio.

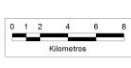


Convecciones

-  Estaciones hidrometeorológicas seleccionadas del IDEAM
-  Estaciones hidrometeorológicas seleccionadas de la CAR
-  Estaciones hidrometeorológicas seleccionadas del EAAB-ESP
-  Límite área de estudio
-  Municipios

DESARROLLO DE LAS FASES DE APRESTAMIENTO Y PRIMERA PARTE DE LA FASE DE DIAGNÓSTICO DEL SISTEMA DE ACUÍFEROS EN EL MUNICIPIO DE GUASCA, JURISDICCIÓN DE CORPOGUAYO

ESTACIONES HIDROMETEOROLÓGICAS - BRILLO SOLAR



Escala
1:65.000

Coordinate System: MAGNA Colombia Bogota
 Projection: Transverse Mercator
 Datum: MAGNA
 False Easting: 1.000.000,0000
 False Northing: 1.000.000,0000
 Central Meridian: 74,0775
 Scale Factor: 1,0000
 Latitude Of Origin: 4,5962
 Units: Meter

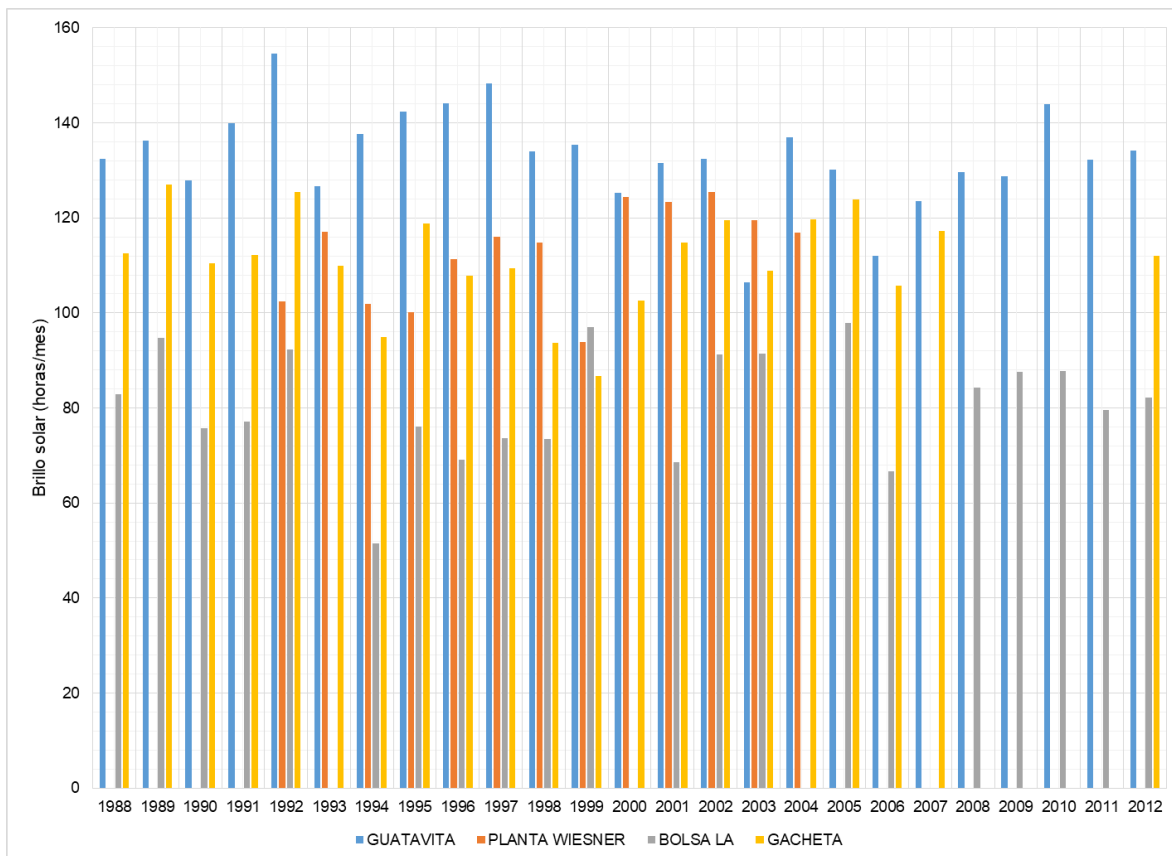
Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S. 2017

3.4.1. Distribución temporal del brillo solar

3.4.1.1. Brillo solar medio anual

La gráfica 33 muestra el brillo solar medio anual donde se observa que, en promedio, el brillo solar anual es de 133,1 horas/mes en la estación Guatavita, 112,9 horas/mes en la estación Planta Wiesner, 81 horas/mes en la estación Bolsa La y 111,1 horas/mes en la estación Gacheta. El brillo solar medio anual oscila entre 51,5 y 154,6 horas/mes.

Gráfica 33. Brillo solar medio anual en el área de estudio.

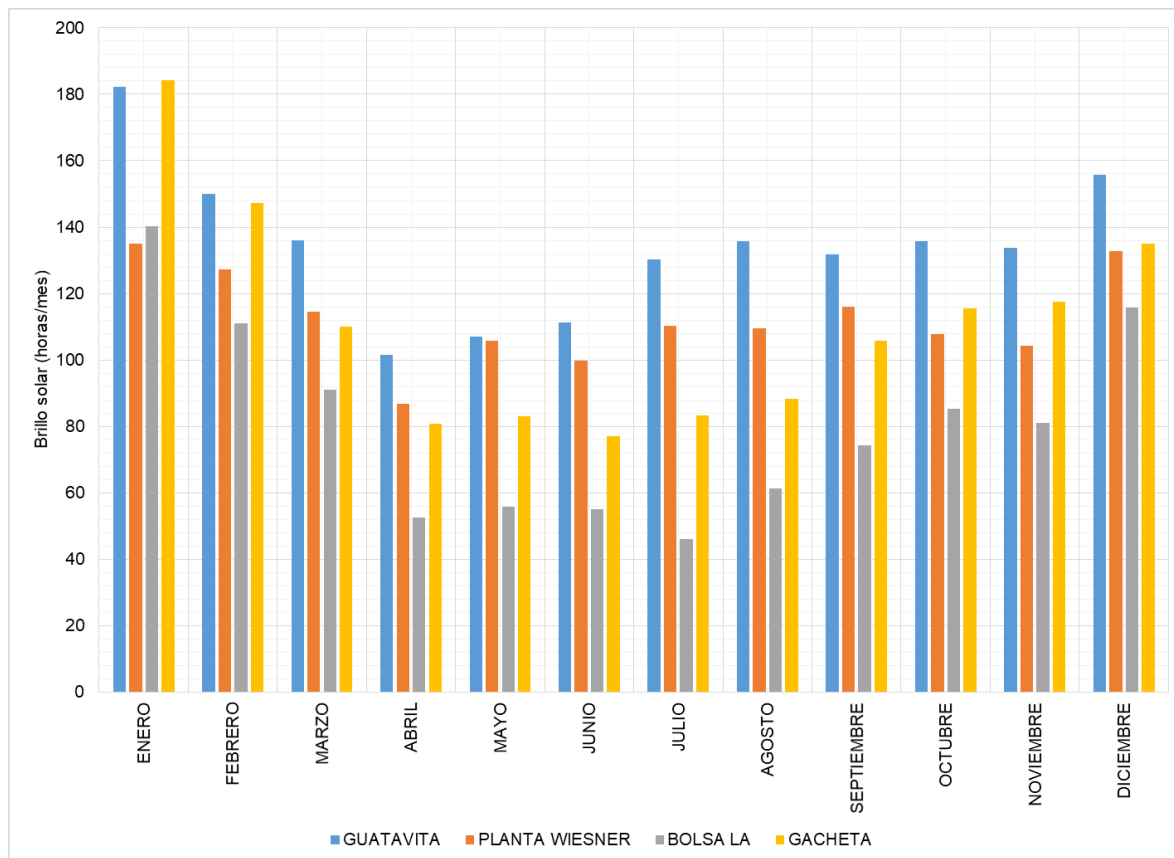


Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S. 2017

3.4.1.2. 3.4.1.2. Brillo solar medio mensual multianual

La gráfica 34 muestra el brillo solar medio anual donde se observa que, en promedio, el brillo solar anual es de 134,3 horas/mes en la estación Guatavita, 112,5 horas/mes en la estación Planta Wiesner, 80,8 horas/mes en la estación Bolsa La y 110,7 horas/mes en la estación Gacheta. El brillo solar medio anual oscila entre 46 y 184,3 horas/mes.

Gráfica 34. Brillo solar medio mensual multianual para el área de estudio.

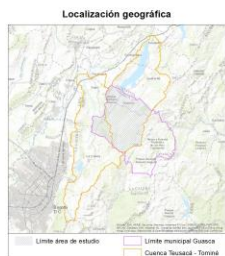
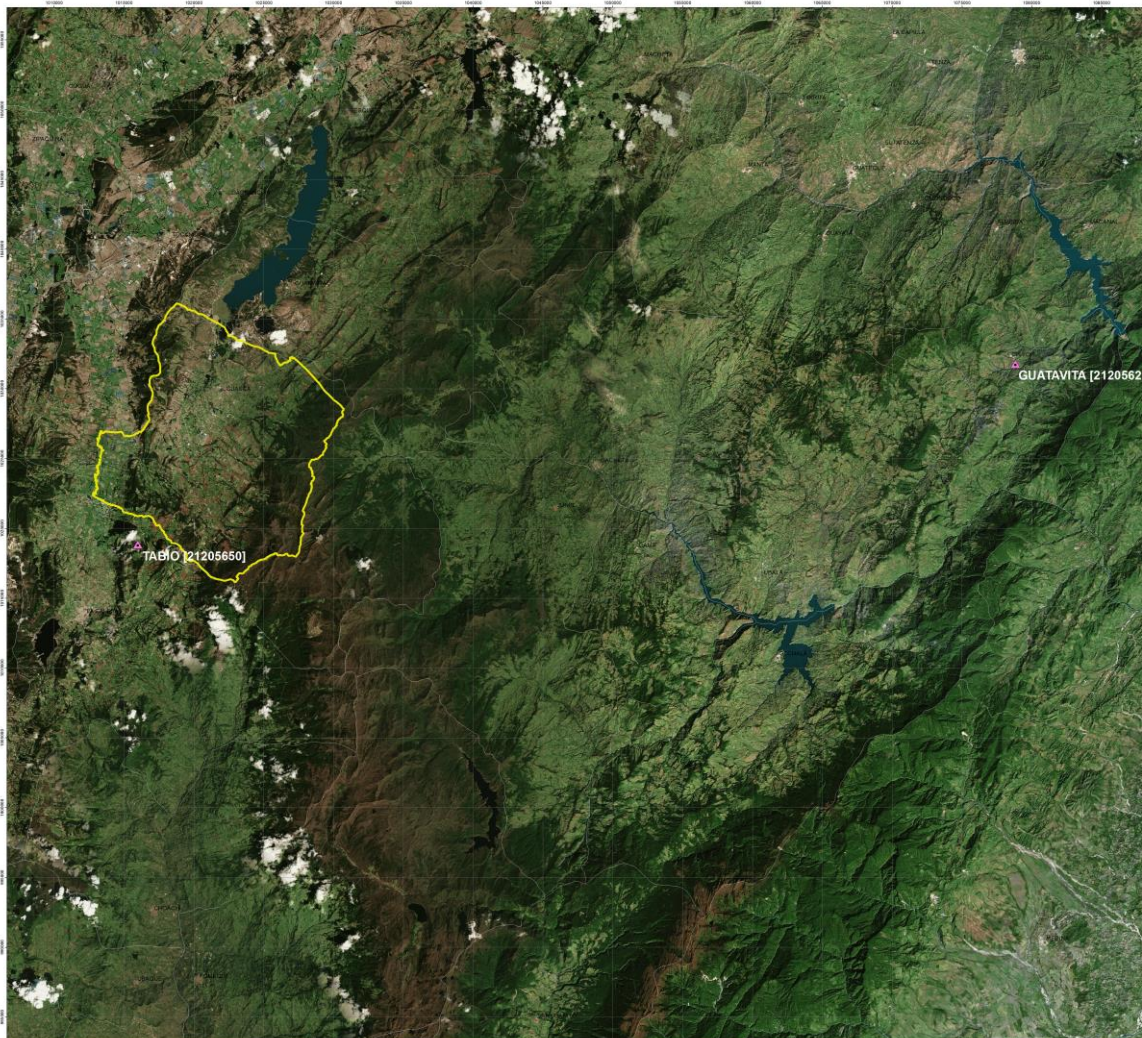


Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S. 2017

3.5. VELOCIDAD DEL VIENTO (VS)

Para realizar la caracterización de la variable velocidad del viento en el área de estudio se tuvieron en cuenta las estaciones de Guatavita y Tabio. La imagen 16 muestra la localización de las estaciones utilizadas para el análisis de la velocidad del viento.

Imagen 16. Estaciones activas para la caracterización de la velocidad del viento en el área de estudio.



Convecciones

-  Estaciones hidrometeorológicas seleccionadas de la CAR
-  Límite área de estudio
-  Municipios

DESARROLLO DE LAS FASES DE APRESTAMIENTO Y PRIMERA PARTE DE LA FASE DE DIAGNÓSTICO DEL SISTEMA DE ACUÍFEROS EN EL MUNICIPIO DE GUASCA, JURISDICCIÓN DE CORPOGUAYO

ESTACIONES HIDROMETEOROLÓGICAS - VELOCIDAD DEL VIENTO



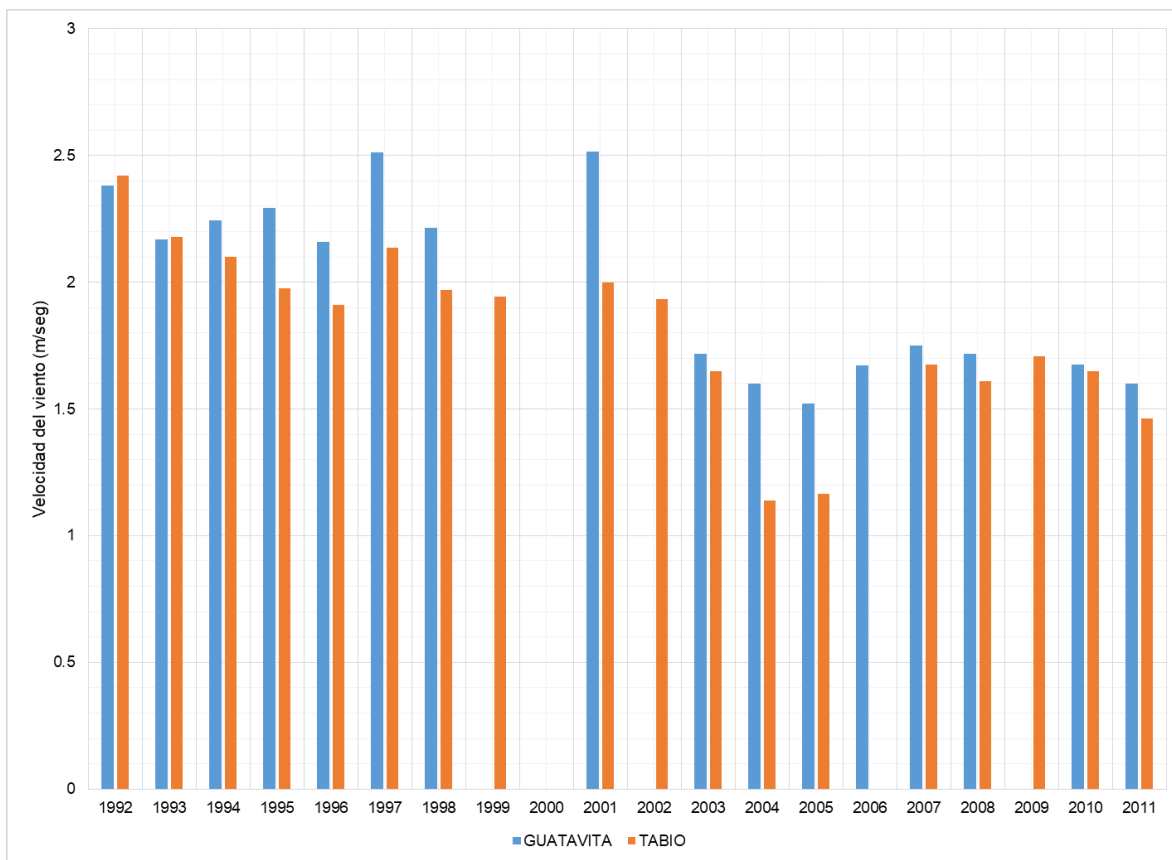
Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S. 2017

3.5.1. Distribución temporal de la velocidad del viento

3.5.1.1. Velocidad del viento media anual

La gráfica 35 muestra la velocidad del viento media anual en el área de estudio, donde se observa que, en promedio, la velocidad del viento anual es de 2 m/seg en la estación Guatavita y 1,8 m/seg en la estación Tabio. La velocidad del viento media anual oscila entre los 1,1 y 2,5 m/seg.

Gráfica 35. Velocidad del viento medio anual para el área de estudio.



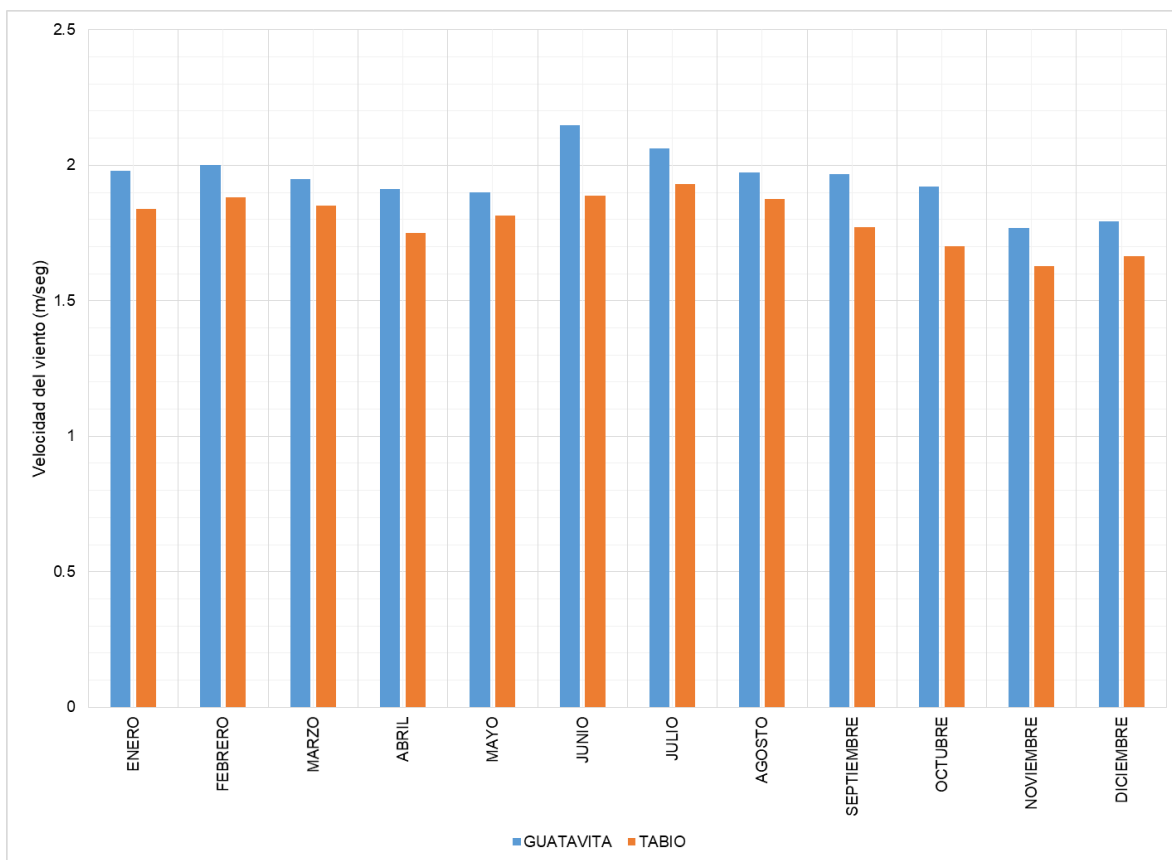
Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S. 2017

3.5.1.2. Velocidad del viento media mensual multianual

La gráfica 36 muestra la velocidad del viento media mensual multianual en el área de estudio, donde se observa que, en promedio, la velocidad del viento mensual

es de 1,9 m/seg en la estación Guatavita y 1,8 m/seg en la estación Tabio. La velocidad del viento media mensual multianual oscila entre los 1,6 y 2,1 m/seg

Gráfica 36. Velocidad del viento media mensual para el área de estudio.



Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S. 2017

3.6. EVAPOTRANSPIRACIÓN POTENCIAL (ETP)

La evapotranspiración potencial (ETP) es la cantidad máxima teórica de agua que puede evaporarse desde el suelo completamente cubierto de vegetación y contantemente abastecido de agua, en relación con las precipitaciones recogidas, la ETP se toma como indicador climático de humedad o aridez ambiental³². Se

³² INSTITUTO GEOGRÁFICO NACIONAL (ESPAÑA). Evapotranspiración potencial (ETP) media anual [en línea]. [Madrid, España] [citado 8 jul, .2017]. Disponible en Internet:<URL: https://www.ign.es/espmmap/mapas.../Clima_Mapa_08texto_corregido.pdf>

determinó utilizar el método de Thornthwaite debido a la cantidad y calidad de datos existentes en el área de estudio.

Para determinar la evapotranspiración potencial en el área de estudio, se tuvo en cuenta como insumo los *rasters* de temperatura obtenidos a partir del WordClim, generando así un producto con buena espacialización. Para el cálculo de la evapotranspiración se utilizó la herramienta *Raster Calculator* del software ArcGIS, por medio de esta herramienta que tiene una interfaz parecida a la de una calculadora, es posible utilizar ecuaciones de cálculo para determinar la variable de ETP.

La fórmula de Thornthwaite se utiliza para calcular la evapotranspiración potencial mensual en mm, y se expresa de la siguiente forma:

- a. Determinar el índice de calor mensual (i) a partir de la temperatura media mensual (t):

$$i = \left(\frac{t}{5}\right)^{1.514}$$

- b. Determinar el índice de calor Anual (I) sumando los 12 valores de i :

$$I = \sum i$$

- c. Determinar la Evapotranspiración mensual “sin corregir” mediante la fórmula:

$$ETP(\text{sin Corregir}) = 16 \left(\frac{10 * t}{I}\right)^a$$

- d. Determinar el factor a :

$$a = 675 * 10^{-9} * I^3 - 771 * 10^{-7} * I^2 + 1792 * 10^{-5} * I + 0.49239$$

- e. Realizar la corrección para el número de días del mes y el número de horas de sol.

$$ETP = ETP(\text{Sin corregir}) * \frac{N}{12} * \frac{D}{30}$$

Dónde:

$ETP(\text{sin corregir})$: Evapotranspiración potencial a nivel mensual en mm/mes, para meses de 30 días y 12 horas de sol teóricas.

t : Temperatura Media Mensual °C.

I : Índice de calor anual.

ETP : Evapotranspiración corregida.

N : Número máximo de horas de sol, depende del mes y de la latitud.

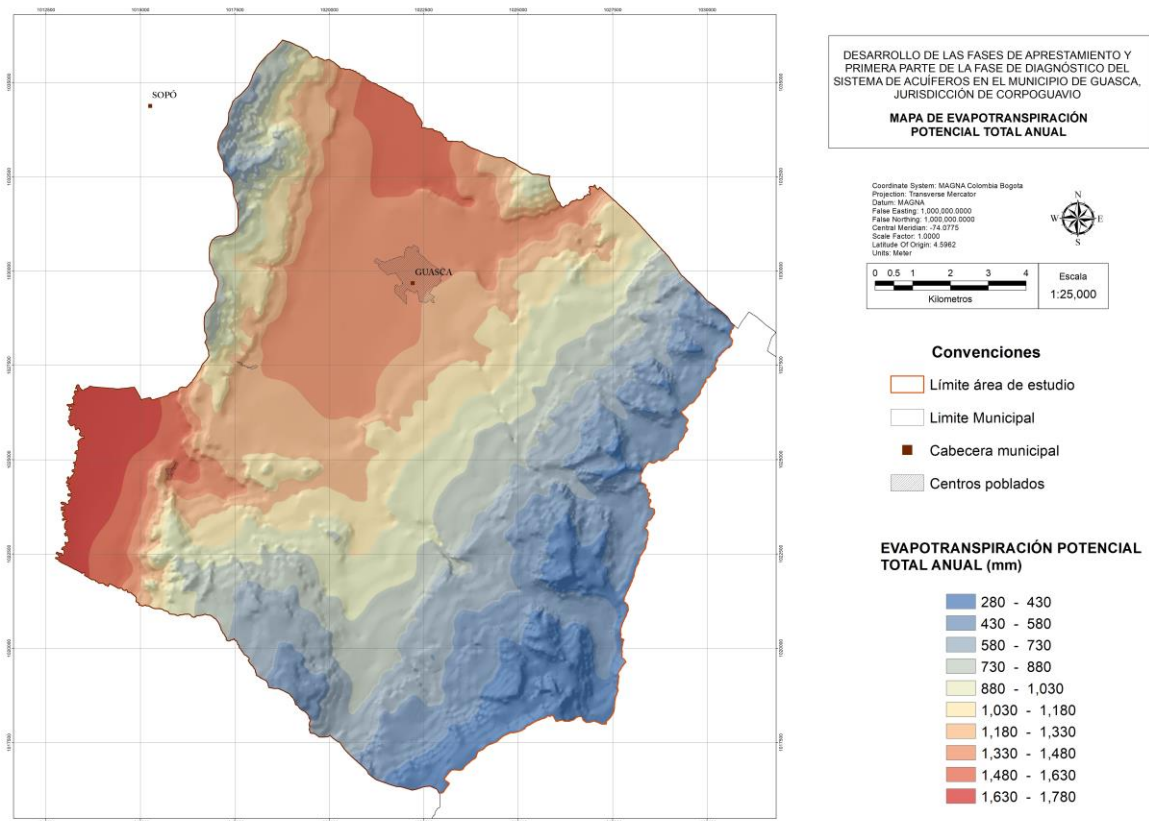
D : Número de días del mes.

3.6.1. Distribución espacial de la evapotranspiración potencial

3.6.1.1. Evapotranspiración potencial total anual

En la imagen 17 se muestra la distribución espacial de la evapotranspiración potencial media anual, donde se puede observar que los menores valores de evapotranspiración potencial se presentan hacia el sureste del área de estudio, mientras los mayores valores se presentan hacia el norte y oeste del área de estudio. La evapotranspiración potencial total anual se encuentra en un rango entre 280 a 1.780 mm.

Imagen 17. Mapa de evapotranspiración potencial total anual en el área de estudio.



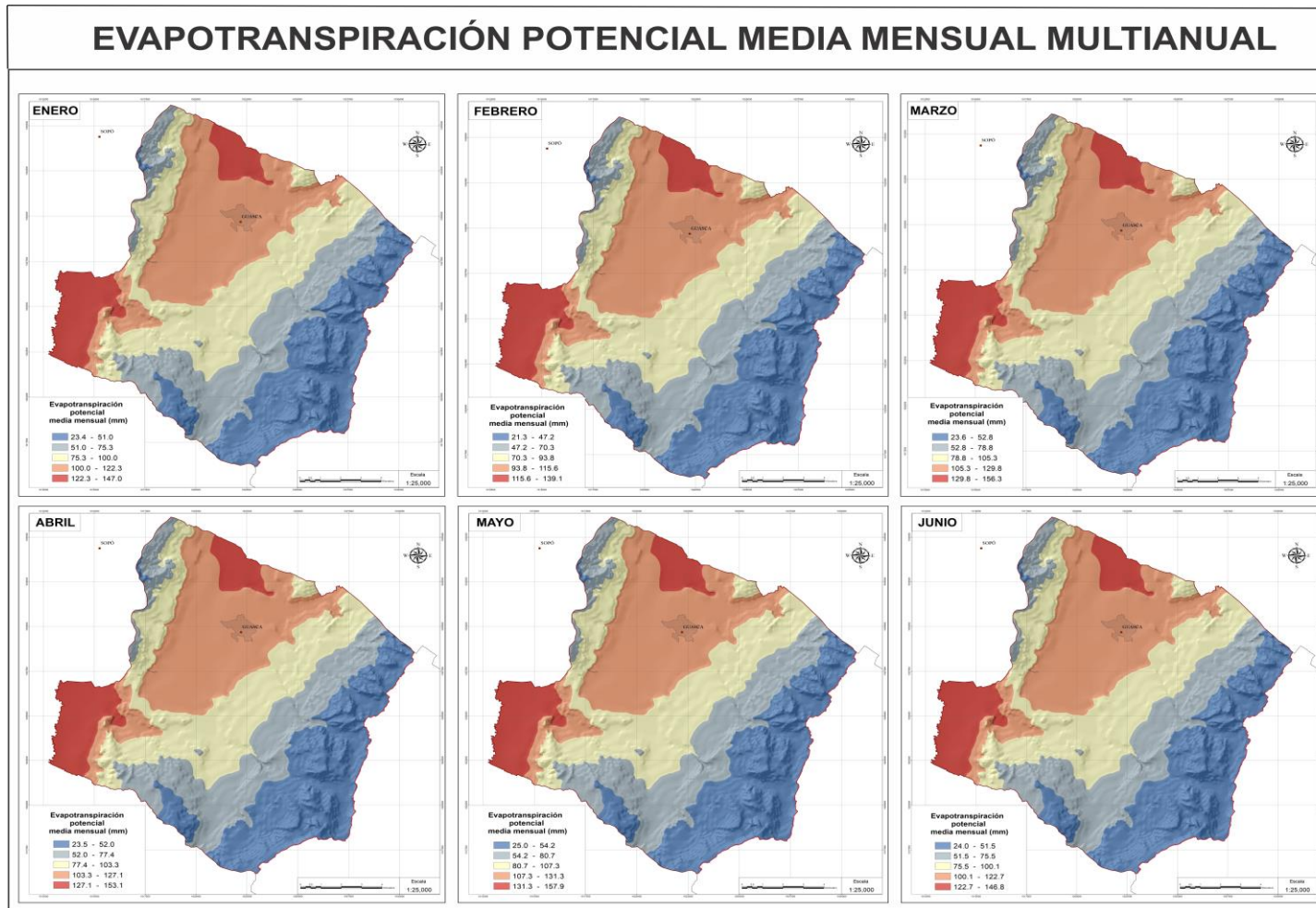
Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S. 2017

3.6.1.2. Evapotranspiración potencial media mensual multianual.

A continuación, se presenta la espacialización de la evapotranspiración potencial mensual multianual donde se puede ver la variación de la evapotranspiración en cada uno de los meses del año. Las imágenes 21 y 22 muestran la evapotranspiración potencial media mensual multianual en el área de estudio. Para el primer semestre, se observa que los menores valores de evapotranspiración se presentan hacia el sureste del área de estudio con valores entre 21,3 mm y 54,2 mm y los mayores valores hacia el noreste y suroeste del área de estudio con valores entre 115,6 mm y 157,9 mm. En términos generales los menores valores de evapotranspiración del primer semestre se presentan en los meses de enero y febrero y los mayores valores en los meses de mayo y junio.

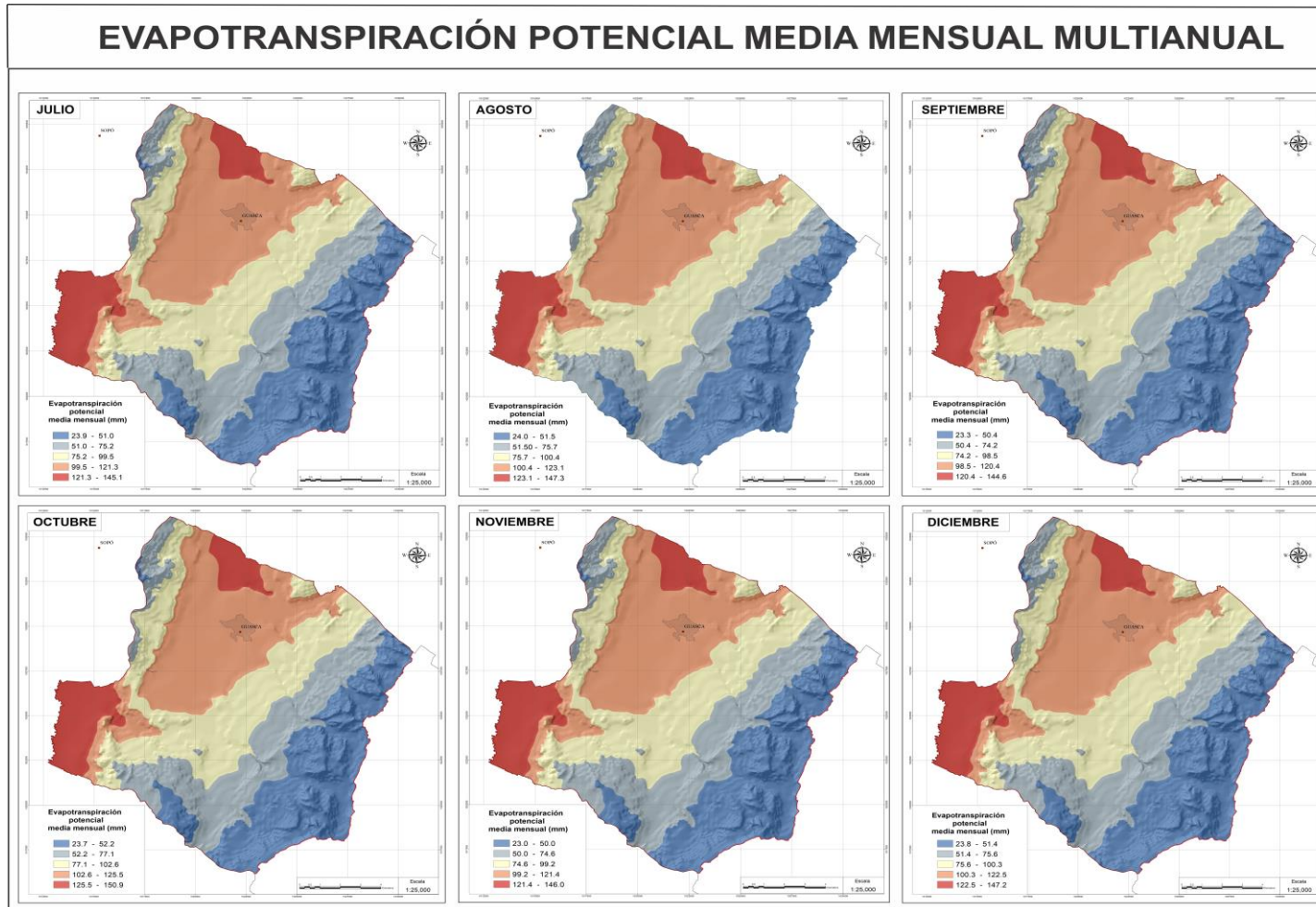
Para el segundo semestre, se observa que en los meses de julio a diciembre los menores valores de evapotranspiración se presentan hacia el sureste del área de estudio con valores entre 23,0 mm y 52,2 mm y los mayores valores se presentan hacia el noreste y suroeste del área de estudio con valores entre 125,5 mm y 150,9 mm. En términos generales los menores valores de evapotranspiración para el segundo semestre se presentan en los meses de septiembre y noviembre y los mayores en los meses de agosto y octubre

Imagen 18. Evapotranspiración potencial media mensual multianual (enero - junio).



Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S. 2017

Imagen 19. Evapotranspiración potencial media mensual multianual (junio - diciembre).



Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S. 2017

4. CARACTERIZACIÓN HIDROLÓGICA

El área de estudio comprende la superficie interceptada por los límites del municipio de Guasca y las cuencas del Embalse Tominé y río Teusacá. Estas cuencas se encuentran en la parte alta de la cordillera Oriental y en el sector central de la cuenca del río Bogotá, presentan un gradiente altitudinal que oscila entre 2.580 msnm hasta los 3.600 msnm. Esta localización determina la presencia de un gradiente climático y la localización de diversos ecosistemas, tales como páramo y bosque alto andino³³.

Estas cuencas han sido codificadas por el IDEAM³⁴ y adoptadas por CORPOGUAVIO - CAR³⁵, como área hidrográfica 2, la cual corresponde a la cuenca Magdalena – Cauca, en la zona hidrográfica 21, correspondiente a la cuenca Alto Magdalena, subzona hidrográfica 2120 – río Bogotá, Nivel I Unidad hidrográfica río Teusacá - 212013 y Nivel I Unidad hidrográfica Embalse de Tominé - 212017

Para la generación de caudales mínimos, medios y máximos de las subcuencas sin registros hidrométricos fue utilizado la relación entre el caudal y el área de drenaje (rendimiento hídrico) considerando el caudal anual (m^3/s) y el área de la cuenca (Km^2) de las estaciones localizadas en el área de estudio. En los casos en que se tengan más de una estación hidrométrica en la misma cuenca, el rendimiento hídrico se determinó a partir del promedio de las estaciones seleccionadas.

4.1. CUENCA EMBALSE TOMINÉ

La caracterización hidrológica del área de estudio fue determinada a partir de la información obtenida de la unidad hidrográfica Embalse de Tominé codificada como 212017 por IDEAM, la cual es un tributario del río Bogotá. De acuerdo con la delimitación de CORPOGUAVIO y la CAR la unidad hidrográfica Embalse de Tominé está compuesta por 10 subunidades hidrográficas. La imagen 23 muestra la delimitación de la unidad hidrográfica Embalse de Tominé y subunidades hidrográficas identificadas.

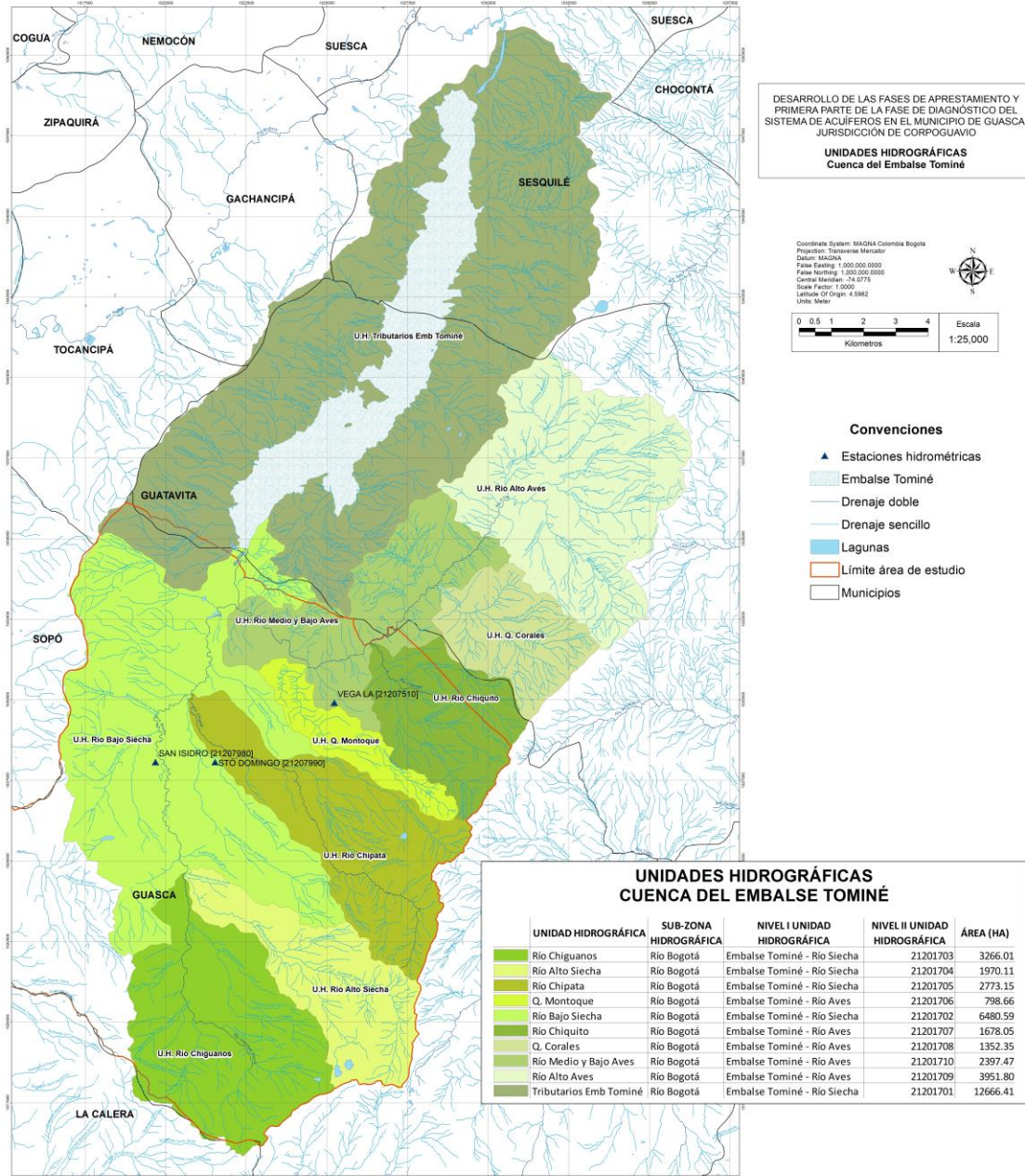
³³ MORA, Gilberto; GUILLOT M. Hernando. Análisis ecológico de la cuenca de captación y del embalse Tominé. En: Acta Biológica Colombiana, 2000. vol 5, no 1, p. 73 – 74.

³⁴ IDEAM. Zonificación y Codificación de Cuencas Hidrográficas. Bogotá: Publicación aprobada por el Comité de Comunicaciones y publicaciones del IDEAM., 2013.

³⁵ CAR-CORPOGUAVIO. Plan de Ordenamiento del Recurso Hídrico de la unidad hidrográfica del Embalse de Tominé y la unidad hidrográfica del río Teusacá las cuales pertenecen a la Cuenca del río Bogotá. Bogotá: PLANIFICACIÓN INTEGRAL Consultores S.A.S., 2015

Para realizar la caracterización de caudales mínimos, medios y máximos de las 10 subunidades identificadas en la cuenca Embalse Tominé, se analizaron los datos de mínimo 41 años de las estaciones Vega La, San Isidro, Sto. Domingo, operadas por la CAR. La tabla 8 muestra las características de las estaciones hidrométricas localizadas sobre la unidad hidrográfica Embalse de Tominé.

Imagen 20. Unidades hidrológicas - Cuenca del Embalse Tominé.



Fuente: Unión temporal Corpoguayao, 2015.

Tabla 8. Estaciones hidrométricas localizadas en la cuenca del Embalse Tominé.

CÓDIGO	NOMBRE	CAT	ENTIDAD	MUNICIPIO	CORRIENTE	CUENCA
21207510	VEGA LA	LG	CAR	GUASCA	AVES	AVES
21207980	SAN ISIDRO	LM	CAR	GUASCA	R. SIECHA	R. SIECHA
21207990	STA DOMINGO	LM	CAR	GUASCA	CHIPATA	R. SIECHA

Fuente: CAR, 2017.

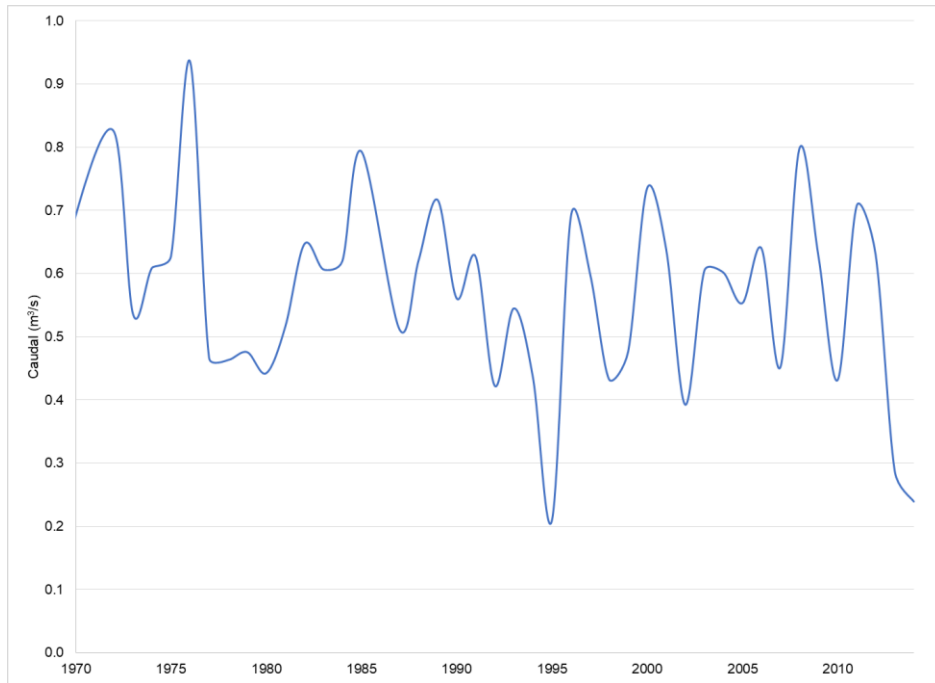
4.1.1. Caudales medios anuales y mensuales multianuales

4.1.1.1. Caudales mínimos

Las series históricas de las estaciones Vegas La, San Isidro y Sto Domingo muestran datos continuos de caudales mínimos desde los años 1.970, 1.970 y 1.954 respectivamente, hasta el año 2.014.

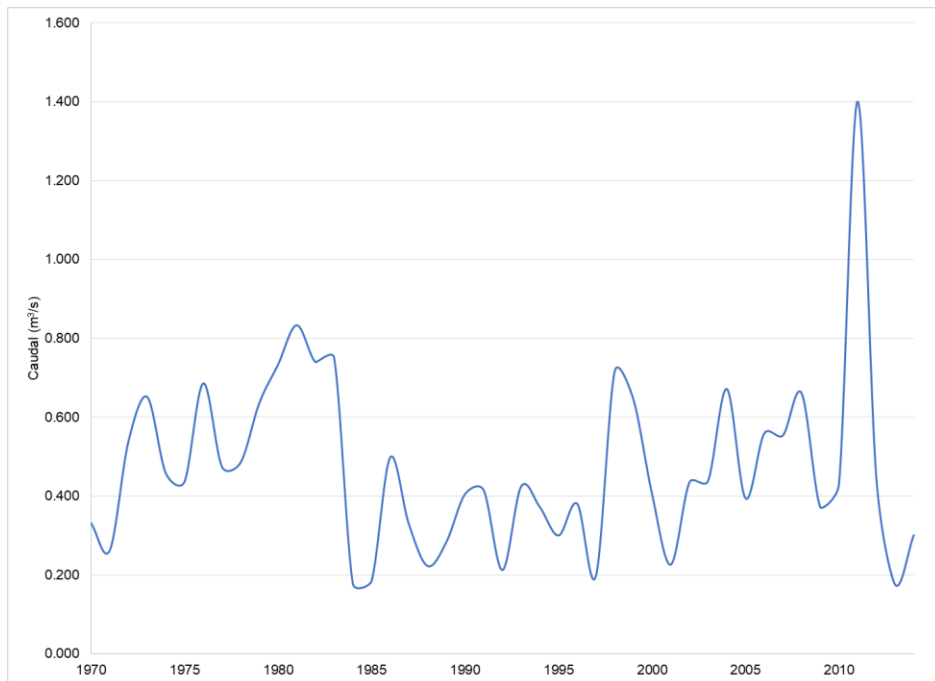
Los caudales mínimos anuales muestran una tendencia homogénea para cada una de las estaciones localizadas en la unidad hidrológica Cuenca del Embalse Tominé. Para la estación Vegas La muestra que los caudales mínimos se encuentran en un rango entre 0,209 y 0,936 m³/s siendo los años con mayores caudales 1.957, 1.972 y 1.976, donde se registraron valores superiores a los 0,8 m³/s y los años con menores caudales se registraron en 1.995 y 2.014 con valores por debajo de los 0,24 m³/s. Para la estación San Isidro se presenta un comportamiento homogéneo con valores de caudal en un rango de 0,176 y 0,83 m³/s, sin embargo, se observa un pico representando un valor de 1,4 m³/s en el año 2011. Finalmente, para la estación Sto. Domingo se presentan valores de caudales mínimos entre un rango de 0,009 y 0,423 m³/s, además se observan dos picos superiores al rango con valores superiores a los 0,6 m³/s para los años 1.994 y 2.000. Las gráficas 37, 38 y 39 muestran los caudales mínimos anuales para las estaciones Vegas Las, San Isidro y Sto. Domingo, respectivamente.

Gráfica 37. Caudales mínimos anuales – Estación Vegas La



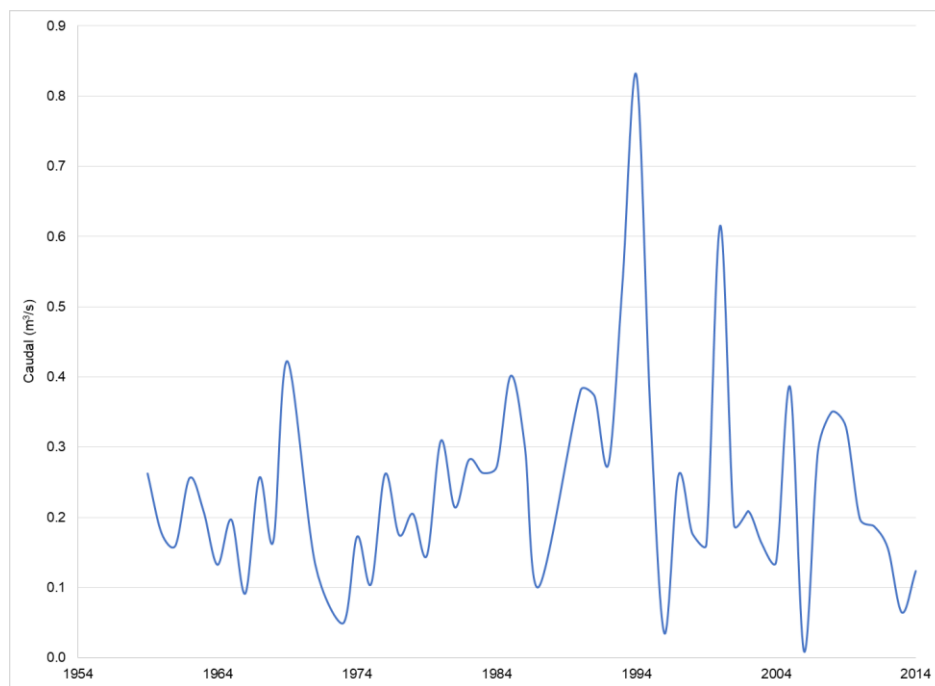
Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S. 2017

Gráfica 38. Caudales mínimos anuales – Estación San Isidro.



Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S. 2017

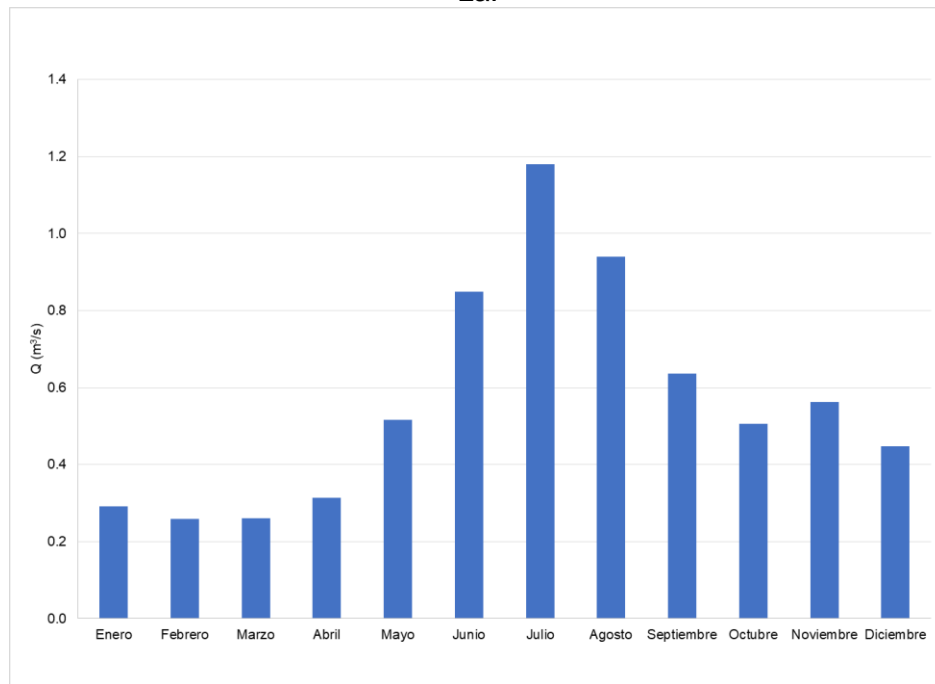
Gráfica 39. Caudales mínimos anuales – Estación Sto Domingo.



Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S. 2017

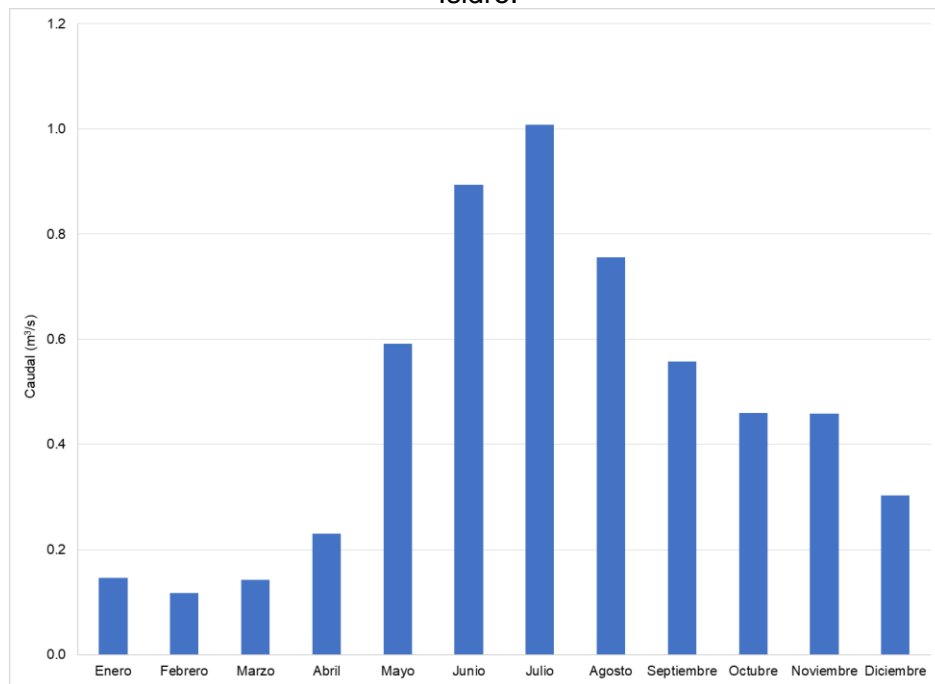
El caudal mínimo mensual multianual para las estaciones Vegas La, San Isidro y Sto. Domingo es de 0,56, 0,48 y 0,24 m³/s respectivamente. El régimen de caudales presenta un comportamiento unimodal donde los mayores valores se encuentran entre los meses de mayo y septiembre y los caudales mínimos se encuentran entre los meses de octubre y abril. Las gráficas 40, 41 y 42 muestran los valores de caudal mínimo mensual multianual para la para las estaciones Vegas La, San Isidro y Sto Domingo, respectivamente.

Gráfica 40. Histograma de caudales mínimos mensuales multianuales – Estación Vegas La.



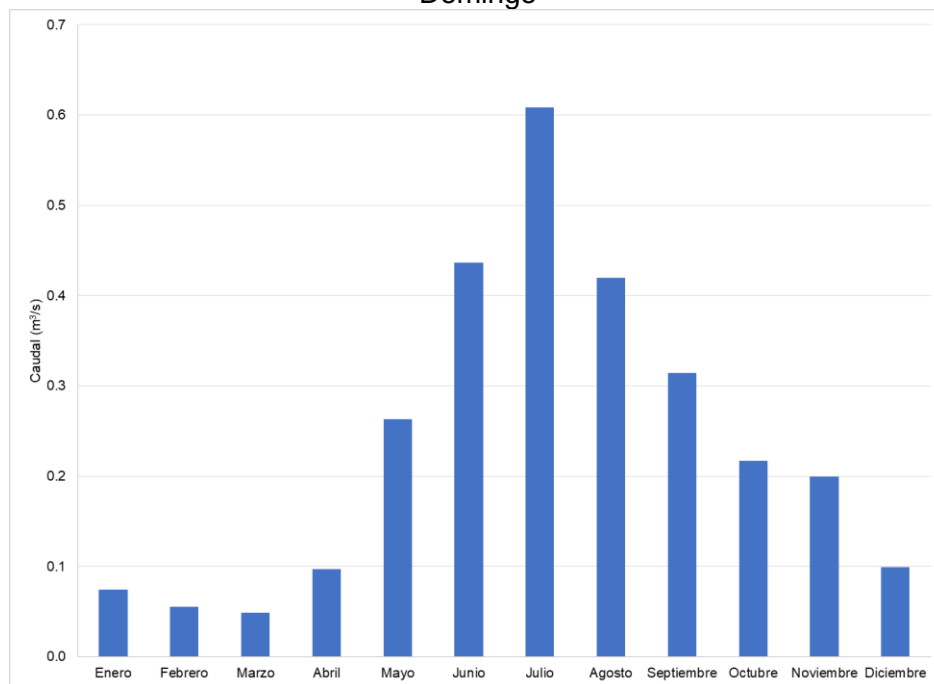
Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S. 2017

Gráfica 41. Histograma de caudales mínimos mensuales multianuales – Estación San Isidro.



Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S. 2017

Gráfica 42. Histograma de caudales mínimos mensuales multianuales – Estación Sto Domingo



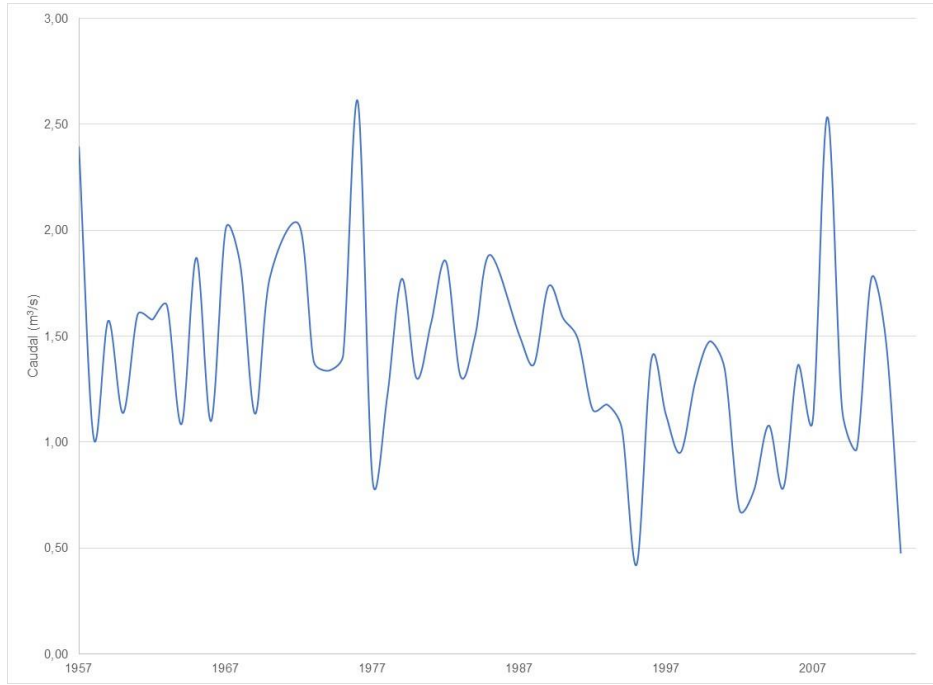
Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S. 2017

4.1.1.2. Caudales medios

Las series históricas de las estaciones Vegas La, San Isidro y Sto Domingo muestran datos continuos de caudales medios desde el año 1.957, 1959 y 1973, respectivamente, hasta el año 2014.

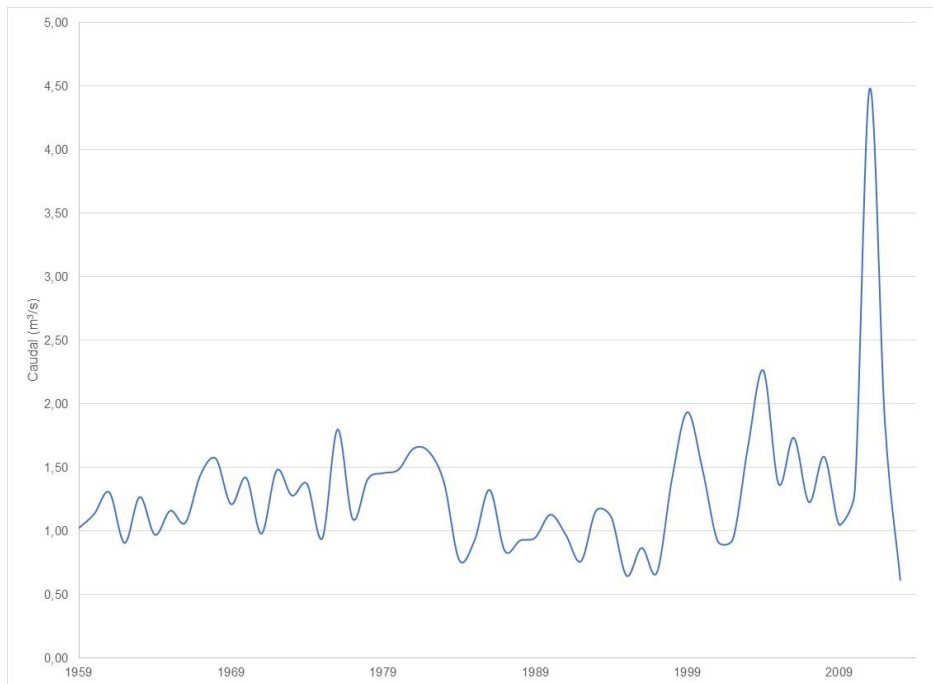
Los caudales medios anuales muestran una tendencia constante para cada una de las estaciones localizadas en la unidad hidrológica Cuenca del Embalse Tominé. Para la estación Vegas La muestra que los caudales medios se encuentran en un rango entre 0,45 y 2,6 m³/s siendo los años con mayores caudales 1.957, 1.967 y 1.976, donde se registraron caudales superiores a los 2 m³/s y los años con menores caudales se registraron en 1.995 y 2.013 con valores por debajo de los 0,5 m³/s. Para la estación San Isidro se presenta un comportamiento homogéneo con valores de caudal en un rango entre 0,67 y 2,26 m³/s, sin embargo, se observa un valor máximo de 4,48 m³/s en el año 2011. Finalmente, para la estación Sto Domingo se presentan valores de caudales medios entre un rango de 0,44 y 1,39 m³/s, sin embargo, se observan dos picos superiores con valores por encima de los 2 m³/s en los años 1.976 y 1.994 y un pico inferior de 0,03 m³/s en el año 2.006. Las gráficas 43, 44 y 45 muestran los caudales medios anuales para las estaciones Vegas La, San Isidro y Sto. Domingo, respectivamente.

Gráfica 43. Caudales medios anuales – Estación Vegas La.



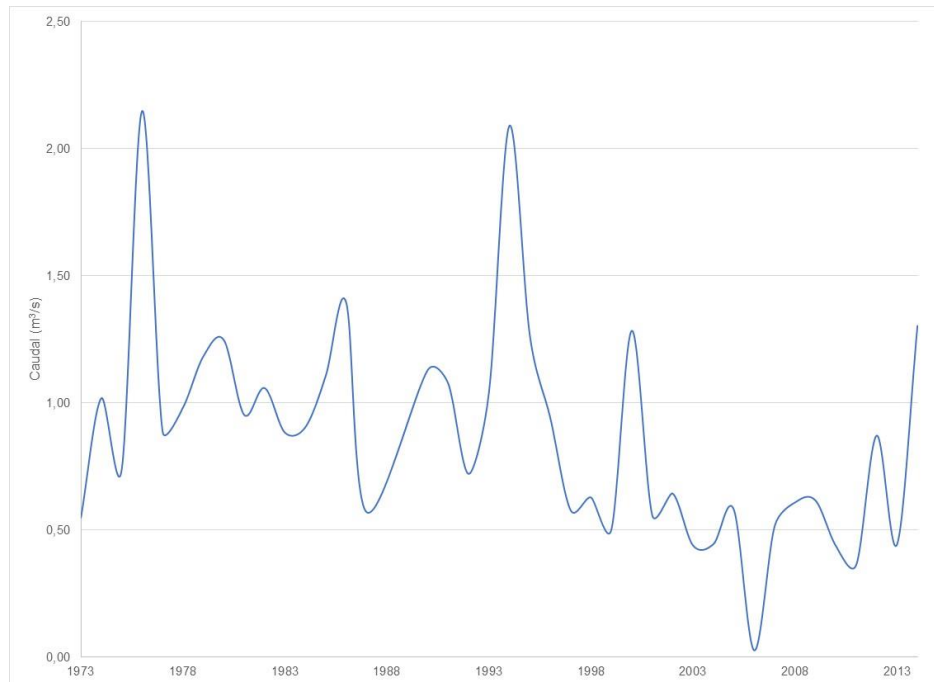
Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S. 2017

Gráfica 44. Caudales medios anuales – Estación San Isidro.



Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S. 2017

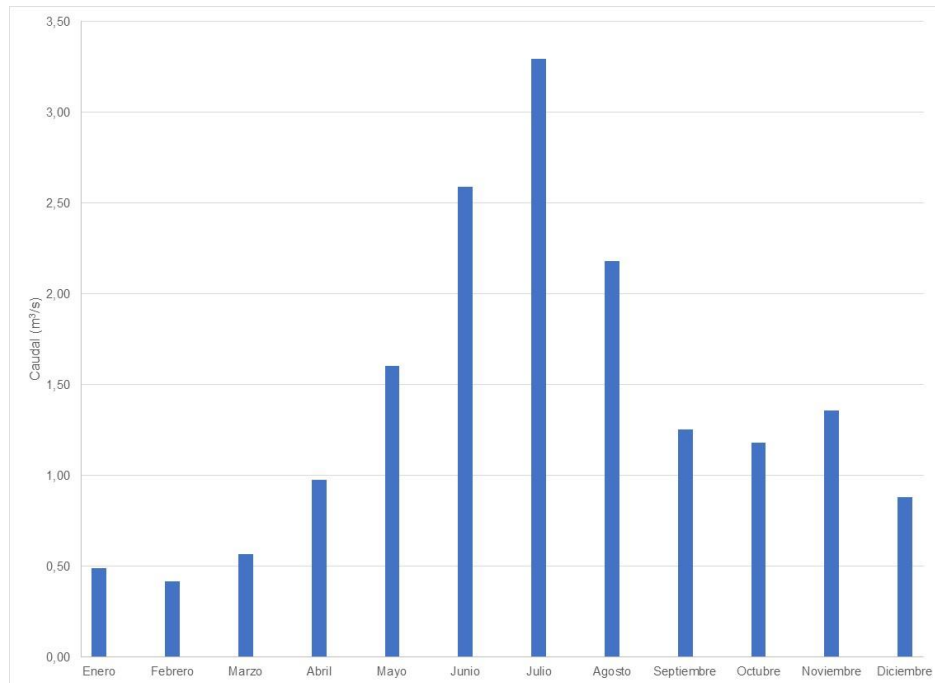
Gráfica 45. Caudales medios anuales – Estación Sto Domingo.



Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S. 2017

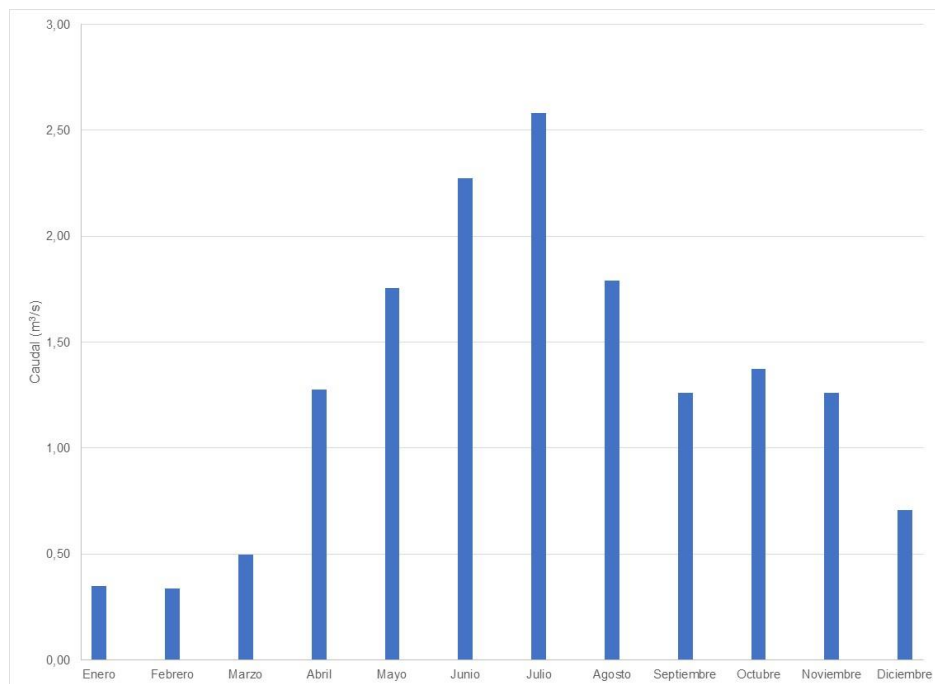
El caudal medio mensual multianual para las estaciones Vegas La, San Isidro y Sto Domingo es de 1,40, 1,30 y 0,88 m³/s, respectivamente. El régimen de caudales presenta un comportamiento unimodal donde los mayores valores se encuentran entre los meses de mayo a agosto y los caudales medios mínimos se encuentran entre los meses de diciembre a marzo. Las gráficas 46, 47 y 48 muestran los valores de caudal medio mensual multianual para las estaciones Vegas La, San Isidro y Sto Domingo, respectivamente.

Gráfica 46. Histograma de caudales medios mensuales multianuales – Estación Vegas La.



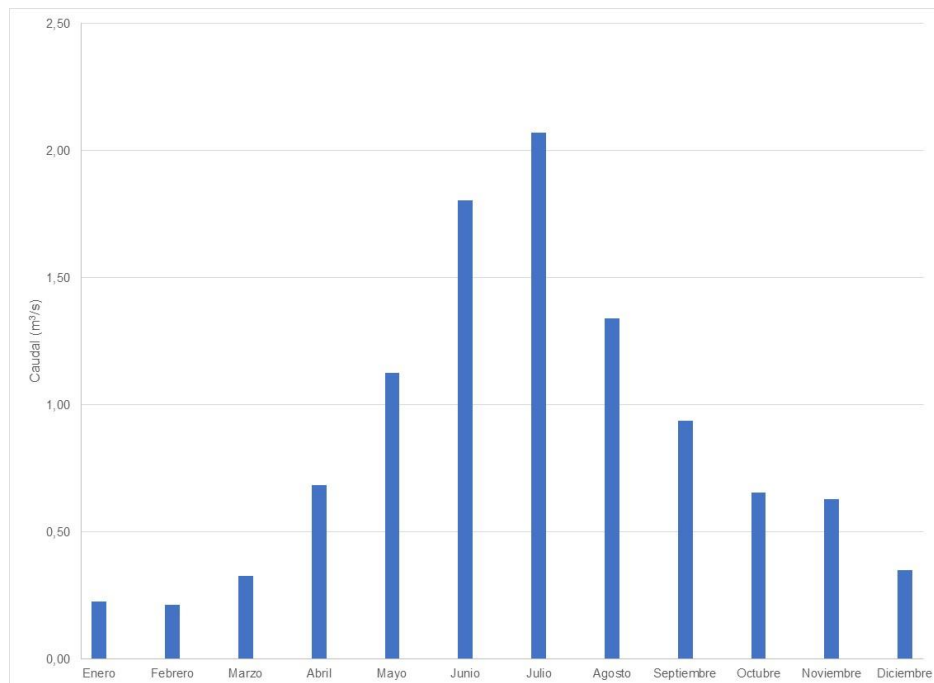
Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S. 2017

Gráfica 47. Histograma de caudales medios mensuales multianuales – Estación San Isidro.



Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S. 2017

Gráfica 48. Histograma de caudales medios mensuales multianuales – Estación Sto Domingo.



Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S. 2017

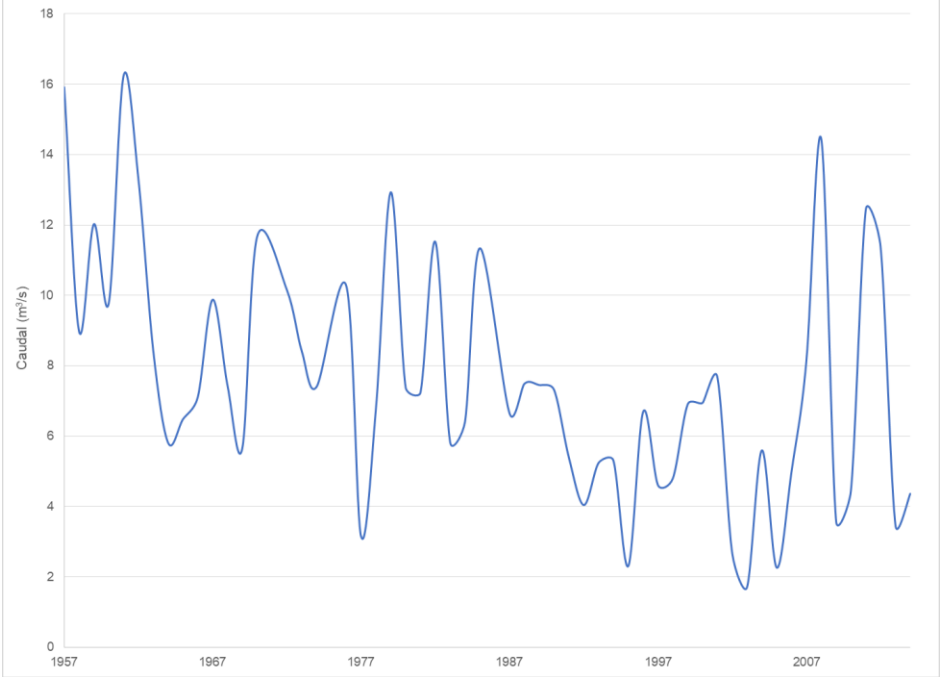
4.1.1.3. Caudales máximos

Las series históricas de las estaciones Vegas La, San Isidro y Sto Domingo muestran datos continuos de caudales máximos desde los años 1.957, 1.969 y 1.969, respectivamente, hasta el año 2014.

Los caudales máximos multianuales muestran una tendencia constante con algunos picos en las estaciones San Isidro y Sto Domingo, mientras que la estación Vegas La presenta una tendencia variable; estas estaciones se encuentran localizadas en la unidad hidrológica Cuenca del Embalse Tominé. Para la estación Vegas La muestra que los caudales máximos se encuentran en un rango entre 1,7 y 16,4 m³/s siendo los años con mayores caudales 1.957, 1.961 y 2.008, donde se registraron caudales superiores a los 14 m³/s y los años con menores caudales se registraron 1.995, 2.003 y 2.005 con valores por debajo de los 2,3 m³/s. Para la estación San Isidro se presenta un comportamiento homogéneo con valores de caudal en un rango entre 2,13 y 8,38 m³/s, sin embargo, se observan dos picos superiores con valores de 13,56 y 8,38 m³/s en los años 2.010 y 2.006, respectivamente. Finalmente, para la estación Sto Domingo se presentan valores de caudales máximos en un rango de 0,15 y 6,1 m³/s, sin embargo, se observa un pico superior con valor de 10,62 m³/s en el año 1.974. Las gráficas 49, 50 y 51 muestran los

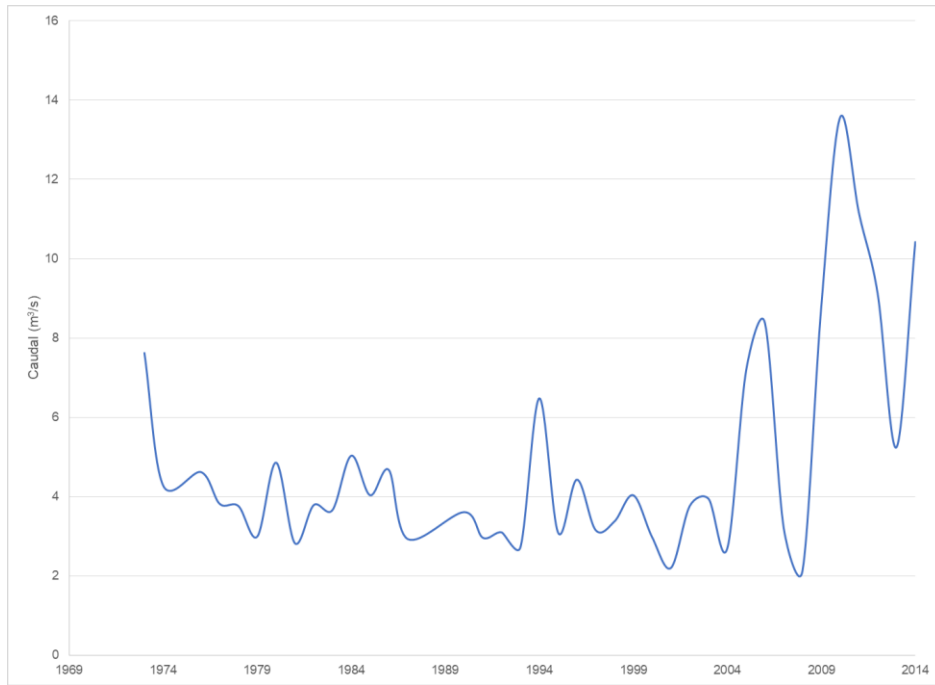
caudales máximos multianuales para las estaciones Vegas La, San Isidro y Sto Domingo, respectivamente.

Gráfica 49. Caudales máximos anuales – Estación Vegas La.



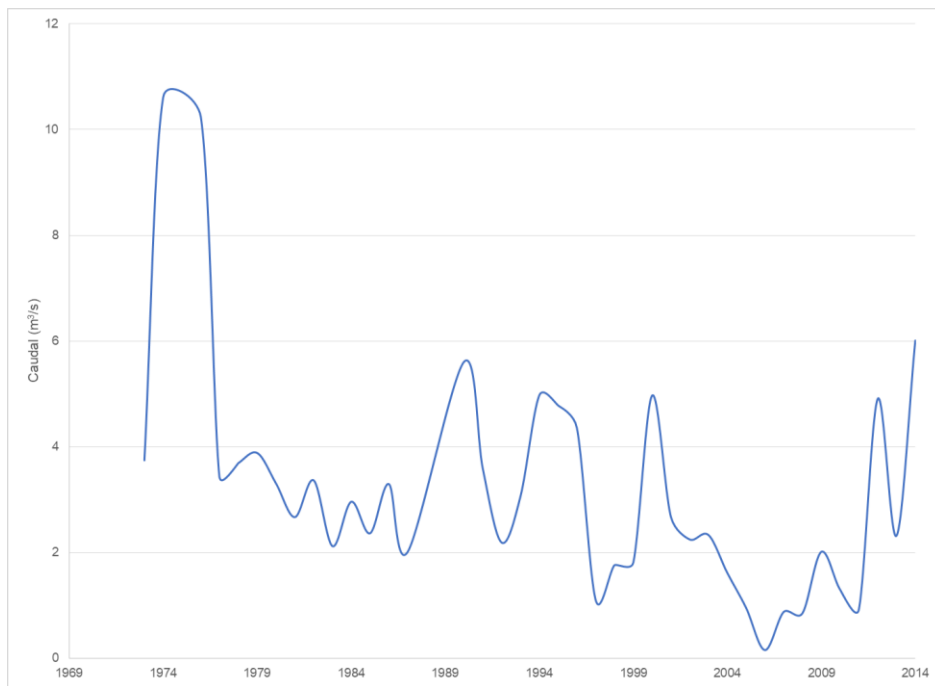
Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S. 2017

Gráfica 50. Caudales máximos anuales – Estación San Isidro.



Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S. 2017

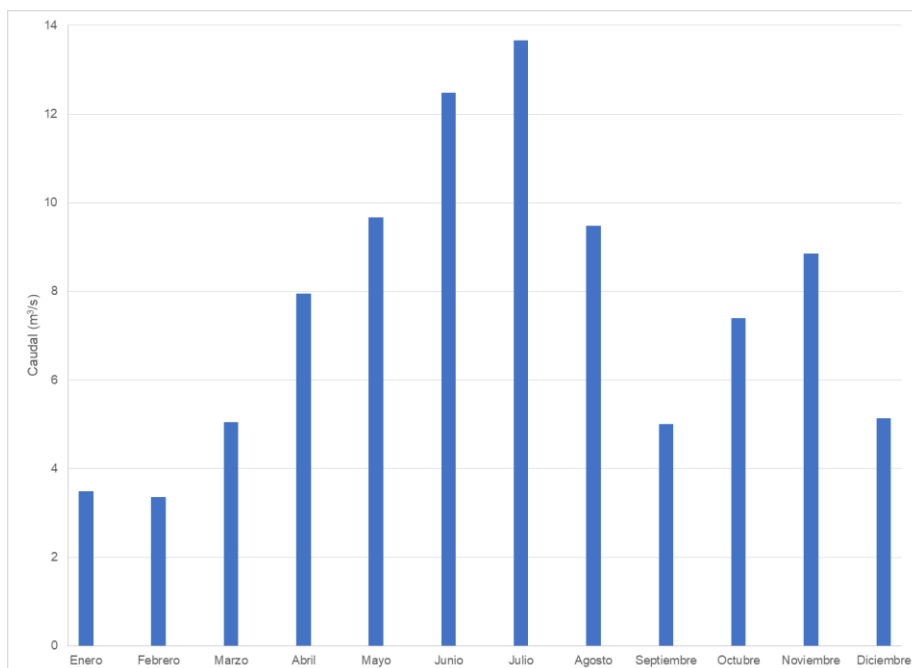
Gráfica 51. Caudales máximos anuales – Estación Sto Domingo.



Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S. 2017

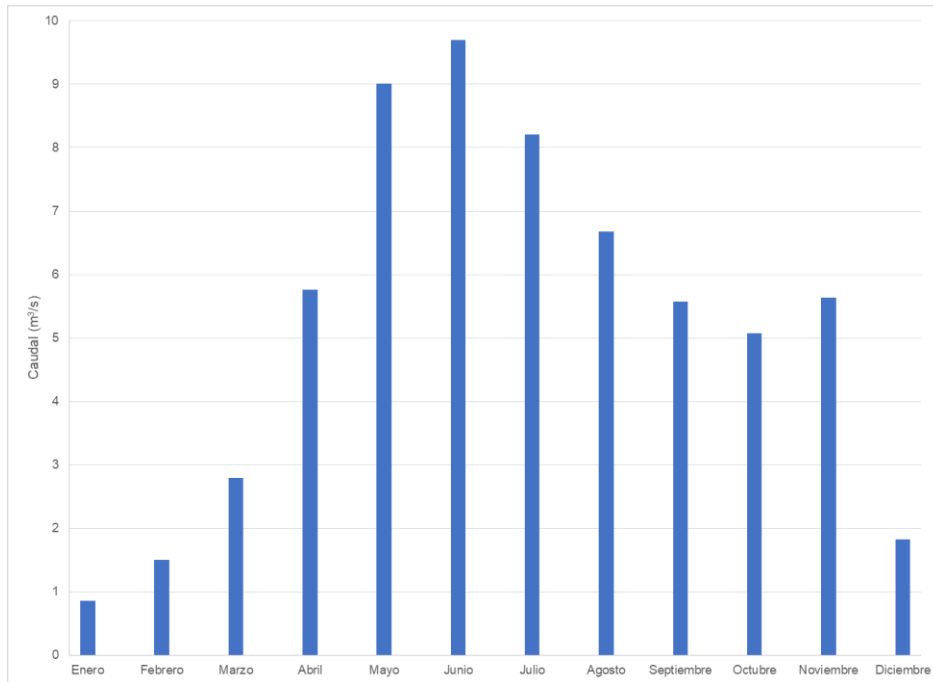
El caudal máximo mensual multianual para las estaciones Vegas La, San Isidro y Sto Domingo es de 7,62, 5,22 y 3,28 m³/s, respectivamente. El régimen de caudales para las estaciones muestra un comportamiento unimodal donde los mayores valores se encuentran entre los meses de abril y agosto y los menores caudales se encuentran entre los meses de septiembre y marzo, sin embargo, la estación Vegas La muestra una variación para los meses de octubre y noviembre. Las gráficas 52, 53 y 54 muestran los valores de caudal máximo mensual multianual para la para las estaciones Vegas La, San Isidro y Sto Domingo, respectivamente.

Gráfica 52. Histograma de caudales máximos mensuales multianuales – Estación Vegas La.



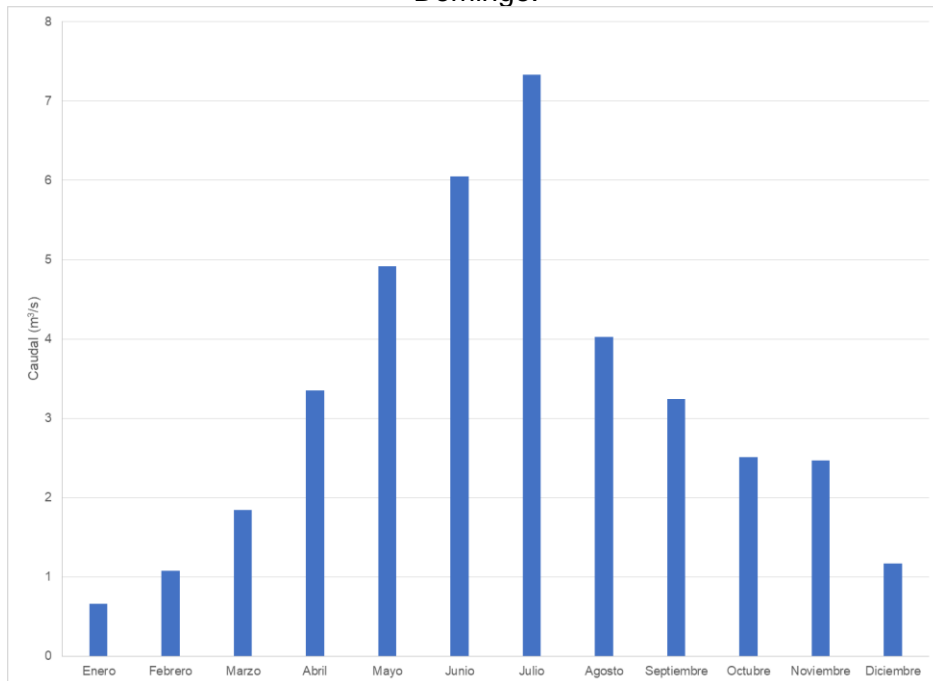
Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S. 2017

Gráfica 53. Histograma de caudales máximos mensuales multianuales – Estación San Isidro.



Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S. 2017

Gráfica 54. Histograma de caudales máximos mensuales multianuales – Estación Sto Domingo.



Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S. 2017

4.1.1.4. Rendimiento hídrico

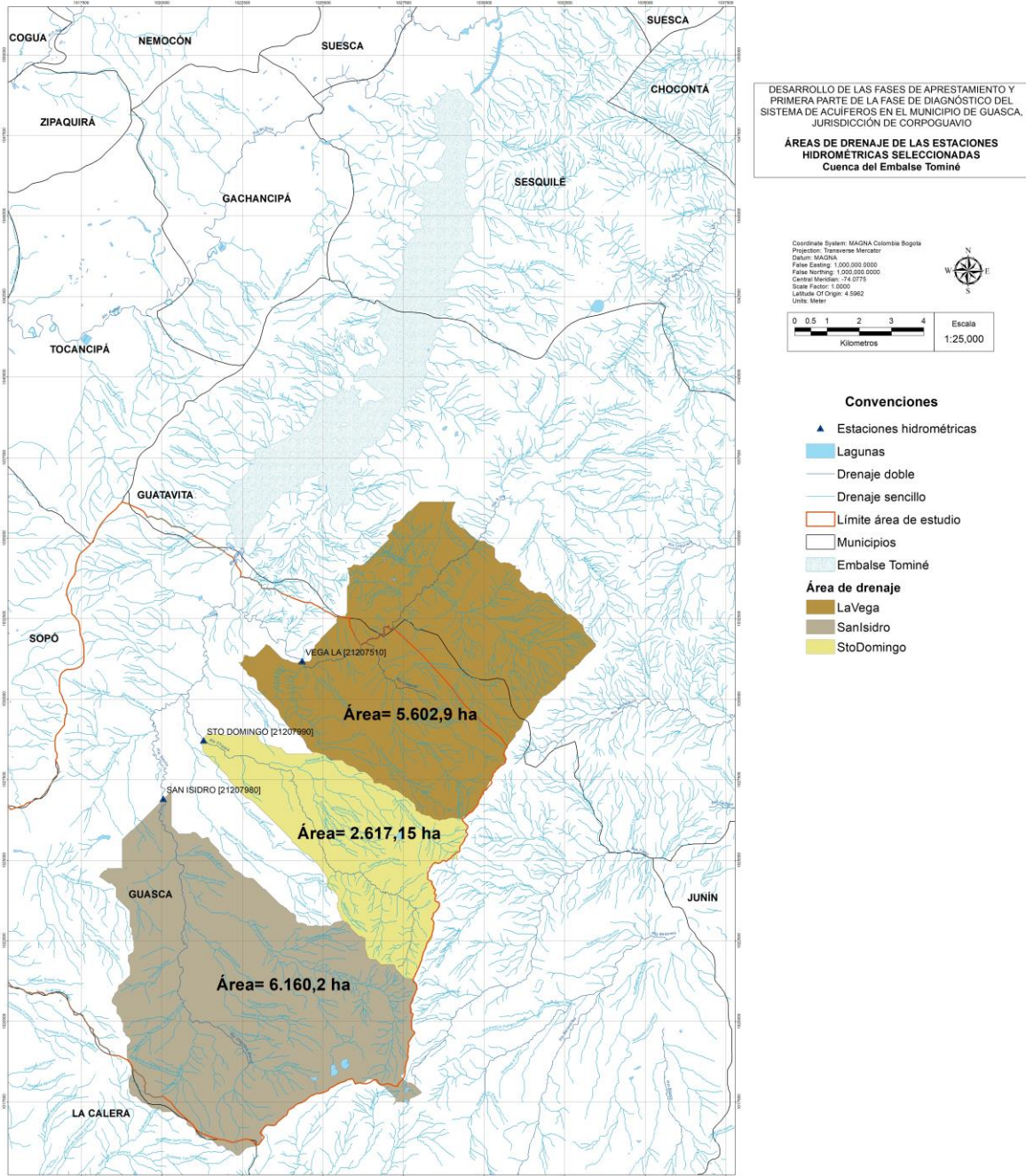
A partir de la información analizada de las estaciones Vegas La, San Isidro y Sto Domingo se determinó el rendimiento hídrico para las áreas de drenaje hasta el punto donde se encuentra la estación, como se observa en la tabla 9. La imagen 21 muestra las áreas de drenaje para cada una de las estaciones seleccionadas.

Tabla 9. Cálculo del rendimiento hídrico (RH) para cada estación seleccionada.

Estación	Área - A	Q _{min}	RH _{min}	Q _{med}	RH _{med}	Q _{max}	RH _{max}
	(Ha)	(m ³ /s)	Q/A	(m ³ /s)	Q/A	(m ³ /s)	Q/A
San Isidro	6160,21	0,48	0,00008	1,30	0,00021	5,22	0,00085
Sto Domingo	2617,15	0,24	0,00009	0,88	0,00034	3,28	0,00125
Vegas La	5602,90	0,56	0,00010	1,40	0,00025	7,62	0,00136
RH _{prom}			0,00010		0,00027		0,0012

Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S. 2017

Imagen 21. Áreas de drenaje de las estaciones hidrométricas seleccionadas.



Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S. 2017

De acuerdo con los resultados calculados de rendimiento hídrico (RH) de las estaciones Vegas La, San Isidro y Sto Domingo se determinó un valor de RH_{prom} de

0,00027 para determinar los caudales de las 10 subunidades hidrográficas que componen la unidad hidrológica Embalse de Tominé. La tabla 10 muestra los valores de caudales mínimos, medios y máximos de las subunidades hidrográficas que componen la unidad hidrológica Embalse de Tominé.

Tabla 10. Cálculo de caudales mínimos, medios y máximos de las subunidades hidrográficas que componen la unidad hidrológica Embalse de Tominé.

SUBUNIDAD HIDROGRÁFICA	Área -A	Caudal mín	Caudal med	Caudal máx
	(Ha)	(m ³ /s)	(m ³ /s)	(m ³ /s)
Río Chiguanos	3266,01	0,29	0,87	3,77
Río Alto Siecha	1970,11	0,18	0,52	2,27
Río Chipata	2773,15	0,25	0,74	3,20
Río Montoque	798,66	0,07	0,21	0,92
Río Chiquito	1678,05	0,15	0,45	1,94
Q. Corales	1352,35	0,12	0,36	1,56
Q. Medio y Bajo Aves	2397,47	0,22	0,64	2,77
Río Alto Aves	3951,80	0,36	1,05	4,56
Tributarios Emb Tominé	12666,41	1,14	3,37	14,61
Río Bajo Siecha	6480,59	0,58	1,72	7,48

Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S. 2017

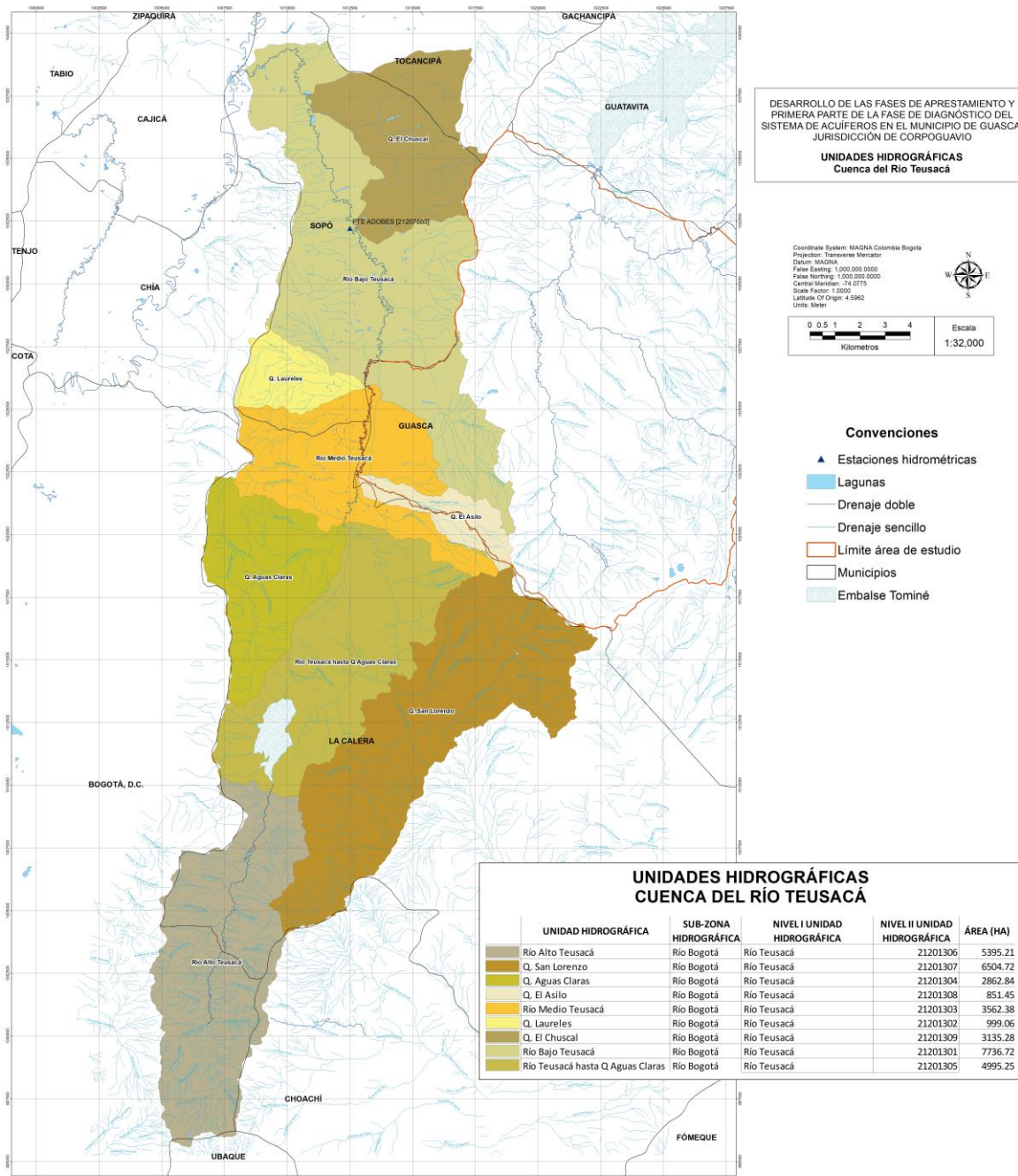
Los resultados obtenidos de la subunidad hidrográfica Tributarios Embalse Tominé podrían no corresponder a los medidos ya que corresponde a afluentes menores circundantes y bombeos provenientes del río Bogotá, lo que hace que se convierta en un sistema regulado complejo en cuanto a un balance desgregado de cada afluencia.

4.2. CUENCA RIO TEUSACÁ

La caracterización hidrológica del área de estudio fue determinada a partir de la información obtenida de la unidad hidrográfica Río Teusacá codificada como 212013 por IDEAM. De acuerdo con la delimitación de CORPOGUAVIO y la CAR la unidad hidrográfica Río Teusacá está compuesta por 9 subunidades hidrográficas. La imagen 22 muestra la delimitación de la unidad hidrográfica Río Teusacá y subunidades hidrográficas identificadas.

Para realizar la caracterización de caudales mínimos, medios y máximos de las 9 subunidades identificadas en la cuenca Río Teusacá, se analizaron los datos desde el año 1.987 hasta el 2.007 para la estación Pte Adobes, operada por la CAR. Es importante mencionar que los caudales medidos en la estación Pte Adobes están regulados por el embalse San Rafael, por lo tanto, sus datos no representarían las condiciones naturales del área de drenaje y esto podría afectar la veracidad de los caudales a calcular, sin embargo, es la mejor aproximación que se podría obtener para determinar los caudales de las subunidades hidrográficas que componen la cuenca Río Teusacá. La tabla 11 muestra las características de la estación Pte Adobes localizada sobre la unidad hidrográfica Río Teusacá.

Imagen 22. Unidades hidrológicas - Cuenca Río Teusacá.



Fuente: Unión temporal Corpoguayao, 2015.

Tabla 11. Estaciones hidrométricas localizadas en la Cuenca Río Teusacá.

CÓDIGO	NOMBRE	CAT	ENTIDAD	MUNICIPIO	CORRIENTE	CUENCA
21207880	PTE ADOBES	LM	CAR	SOPÓ	TEUSACA	TEUSACA

Fuente: CAR, 2017.

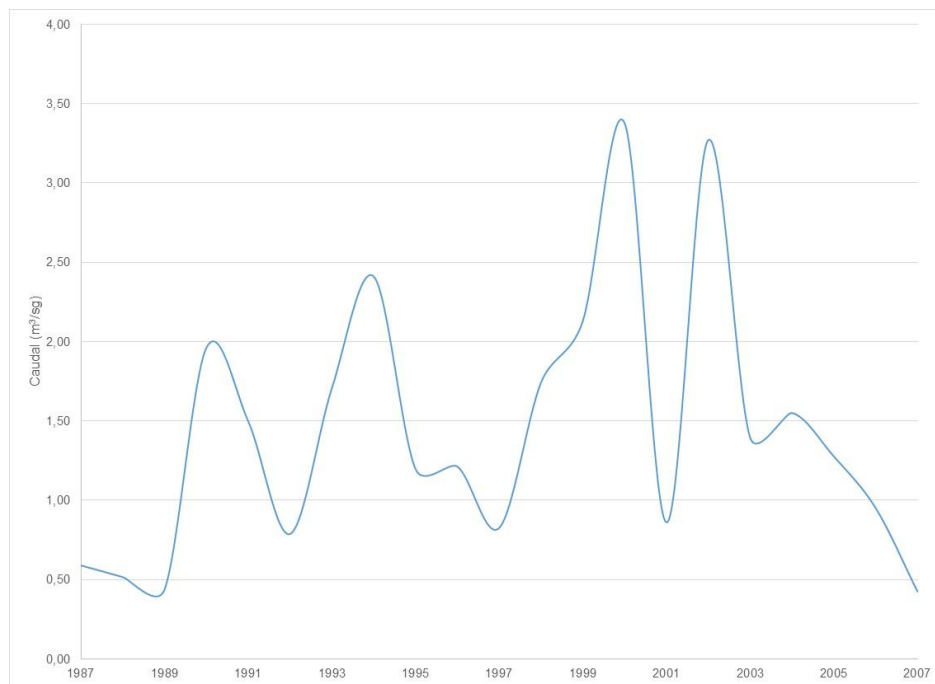
4.2.1. Caudales medios anuales y mensuales multianuales

4.2.1.1. Caudales mínimos

Las series históricas de la estación Pte Adobes muestra datos continuos de caudales mínimos entre los años 1.987 y 2.007.

Los caudales mínimos anuales muestran una tendencia variable localizada en la unidad hidrológica Cuenca del Río Teusacá. La estación Pte Adobes muestra que los caudales mínimos se encuentran en un rango entre 0,438 y 3,375 m³/s presentando cuatro picos superiores en los años 1.990, 1.994, 2.000 y 2.002, donde se registraron valores superiores a los 2 m³/s y los años con menores caudales se registraron en los años 1.989 y 2.007 con valores por debajo de los 0,50 m³/s. La gráfica 55 muestra los caudales mínimos anuales para la estación Pte Adobes.

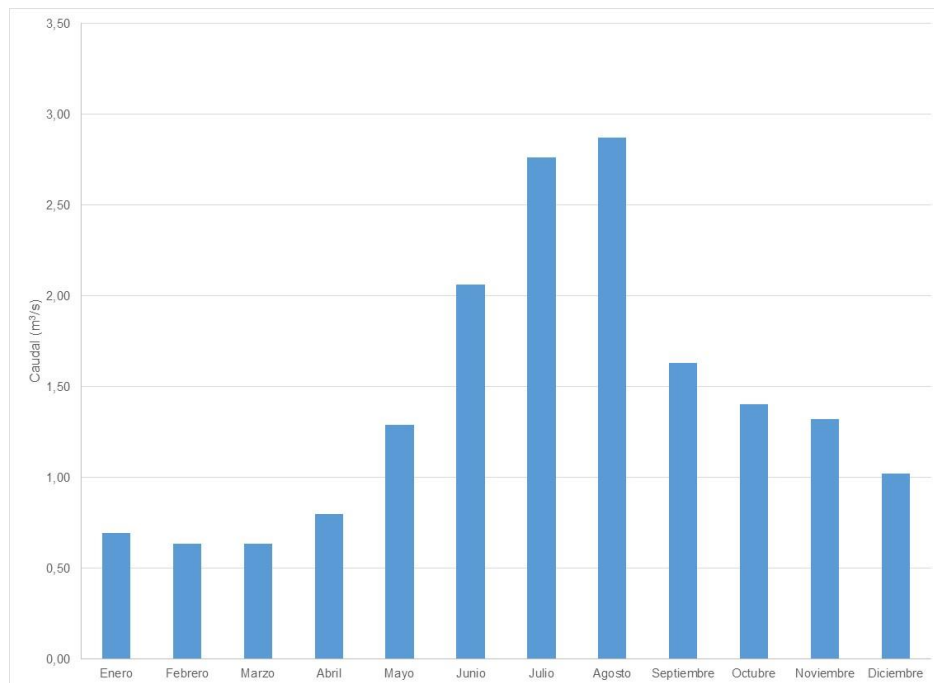
Gráfica 55. Caudales mínimos anuales – Estación Pte Adobes.



Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S. 2017

El caudal mínimo mensual multianual para la estación Pte Adobes es de 1,43. El régimen de caudales presenta un comportamiento unimodal donde los mayores valores se encuentran entre los meses de junio y septiembre y los caudales mínimos se encuentran entre los meses de octubre y mayo. La gráfica 56 muestra los valores de caudal mínimo mensual multianual para la estación Pte Adobes.

Gráfica 56. Histograma de caudales mínimos mensuales multianuales – Estación Pte Adobes



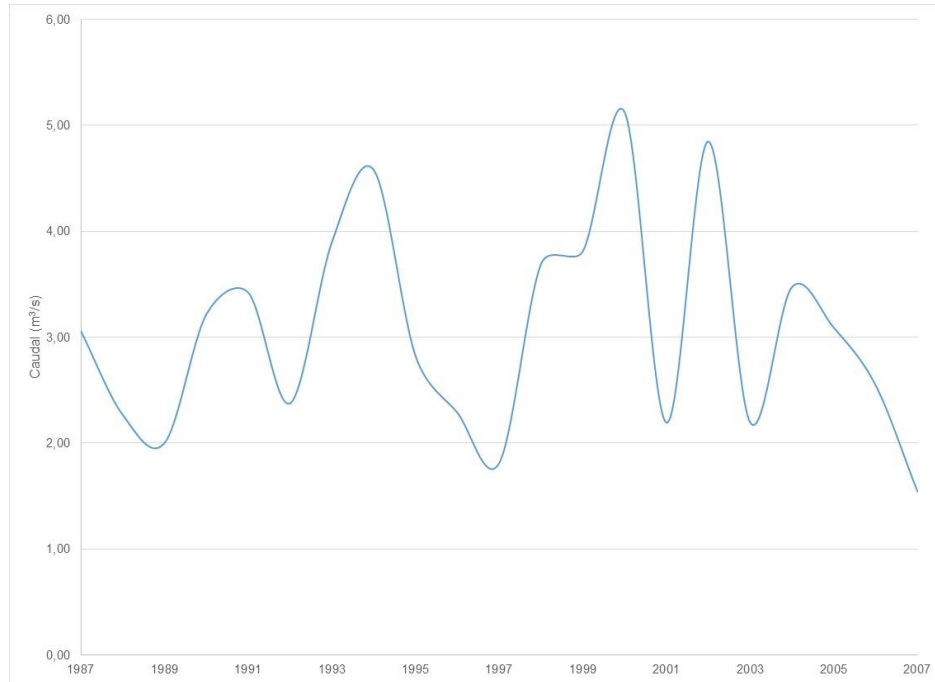
Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S. 2017

4.2.1.2. Caudales medios

Las series históricas de la estación Pte Adobes muestra datos continuos de caudales medios entre los años 1.987 y 2.007.

Los caudales medios anuales muestran una tendencia variable para la estación Pte Adobes localizada en la unidad hidrológica Cuenca del río Teusacá. Para la estación Pte Adobes se muestra que los caudales medios se encuentran en un rango entre 1,54 y 5,12 m³/s, siendo los años con mayores caudales 1.994, 2.000 y 2.002, donde se registraron caudales superiores a los 4 m³/s y los años con menores caudales se registraron en los años 1.997 y 2.007 con valores por debajo de los 2,0 m³/s. La gráfica 57 muestran los caudales medios anuales para la estación Pte Adobes.

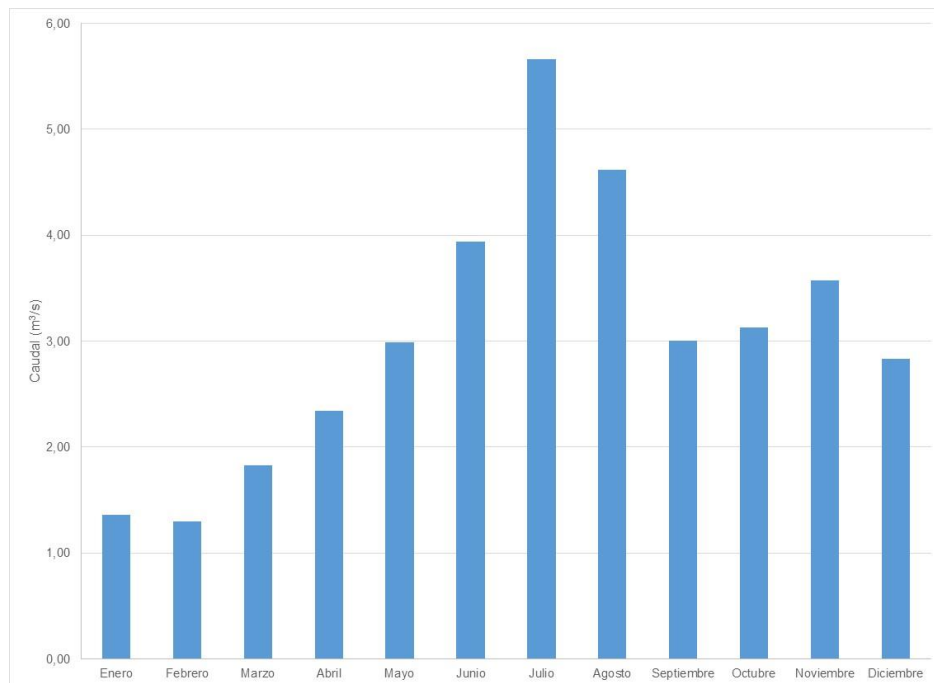
Gráfica 57. Caudales medios anuales – Estación Pte Adobes.



Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S. 2017

El caudal medio mensual multianual para la estación Pte Adobes es de 3,05 m³/s. El régimen de caudales presenta un comportamiento unimodal donde los mayores valores se encuentran entre los meses de junio y agosto y los caudales mínimos se encuentran entre los meses de septiembre y mayo. La gráfica 58 muestra los valores del caudal medio mensual multianual para la estación Pte Adobes.

Gráfica 58. Histograma de caudales medios mensuales multianuales – Estación Pte Adobes.



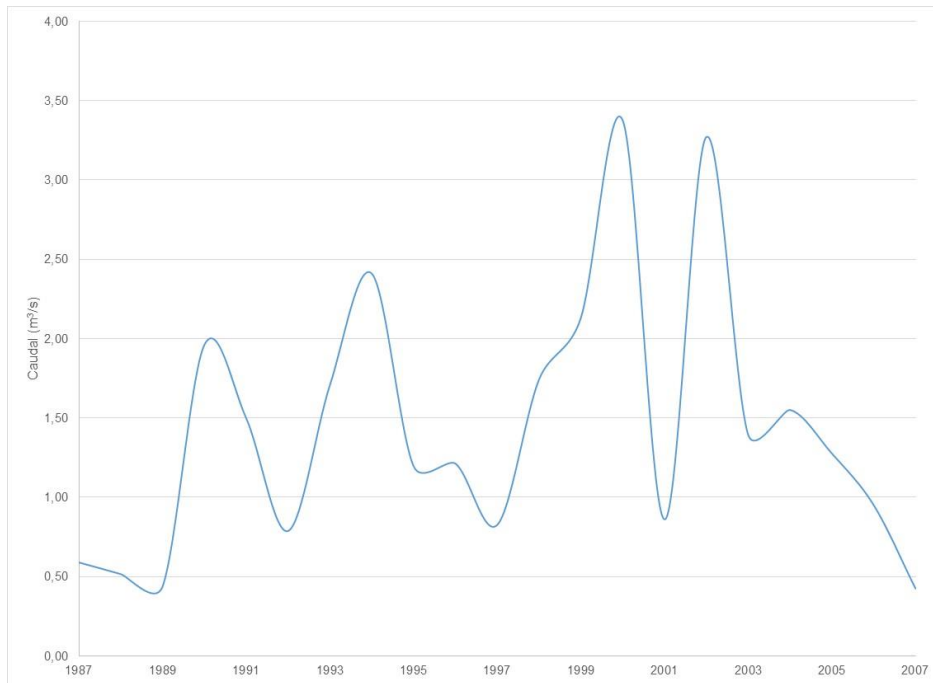
Fuente: SYSYCOL CONSULTORES S.A.S. 2017

4.2.1.3. Caudales máximos

Las series históricas de las estaciones Pte Adobes muestran datos variables de caudales entre los años 1.987 y 2.007.

Los caudales máximos multianuales muestran una tendencia variable con algunos picos máximos en la estación Pte Adobes, localizada en la unidad hidrogeológica Cuenca del río Teusacá. La estación Pte Adobes muestra que los caudales máximos se encuentran en un rango entre 0,42 y 3,37 m³/s, siendo los años con mayores caudales 1.994, 2.000 y 2.002, donde se registraron caudales superiores a los 2 m³/s y los años con menores caudales se registraron en los años 1.989 y 2.007 con valores por debajo de los 0,5 m³/s. La gráfica 59 muestra los caudales máximos multianuales para la estación Pte Adobes.

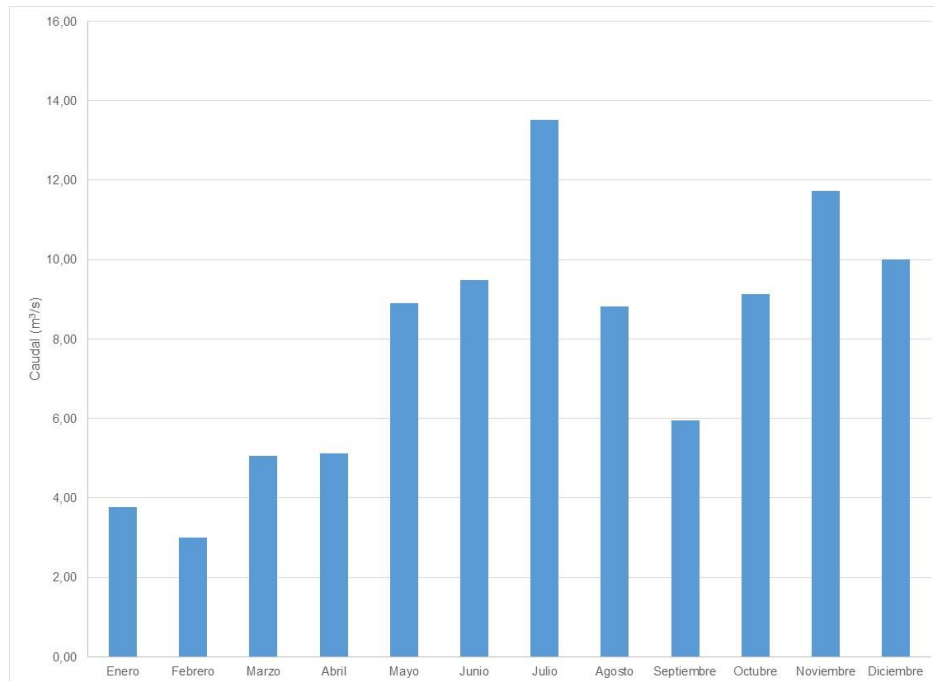
Gráfica 59. Caudales máximos anuales – Estación Pte Adobes.



Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S. 2017

El caudal máximo mensual multianual para la estación Pte Adobes es de 7,87 m³/s. El régimen de caudales para las estaciones muestra un comportamiento bimodal donde los mayores valores se encuentran entre los meses de junio y agosto y entre los meses de octubre y diciembre y los menores caudales se encuentran entre los meses de enero y mayo y el mes de septiembre. La gráfica 60 muestra los valores de caudal máximo mensual multianual para la estación Pte Adobes.

Gráfica 60. Histograma de caudales máximos mensuales multianuales – Estación Pte Adobes.



Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S. 2017

4.2.1.4. Rendimiento hídrico

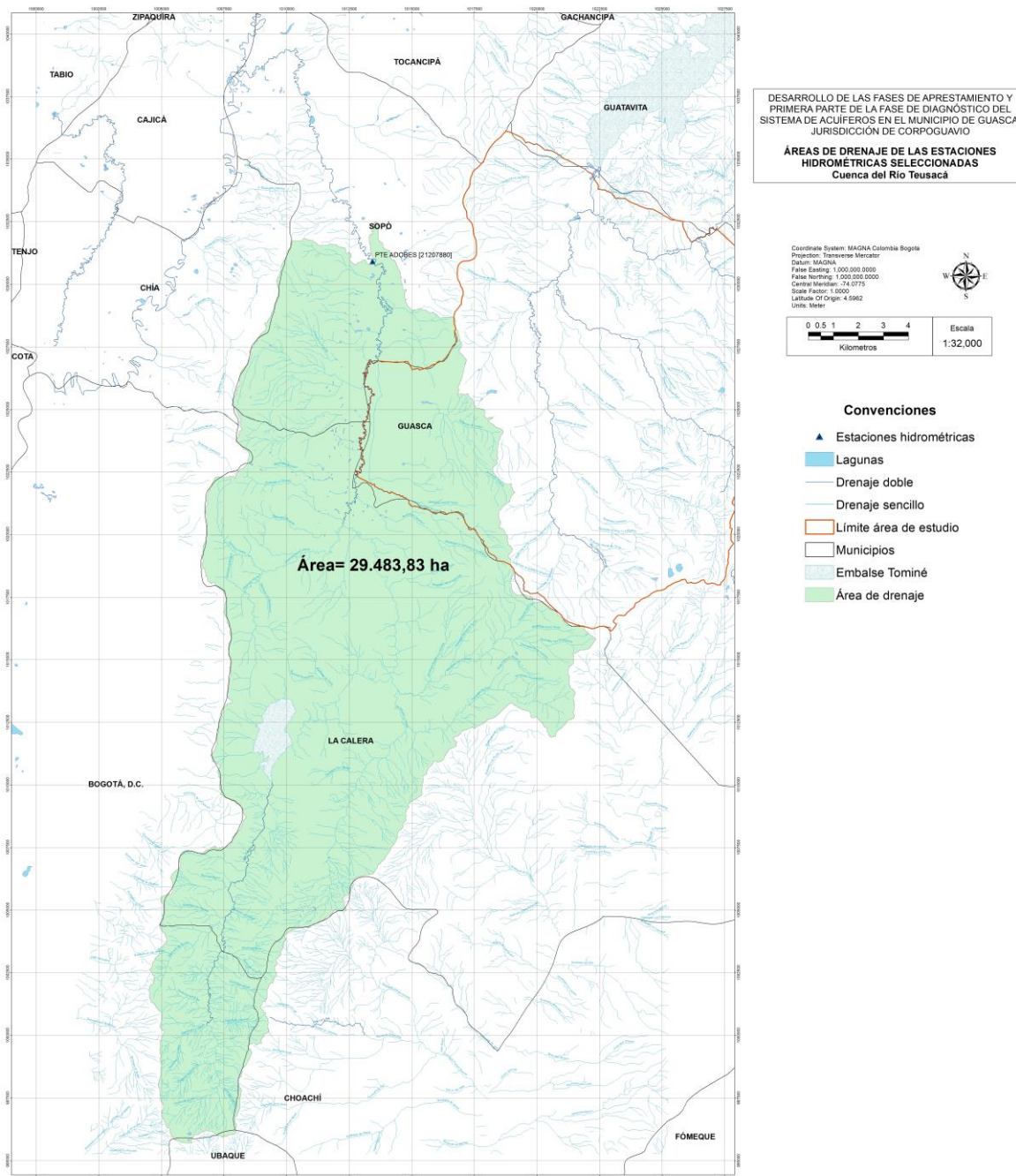
A partir de la información analizada de la estación Pte Adobes se determinó el rendimiento hídrico para el área que drenadas hasta el punto donde se encuentra la estación, como se observa en la tabla 12 La imagen 23 muestra las áreas de drenaje para la estación Pte Adobes.

Tabla 12. Calculo del rendimiento hídrico (RH) para la estación Pte Adobes.

Estación	Área - A	Q _{min}	RH _{min}	Q _{med}	RH _{med}	Q _{max}	RH _{max}
	(Ha)	(m³/s)	Q/A	(m³/s)	Q/A	(m³/s)	Q/A
Pte Adobes	29483,83	1,43	0,00005	3,05	0,00010	7,87	0,00027

Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S. 2017

Imagen 23. Áreas de drenaje de la estación Pte Adobes.



Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S. 2017

De acuerdo con los resultados calculados de rendimiento hídrico (RH) de la estación Pte Adobes se determinó un valor de RH_{medio} de 0,0001, un $RH_{\text{mínimo}}$ 0.00005 y un $RH_{\text{máximo}}$ 0.0003 para determinar los caudales medios, mínimos y máximos de las 9 subunidades hidrográficas que componen la unidad hidrológica Río Teusacá. La Tabla 13. Calculo de caudales mínimos, medios y máximos de las subunidades hidrográficas que componen la unidad hidrológica Río Teusacá **Error! No se encuentra el origen de la referencia.** muestra los valores de caudales mínimos, medios y máximos de las subunidades hidrográficas que componen la unidad hidrológica Río Teusacá.

Tabla 13. Calculo de caudales mínimos, medios y máximos de las subunidades hidrográficas que componen la unidad hidrológica Río Teusacá

UNIDAD HIDROGRÁFICA	Área -A	Caudal mín	Caudal med	Caudal máx
	(Ha)	(m ³ /s)	(m ³ /s)	(m ³ /s)
Río Alto Teusacá	5.395,21	0,26	0,56	1,44
Q. San Lorenzo	6.104,72	0,32	0,67	1,74
Q. Aguas Claras	2.862,84	0,14	0,30	0,76
Q. El Asilo	851,45	0,04	0,09	0,23
Río Medio Teusacá	3.562,38	0,17	0,37	0,95
Q. Laureles	999,06	0,05	0,10	0,27
Q. El Chuscal	3.135,28	0,15	0,32	0,84
Río Bajo Teusacá	7.736,72	0,38	0,80	2,07
Río Teusacá hasta Q. Aguas Claras	4.995,25	0,24	0,52	1,33

Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S. 2017

5. ZONIFICACIÓN CLIMÁTICA

La clasificación climática consiste en la división del territorio a partir del agrupamiento sistemático de los elementos del clima en distintos tipos según sus relaciones comunes; si bien, todas las clasificaciones emplean diversos parámetros, la dificultad reside en establecer criterios generales que resulten representativos. Los parámetros básicos de cualquier clasificación climática son la temperatura, la precipitación y en menor grado la altitud, la humedad relativa, la evaporación y el brillo solar.

Entre las metodologías existentes para realizar caracterizaciones climáticas, se encuentra la metodología propuesta por Caldas en 1802, que relaciona la altitud de la zona con la temperatura, generando 5 pisos térmicos como se puede mostrar en la tabla 14. Por otro lado, Lang en 1915 propuso una clasificación basada en la relación obtenida al dividir la precipitación anual acumulada (en mm) por la temperatura media anual (en °C); a partir de este coeficiente, denominado Índice de Lang, se obtienen 6 tipos de clima como se muestra en la tabla 15. Ninguno de los dos sistemas por si solos tiene aplicabilidad o funcionalidad aceptables, por lo cual Schaufelberguer en 1962, propuso su unificación e implemento el sistema de clasificación CALDAS-LANG; esta metodología utiliza la variación altitudinal de la temperatura, que indica los pisos térmicos y la efectividad de la precipitación que muestra la humedad, obteniendo 25 tipos de climas. La clasificación se muestra en la tabla 16.

Tabla 14. Clasificación climática de Caldas.

PISO TÉRMICO	RANGO DE ALTURA (M)	TEMPERATURA (°C)	VARIACIÓN DE ALTITUD POR CONDICIONES LOCALES
Cálido (C)	0 – 1.000	$T \geq 24$	Límite Superior ± 400
Templado (T)	1.001 – 2.000	$24 > T \geq 17.5$	Límite Superior ± 500
			Límite Inferior ± 500
Frío (F)	2.001 – 3.000	$17.5 > T \geq 12$	Límite Superior ± 400
			Límite Inferior ± 400
Páramo bajo (Pb)	3.001 – 3.700	$12 > T \geq 7$	
Páramo alto (Pa)	3.701 – 4.200	$T < 7$	

Fuente: IDEAM, 2017.

Tabla 15. Clasificación climática de Lang.

FACTOR DE LANG P/T	CLASE DE CLIMA	SÍMBOLO
0 – 20.0	Desértico	D
20.1 – 40.0	Árido	A
40.1 – 60.0	Semiárido	sa

FACTOR DE LANG P/T	CLASE DE CLIMA	SÍMBOLO
60.1 – 100.0	Semihúmedo	sh
100.1 – 160.0	Húmedo	H
Mayor a 160.1	Superhúmedo	SH

Fuente: IDEAM, 2017.

Tabla 16. Metodología de zonificación ambiental de cuencas hidrográficas.

No.	Tipo Dinámico	Símbolo
1	Cálido Superhúmedo	CSH
2	Cálido Húmedo	CH
3	Cálido Semihúmedo	Csh
4	Cálido Semiárido	Csa
5	Cálido Árido	CA
6	Cálido Desértico	CD
7	Templado Superhúmedo	TSH
8	Templado Húmedo	TH
9	Templado Semihúmedo	Tsh
10	Templado Semiárido	Tsa
11	Templado árido	TA
12	Templado Desértico	TD
13	Frío Superhúmedo	FSH
14	Frío Húmedo	FH
15	Frío Semihúmedo	Fsh
16	Frío Semiárido	Fsa
17	Frío árido	FA
18	Frío Desértico	FD
19	Páramo Bajo Superhúmedo	PBSH
20	Páramo Bajo Húmedo	PBH
21	Páramo Bajo Semihúmedo	PBsh
22	Páramo Bajo Semiárido	Pbsa
23	Páramo Alto Superhúmedo	PASH
24	Páramo Alto Húmedo	PAH

No.	Tipo Dinámico	Símbolo
25	Nieves Perpetuas	NP

Fuente: Ministerio de Ambiente, 2017.

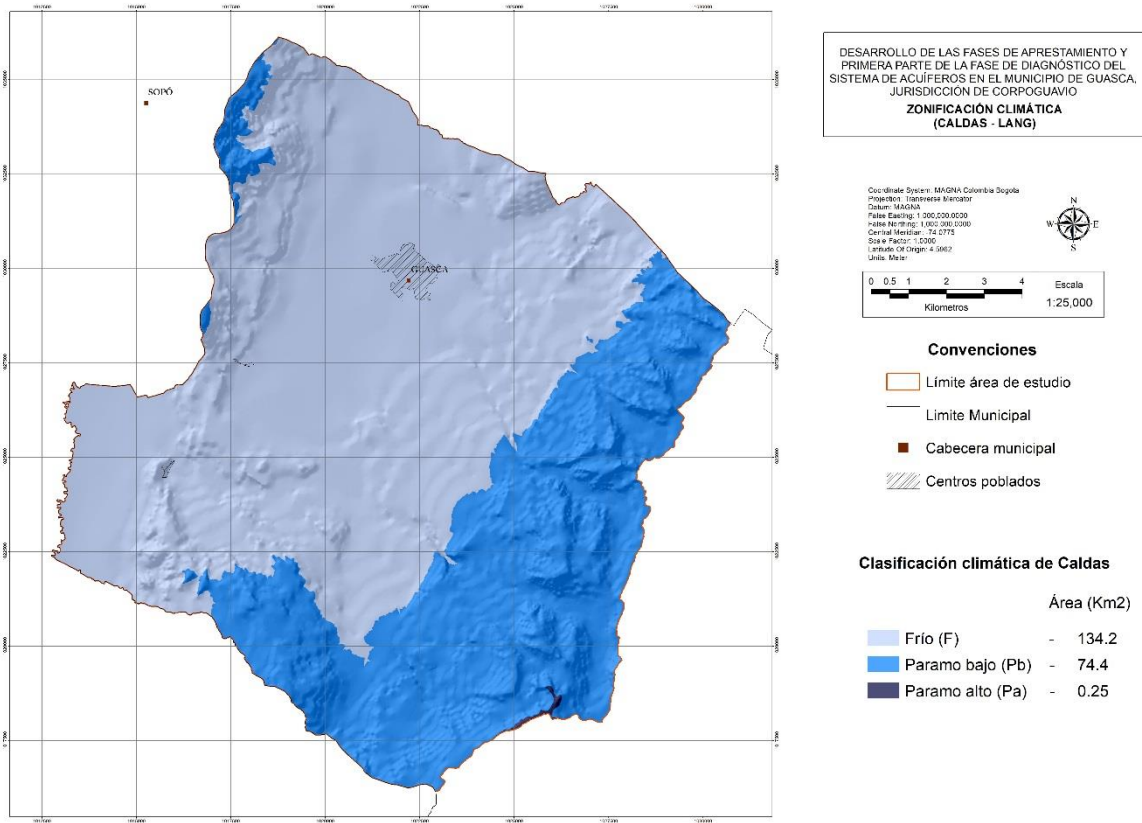
5.1. DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DEL CLIMA

A continuación, se explica brevemente el proceso de zonificación climática del área de estudio utilizando el software ArcGIS 10.3; esta se basó en el sistema de clasificación CALDAS – LANG explicado anteriormente.

Para la espacialización de los pisos térmicos según en el modelo de Caldas, se decide utilizar como variable principal los valores altitudinales de la zona, debido a que los valores de temperatura serán usados posteriormente en la clasificación climática de Lang. Para esto, se utilizó el modelo de elevación digital del terreno con una resolución de 5 metros realizado por SYSCOL generado a partir de las curvas de nivel del área de estudio suministradas por CORPOGUAVIO como parte del convenio suscrito con el IGAC en el año 2007, y se realizó una reclasificación, condicionándola de acuerdo con los rangos establecidos por Caldas para cada piso térmico. Lo anterior dio como resultado que la zona de estudio presenta pisos de tipo Frío (F), Páramo bajo (Pb) y Páramo alto (Pa), los cuales tienen áreas de 134,2, 74,24 y 0,25 m², respectivamente, como se muestra en la imagen 24

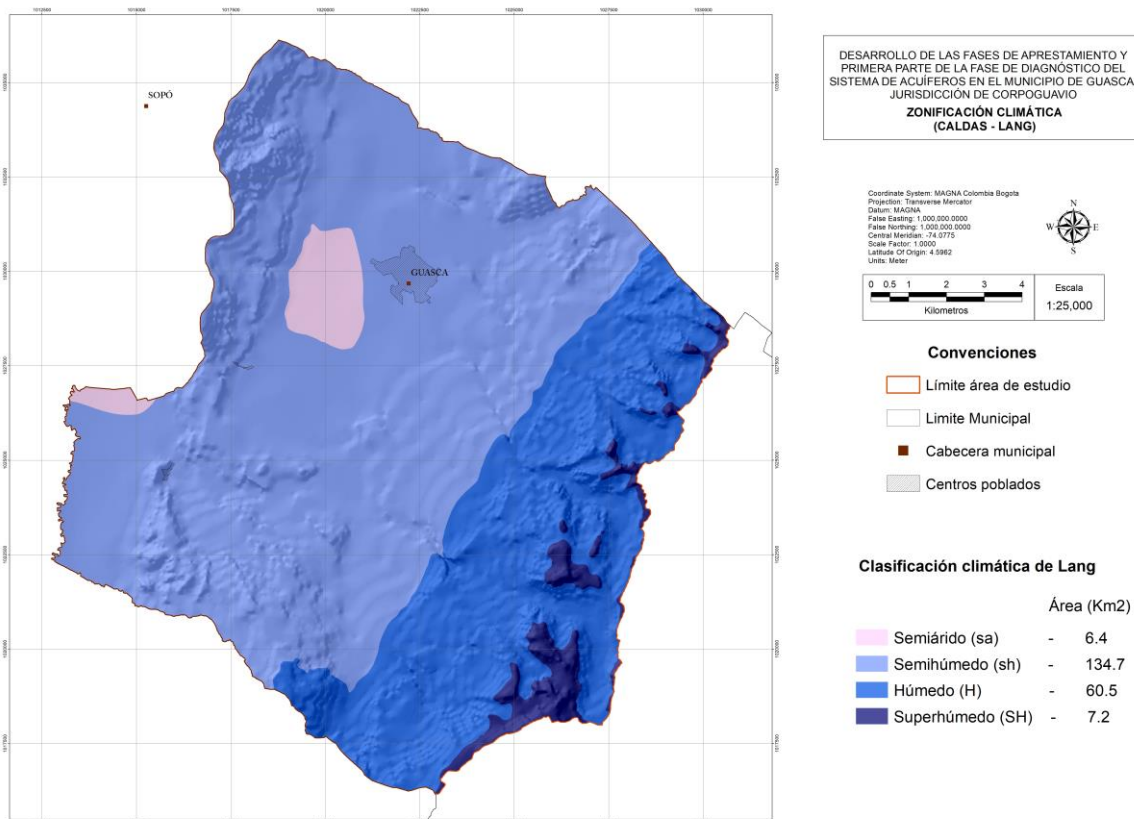
Seguidamente, con el fin de generar el mapa de clases climáticas de Lang, se realizó una división del *raster* de precipitación total anual y el *raster* de distribución de la temperatura media anual y se hace una reclasificación utilizando los rangos establecidos por Lang en su propuesta metodológica. El resultado del proceso anterior exhibe zonas con clima Semiárido (sa) de área de 6,4 km², Semihúmedo (sh) con un área de 134,7 km², clima Húmedo (H) con 60,5 km² y un clima Superhúmedo (SH) de 7,2 km², como se puede observar en la imagen 25.

Imagen 24. Clasificación climática de Caldas en el área de estudio.



Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S. 2017

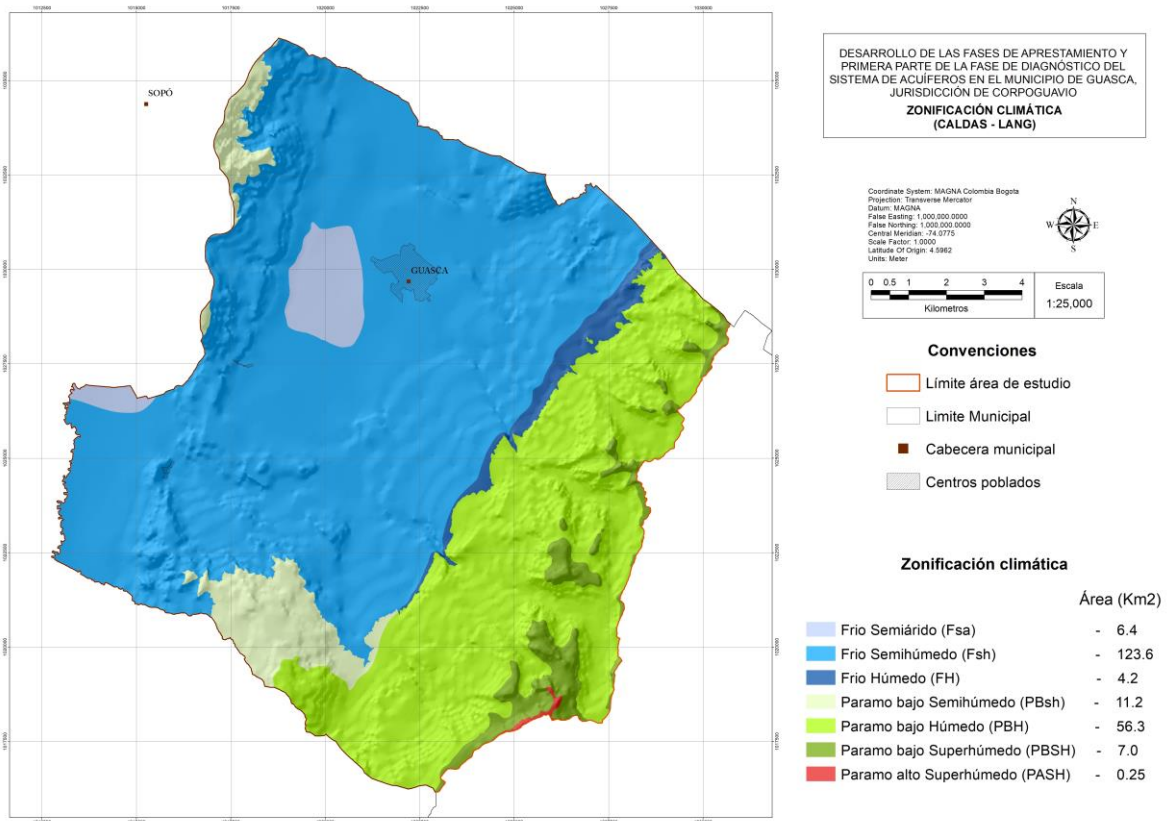
Imagen 25. Clasificación climática de Lang en el área de estudio



Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S. 2017

Finalmente, se realiza una interpolación con los mapas de pisos térmicos y clases climáticas, condicionándose de acuerdo con los parámetros dados en la tabla 16 Lo anterior da como resultado la zonificación final del área de estudio, obteniéndose 7 tipos dinámicos de clima según la clasificación de CALDAS-LANG, los cuales se muestran en la imagen 26. Los climas que prevalecen en la zona son Frío semihúmedo (Fsh) y Páramo bajo Húmedo (PBH), con 123,6 km² y 56,3 km², respectivamente; por otra parte, con menor extensión se observan los climas Páramo alto Superhúmedo (PASH) con 0,25 km² y Frío Húmedo (FH) con un área de 4,2 km²

Imagen 26. Zonificación climática CALDAS - LANG del área de estudio.



Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S. 2017

6. BALANCE HÍDRICO

El conocimiento del balance de agua en el suelo es una herramienta para definir temporadas en las que existe deficiencia o excedentes del recurso hídrico, así como sus magnitudes. Este balance se aplica sobre el suelo y difiere del balance hidrológico a largo plazo en donde la superficie de control es el suelo.

Existen varios modelos para estimar el balance de agua en el suelo; en el presente estudio se utiliza un balance que se basa en el principio de conservación de la materia, es decir, el agua que entra a un suelo es igual al agua que se almacena en el suelo más el agua que sale de mismo suelo. Las entradas están ocasionadas por la infiltración de agua hacia el suelo y las salidas están definidas por la evapotranspiración de las plantas y la descarga de los acuíferos.

Por lo tanto, para el modelo del balance de agua en el suelo para el área de estudio se tuvieron en cuenta las siguientes variables:

P: Precipitación media mensual

INT : Interceptación

Pe: Precipitación efectiva mensual

ETR : Evapotranspiración real

Pi: Infiltración

RU: Reserva útil

SUP: Superávit

DEF: Déficit

6.1. INTERCEPTACIÓN

La interceptación realizada a la precipitación se determinó a partir de la cantidad de lluvia caída mensualmente y el tipo de cobertura en el área de estudio. De acuerdo con Schosinsky y Losilla (2000)³⁶, lluvias menores de 5 mm mensuales no van a generar infiltración ya que se considera que en un mes con lluvia al menos 5 mm son retenidos por la vegetación sin llegar al suelo. Adicionalmente, se consideró que la retención de la lluvia en vegetación baja es del 12% de acuerdo con Butler

³⁶ SCHOSINSKY, Gunther, G. y LOSILLA, Marcelino. Modelo analítico para determinar la infiltración con base en la lluvia mensual. En: Revista Geológica de América Central, 2000. no. 23, p. 43-56.

(1957)³⁷ de la precipitación mensual y del 20% para bosques densos de acuerdo con (Linsley, 1958)³⁸.

Por lo tanto, para calcular la interceptación de precipitación por la vegetación se tuvieron en cuenta las siguientes condiciones:

- Si, P es menor o igual a 5 mm/mes, $INT = P$
- Si el producto de $(P)(Cfc)$ es mayor o igual a 5 mm/mes, $INT = (P)(Cfc)$
- Si P es mayor a 5 mm/mes y el producto de $(P)(Cfc)$ es menor a 5, $INT = 5$

Donde,

P : Precipitación mensual (mm/mes).

INT : Interceptación de lluvia por vegetación (mm/mes).

Cfc : Coeficiente de interceptación por vegetación³⁹.

A partir del convenio suscrito entre CORPOGUAVIO y el IGAC en el año 2007, se obtuvo el mapa de cobertura vegetal del área de estudio. Las coberturas predominantes en el área de estudio son pastos, áreas con vegetación herbácea y mosaicos de pastos y cultivos. Por lo tanto, para cada tipo de cobertura identificada el área de estudio se determinó un coeficiente de interceptación (Cfo), como se muestra en la tabla 17. La imagen 27 muestra el mapa de cobertura vegetal del área de estudio

Tabla 17. Valores de Cfo de acuerdo con el tipo de cobertura vegetal.

Cobertura vegetal	Cfo
Aguas continentales	1,0
Bosques	0,2
Cultivos anuales o transitorios	0,12
Cultivos semipermanentes o permanentes	0,12
Mosaico de pastos y cultivos	0,12
Pastos	0,12
Zonas urbanizadas	1,0
Áreas abiertas sin o con poca vegetación	0,05

³⁷ Ibid. p. 45.

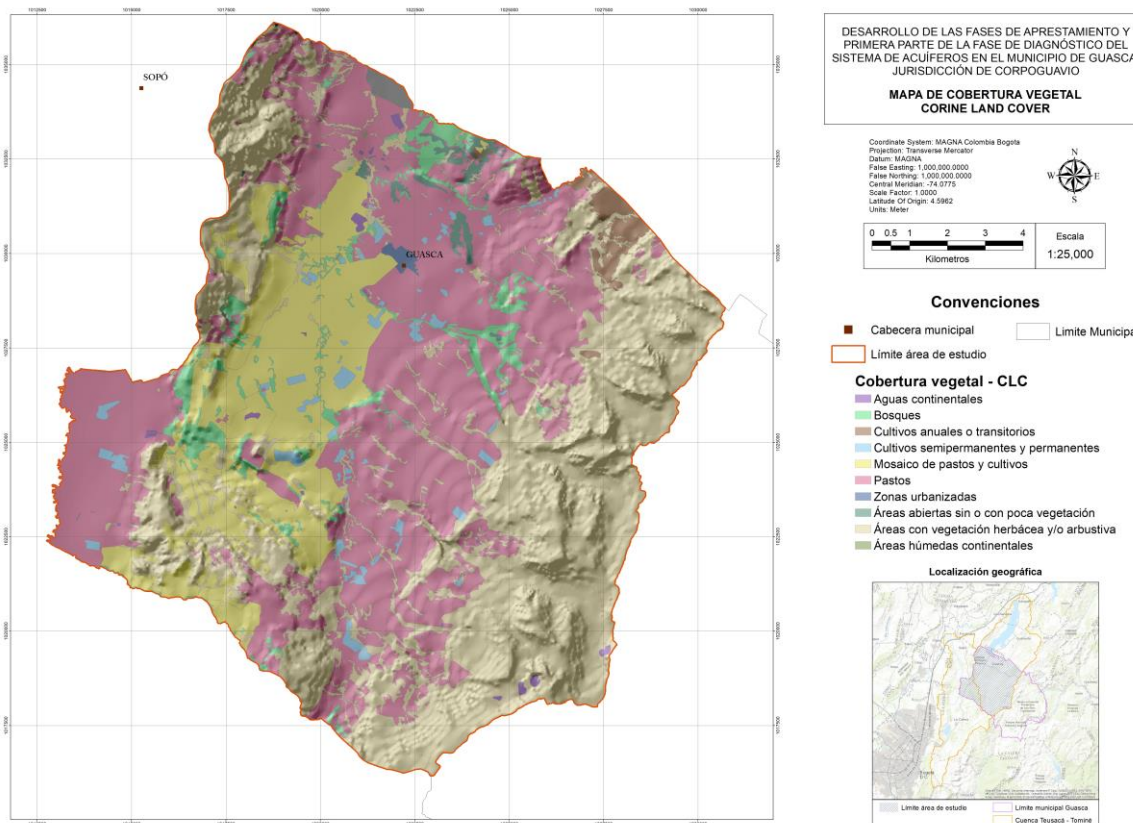
³⁸ Ibid. p. 45.

³⁹ Ibid. p. 46.

Cobertura vegetal	Cfo
Áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva	0,12
Áreas húmedas continentales	0,12

Fuente: Schosinsky y Losilla (2000).

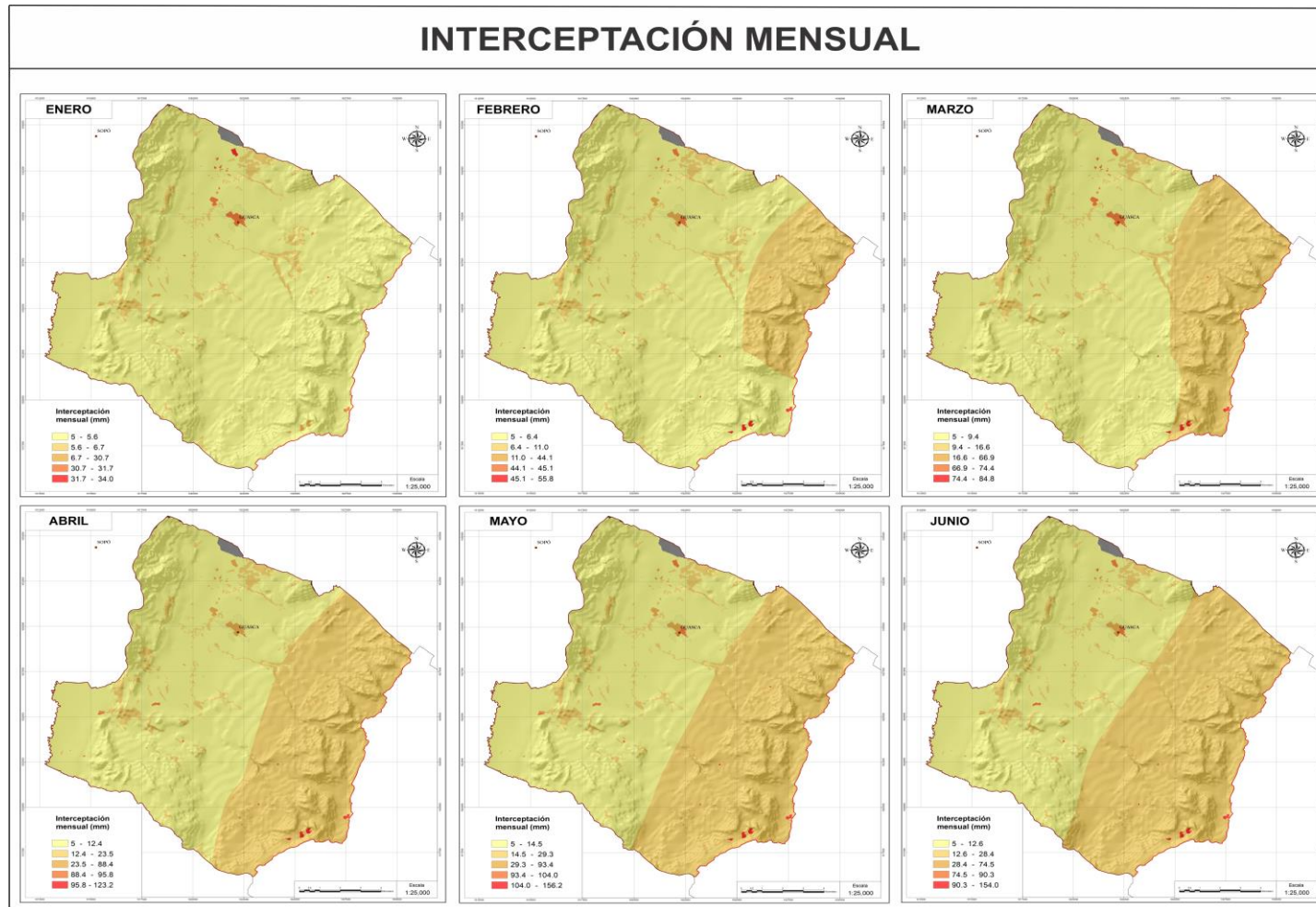
Imagen 27. Mapa de Cobertura vegetal del área de estudio.



Fuente: CORPOGUAVIO, 2015.

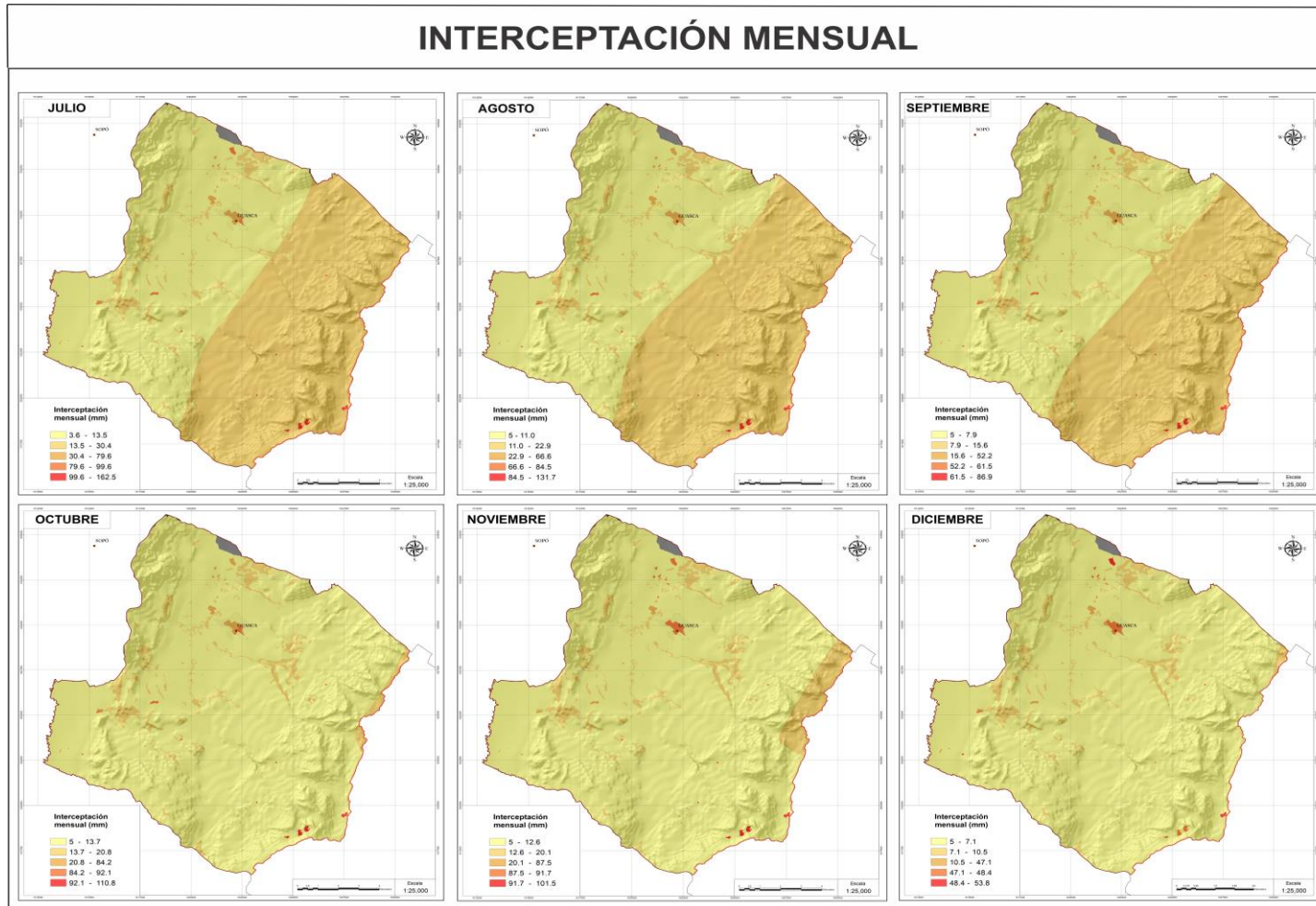
Las imágenes 31 y 32 muestran la interceptación de precipitación mensual por la vegetación basado en el mapa de cobertura vegetal del área de estudio y sus respectivos valores Cfo.

Imagen 28. Interceptación mensual en el área de estudio (enero - junio).



Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S. 2017

Imagen 29. Interceptación mensual en el área de estudio (julio - diciembre).



Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S. 2017

6.2. INFILTRACIÓN

El cálculo de precipitación que se infiltra mensualmente está sujeto a la precipitación mensual, la interceptación por la vegetación y coeficiente de infiltración, dada por la siguiente ecuación:

$$P_i = (C_i)(P - INT)$$

Donde,

P_i : Precipitación que se infiltra mensualmente (mm).

C_i : Coeficiente de infiltración.

El cálculo del coeficiente de infiltración (C_i) está sujeto a la textura del suelo, pendiente del terreno y cobertura vegetal⁴⁰.

6.2.1. Textura del suelo (K_{fc})

El coeficiente K_{fc} de acuerdo con la permeabilidad del suelo puede ser calculado de acuerdo con la siguiente ecuación (Schosinsky y Losilla, 2000)⁴¹:

$$K_{fc} = 0.267 \ln(fc) - 0.000154fc - 0.723 \quad \text{Si } fc \text{ se encuentra entre 16 y 1.568 mm/día.}$$

$$K_{fc} = 0,0148fc/16 \quad \text{Si } fc \text{ es menor a 16 mm/día.}$$

$$K_{fc} = 1 \quad \text{Si } fc \text{ es mayor a 1.568 mm/día}^{42}.$$

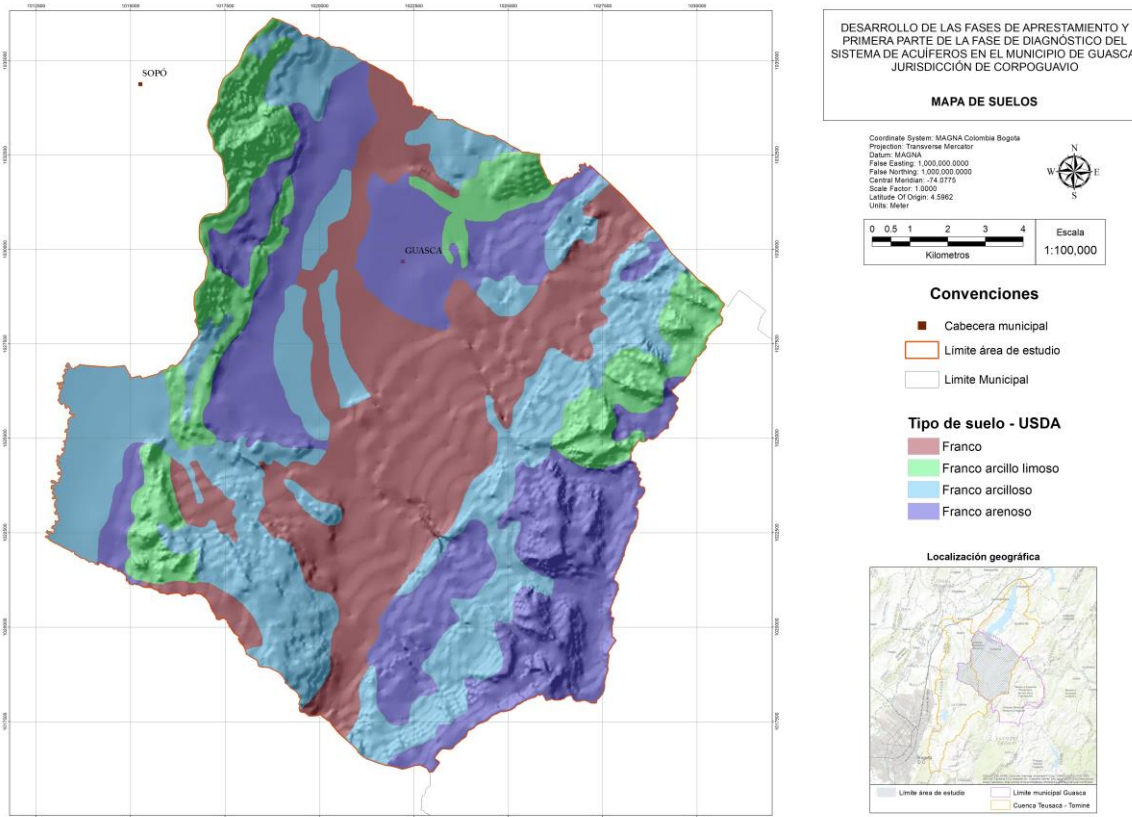
A partir del **ESTUDIO GENERAL DE SUELOS Y ZONIFICACIÓN DE TIERRAS DEL DEPARTAMENTO DE CUNDINAMARCA** realizado por Instituto Geográfico Agustín Codazzi – Subdirección de Agrología en el año 2.000 se determinó la textura de horizonte A (primeros 50 cm de profundidad), asumiendo que este es el espesor que se encuentra en contacto directo con el agua lluvia. Los suelos predominantes en el área de estudio de acuerdo con la clasificación de las propiedades de suelos a partir del tipo de textura son: franco, franco arcilloso, franco arenoso y franco arcillo limosa, como se observa en la imagen 30.

⁴⁰ Ibid. p. 45.

⁴¹ Ibid. p. 45

⁴² SCHOSINSKY, N., GUNTHER. Cálculo de la recarga potencial de acuíferos mediante un balance hídrico de suelos. En: *Revista Geológica de América Central*, 2006, no 34-35., p. 13 – 30.

Imagen 30. Mapa de tipo de suelo del área de estudio.



Fuente: IGAC, 2000.

Los valores sugeridos para f_c de acuerdo con el tipo de suelo fueron determinados de acuerdo con los propuestos por la USDA (*United States Department of Agriculture*)⁴³, como se observa en la tabla 18.

Tabla 18. Valores de f_c , CC, PMP de acuerdo al tipo de suelo.

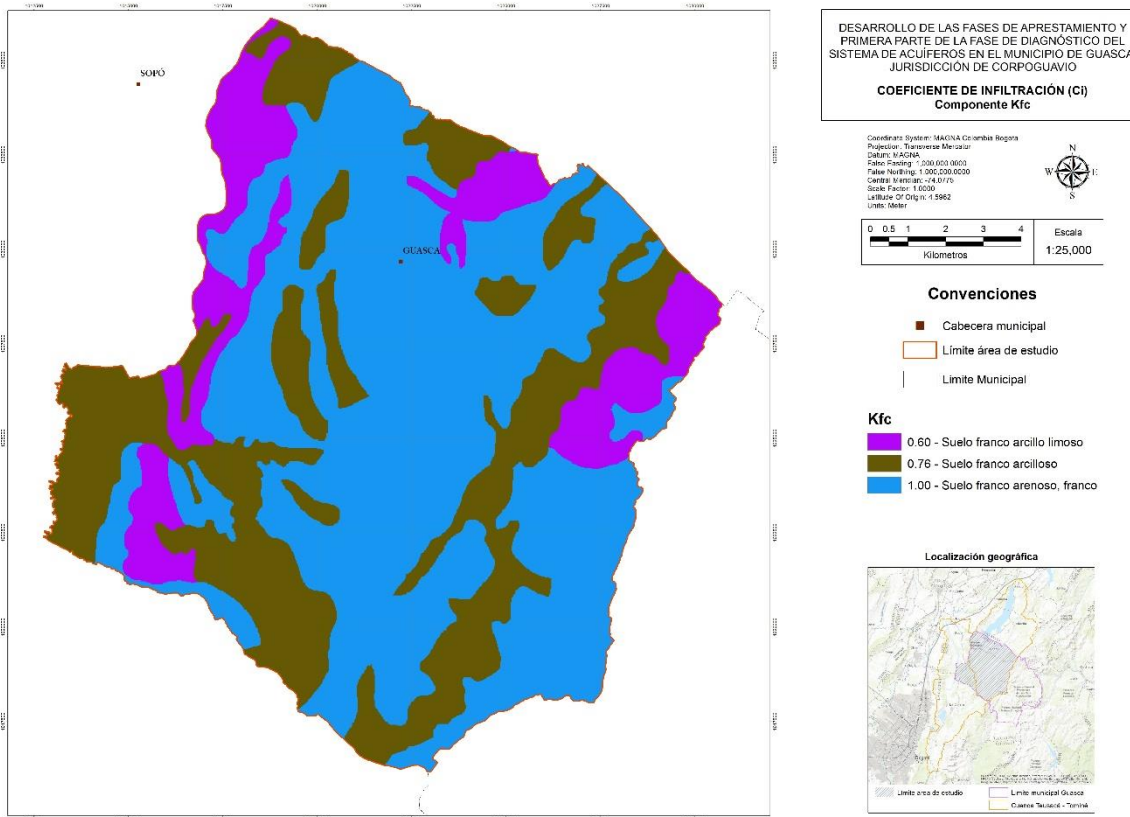
Tipo de suelo	CC	PMP	f_c (mm/día)
Franco	0,307	0,180	1.642
Franco arenoso	0,190	0,085	2,333
Franco arcilloso	0,373	0,266	311
Franco arcillo limoso	0,393	0,277	164

Fuente: *United States Department of Agriculture (USDA)*, 2017.

⁴³ UNITED STATES DEPARTMENT OF GRICULTURE. Claves para la taxonomía de suelos. 12 ed. Montecillo: Servicio de Conservación de Recursos Naturales, 2014. 410 p.

La imagen 31 muestra la distribución espacial del coeficiente (K_{fc}) de acuerdo a la permeabilidad del suelo en el área de estudio.

Imagen 31. Coeficiente K_{fc} de acuerdo con el tipo de suelo en el área de estudio.



Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S. 2017

6.2.2. Pendiente de terreno (K_p)

A partir de un modelo de elevación digital del terreno con una resolución de 12,5 metros del área de estudio se determinó la distribución espacial de las pendientes del terreno. Los valores sugeridos para (K_p) de acuerdo con la pendiente del terreno para determinar el coeficiente de infiltración (C_i) fueron determinados de acuerdo a los propuestos por Schosinsky y Losilla (2000)⁴⁴, como se observa en la tabla 19.

Tabla 19. Valores de K_p de acuerdo con la pendiente del terreno.

Pendiente del terreno (K_p)		
Tipo	Pendiente	K_p
Muy plana	0,02% – 0,06%	0,30

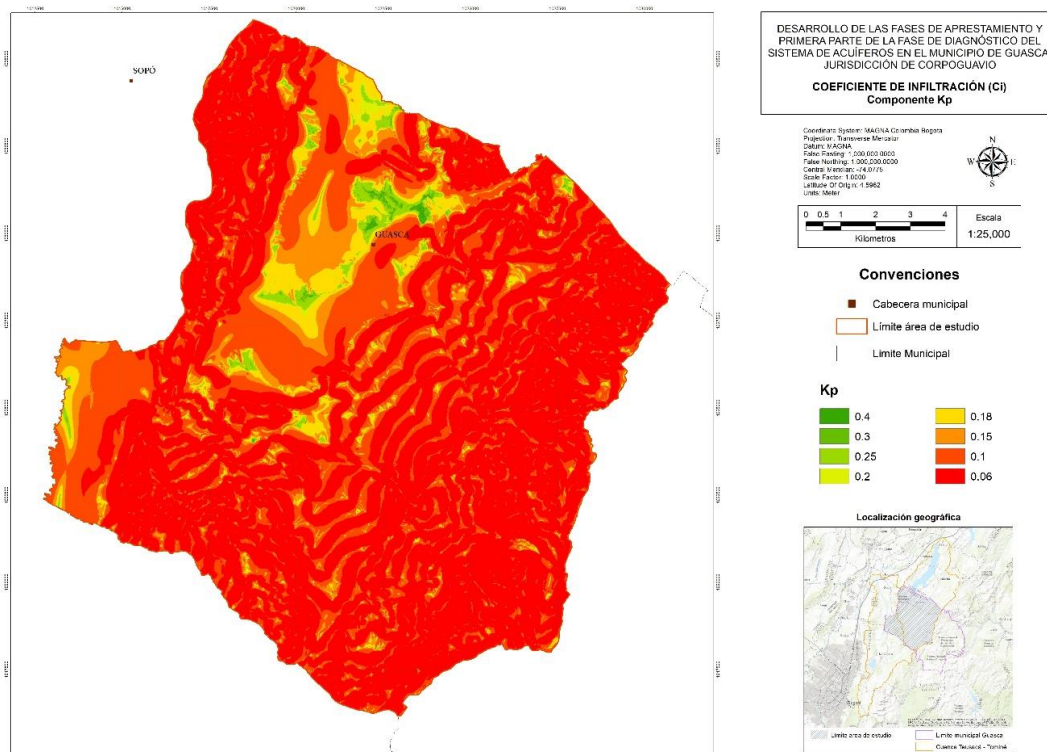
⁴⁴ SCHOSINSKY, Gunther, G. y LOSILLA. Op.Cit., p. 46.

Plana	0,3% - 0,4%	0,20
Algo plana	1% - 2%	0,15
Promedio	2% - 7%	0,10
Fuerte	>7%	0,06

Fuente: Schosinsky y Losilla, 2000.

La imagen 32 muestra la distribución espacial del coeficiente (Kp) de acuerdo a la pendiente del terreno en el área de estudio.

Imagen 32. Coeficiente Kp de acuerdo con la pendiente del terreno en el área de estudio.



Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S. 2017

6.2.3. Cobertura vegetal (Kv)

A partir de información suministrada por CORPOGUAVIO se determinó la cobertura vegetal del área de estudio. Los valores sugeridos para (Kv) de acuerdo con la cobertura vegetal para determinar el coeficiente de infiltración (Ci) fueron determinados de acuerdo a los propuestos por Schosinsky y Losilla (2000)⁴⁵, como se observa en la tabla 20.

⁴⁵ Ibid p.46.

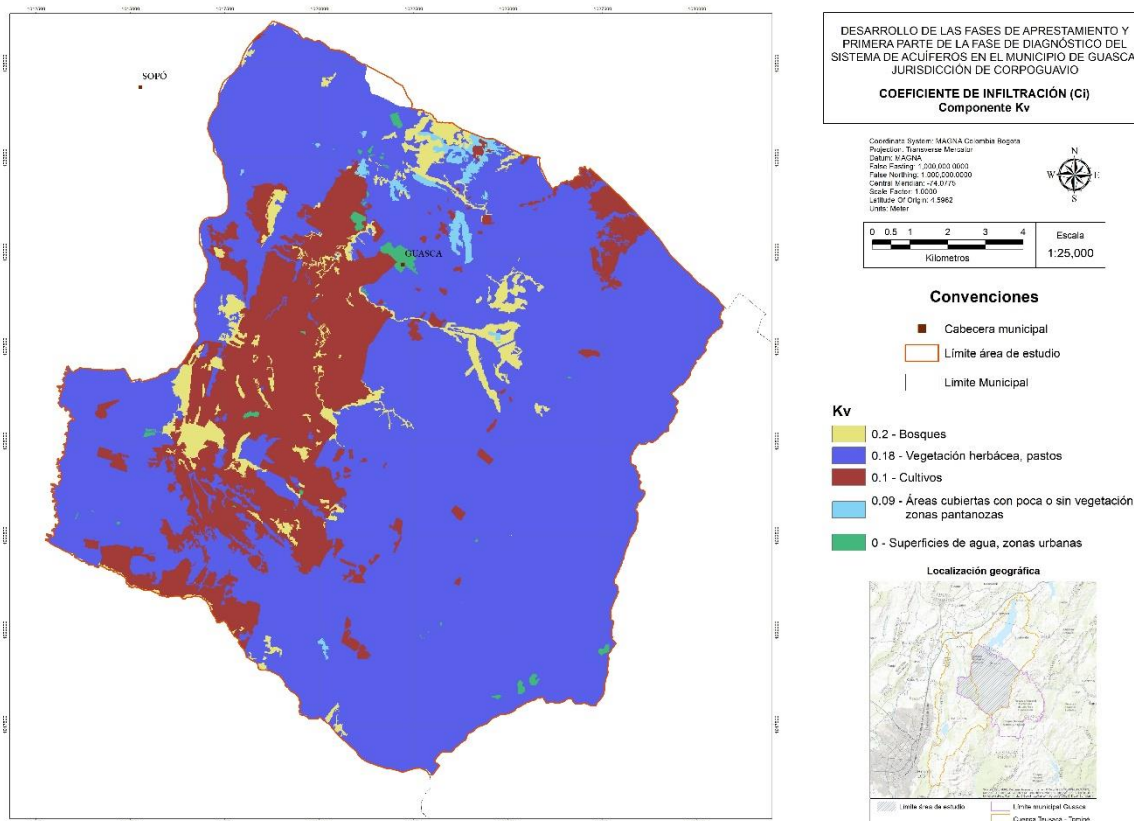
Tabla 20. Valores de Kv de acuerdo con la cobertura vegetal.

Cobertura vegetal (Kv)	
Cobertura vegetal	Kv
Cobertura con vegetación <50%	0,09
Terrenos cultivados	0,10
Cobertura con pastos	0,18
Bosques	0,20
Cobertura con vegetación >50%	0,21

Fuente: Schosinsky y Losilla, 2000.

La imagen 33 muestra la distribución espacial del coeficiente Kv de acuerdo con la cobertura del suelo en el área de estudio.

Imagen 33. Coeficiente Kv de acuerdo con la cobertura del suelo en el área de estudio.



Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S. 2017

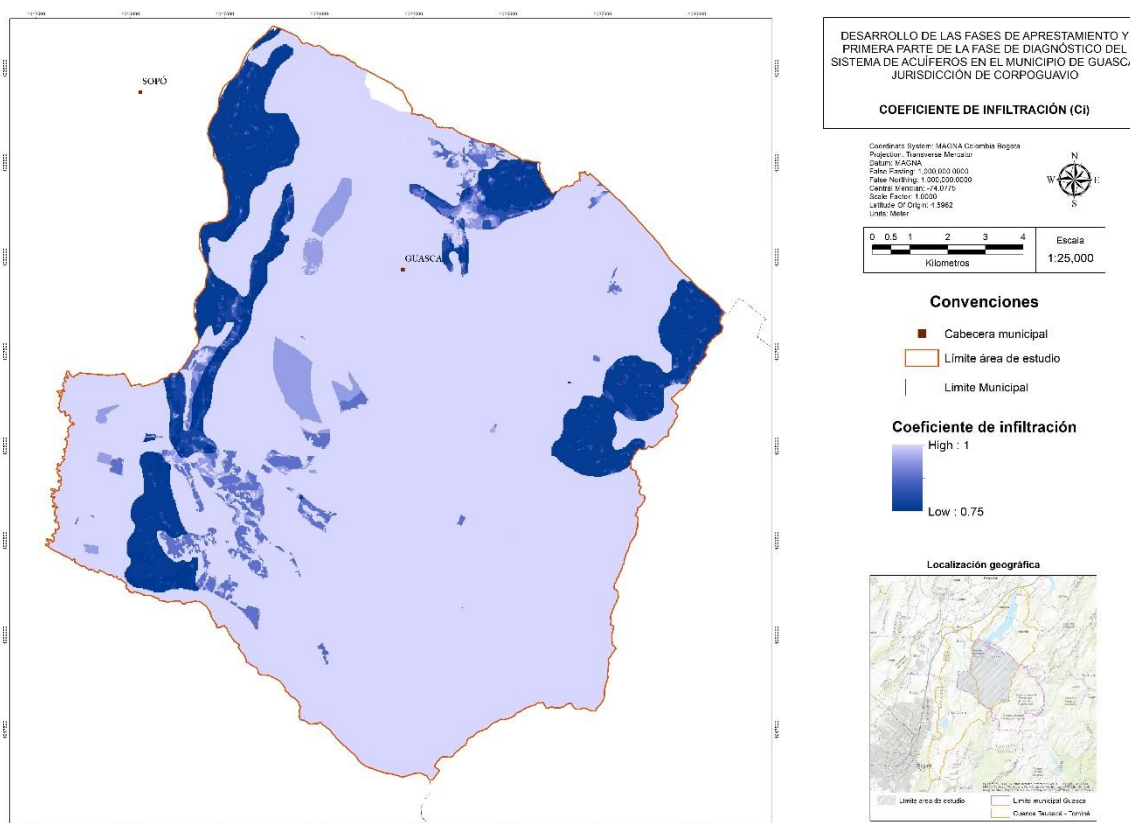
Los coeficientes textura del suelo (Kfc), pendiente de terreno (Kp) y cobertura vegetal (Kv) son utilizados para el cálculo de coeficiente de infiltración (Ci) mediante la siguiente ecuación (ONU, 1972)⁴⁶:

Si, ($Kfc + Kp + Kv$) es mayor a 1, ($Ci = 1$)

Si, ($Kfc + Kp + Kv$) es menor o igual a 1, entonces $Ci = Kfc + Kp + Kv$ ⁴⁷

La imagen 34 muestra la distribución espacial del coeficiente de infiltración (Ci) del área de estudio.

Imagen 34. Coeficiente de infiltración (Ci) del área de estudio.



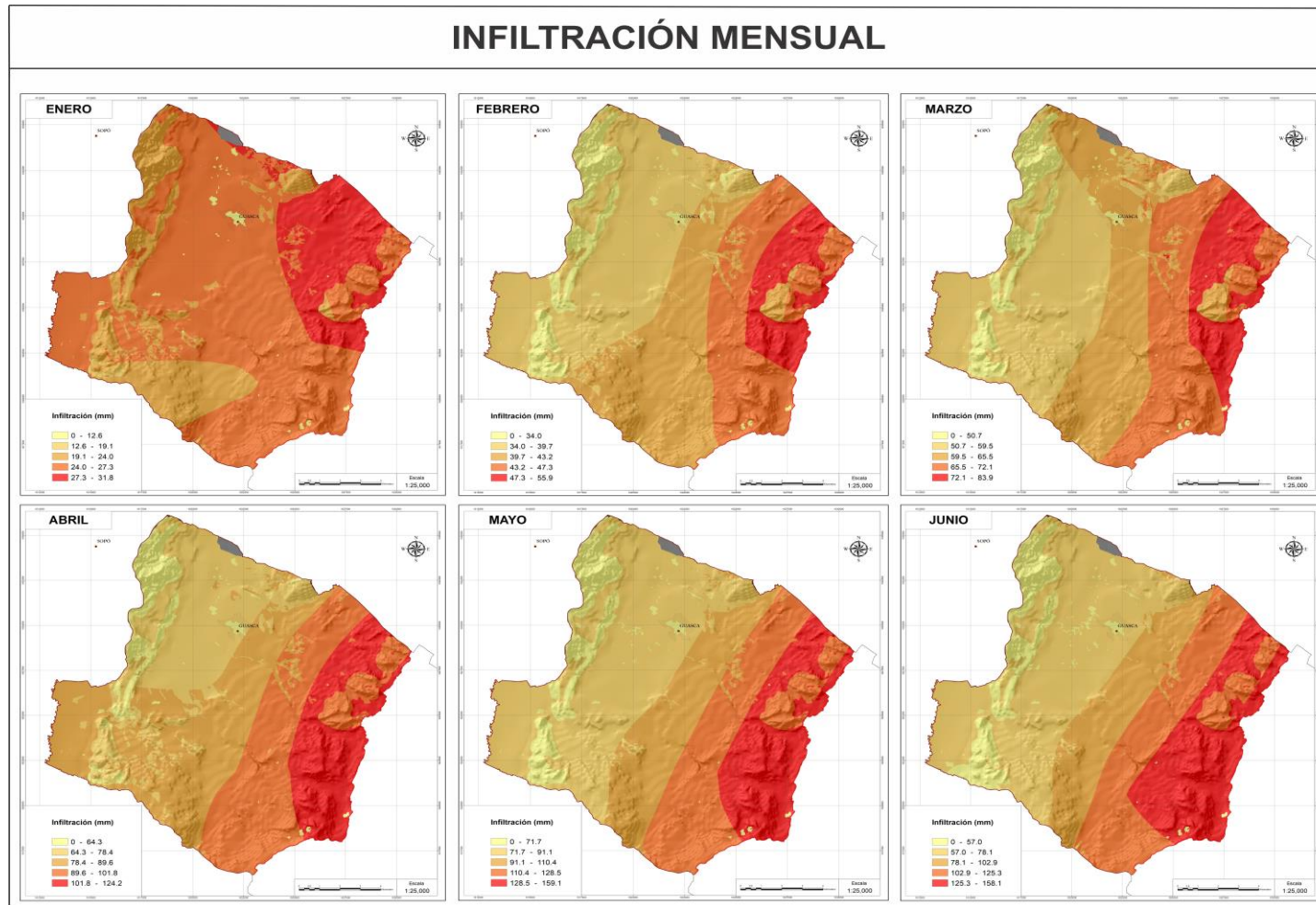
Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S. 2017

Las imágenes 33 y 34 muestran la infiltración mensual del área de estudio.

⁴⁶ ONU. Manual de instrucciones, estudios hidrológicos. En: ONU Publ. No 70. San José, Costa Rica 1972, p. 540

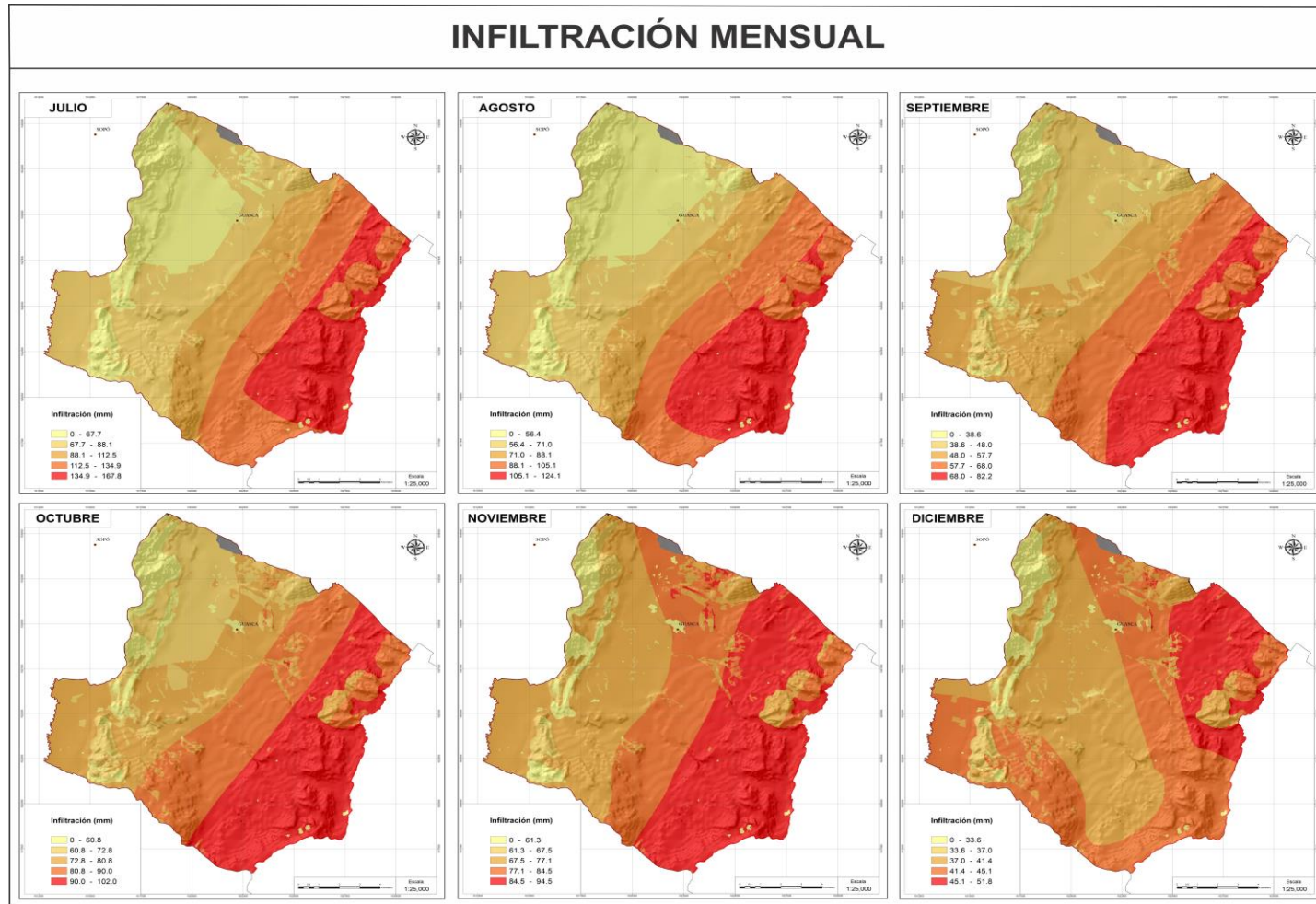
⁴⁷ SCHOSINSKY, N., GUNTHER. Op. Cit., p.15.

Imagen 35. Infiltración mensual en el área de estudio (enero - junio).



Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S. 2017

Imagen 36. Infiltración mensual en el área de estudio (julio - diciembre).



Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S. 2017

6.3. EVAPOTRANSPIRACIÓN REAL.

A partir del cálculo de la evapotranspiración potencial (ETP) se calculó la evapotranspiración real (ETR), de la siguiente manera:

- Si un mes $P \geq ETP$, entonces $ETR = ETP$.
- Si $P < ETP$, entonces $ETR = P_i +$ parte de RU , hasta que la suma de ambos sea $P \geq ETP$. Pero: Si no hay suficiente RU para alcanzar el valor de la ETP , entonces $ETR < ETP$ y la diferencia se llama déficit de agua en el suelo (DEF). DEF no se acumula para el mes siguiente; su relevancia es agronómica ya que afecta el crecimiento de las plantas.
- Si la $RU = 0$, entonces $ETR = P$.⁴⁸

6.4. RESERVA UTIL (RU), SUPERAVIT (SUP) Y DEFICIT (DEF)

La reserva útil (RU) es el volumen de agua útil que puede retener un suelo/unidad de superficie y hasta la profundidad desde la que el agua puede ascender por capilaridad. El valor de RU depende de la textura del suelo. Los tipos de suelo predominantes en el área de estudio corresponden a suelos franco, franco arcilloso, franco arenoso y franco arcillo limoso, por lo tanto, el valor RU dependerá de su capacidad de campo (CC) y punto de marchites permanente (PMP). Adicionalmente, se tuvo en cuenta la profundidad de las raíces de acuerdo al mapa de cobertura vegetal del área de estudio obtenido a partir del convenio suscrito entre CORPOGUAVIO y el IGAC en el año 2007, donde se determinaron para cada tipo de suelo el promedio de la profundidad de las raíces para las diferentes coberturas identificadas. La tabla 21 muestra la profundidad de las raíces de determinadas para las diferentes coberturas identificadas en el área de estudio. Por lo tanto, el valor de RU se toma al inicio del año hidrológico (enero) igual a cero, ya que coincide con el fin de la época seca y el RU dependerá del tipo de suelo, siendo el RU máximo de 119,18 mm para los suelos franco, 80,25 mm para suelos franco-arcillosos, 73,5 mm para suelos franco arenoso y 76,56 mm para suelos franco arcillo limosa.

Por lo tanto, si un mes $P - (ETR + \Delta RU) > 0$, la fracción de P sobrante se llama superávit (SUP), el cual equivale al agua que sobrepasa el alcance de las raíces. Una parte del SUP descargará a los ríos de forma más o menos diferida y el resto se convertirá en recarga al acuífero. Según Thornthwaite, aproximadamente la

⁴⁸ MANZANO, Marisol. Cálculo de balance hídrico del suelo mediante el método de Thornthwaite. [En línea]. [Cartagena, Murcia, España], oct. 2008 [citado 20 jul., 2017]. Disponible en Internet: <http://www.upct.es/~minaees/hidrogeologia_1.pdf>

mitad del superávit (*SUP*) que se produce en un mes concreto descargará a los ríos de forma más o menos rápida, y la otra mitad queda en zona no saturada disponible para seguir descargando a los cauces o convertirse en recarga en los meses siguientes⁴⁹. Por lo tanto, si en un mes $P_i - (ETR + \Delta RU) < 0$, se llama déficit (*DEF*) al volumen que falta para cubrir las necesidades potenciales de agua (evapotranspirar).

Tabla 21. Profundidad de las raíces de determinadas para las diferentes coberturas identificadas en el área de estudio.

Profundidad de las raíces	Metros
Bosques	2,5
Cultivos anuales o transitorios	0,6
Cultivos semipermanentes o permanentes	0,6
Mosaico de pastos y cultivos	0,8
Pastos	1,0
Áreas abiertas sin o con poca vegetación	0,3
Áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva	0,4
Áreas húmedas continentales	0,4

Fuente: Grassi, 1976

De la tabla 22 a la tabla 25 se muestra el balance hídrico para los cuatro diferentes tipos de suelo presentes en el área de estudio. De acuerdo con los resultados se puede determinar que el valor de ETR y ETP se encuentran muy distantes durante los primeros meses del año (enero – marzo), lo cual general un déficit de agua en el suelo siendo los suelos franco arcilloso y franco los que mayor déficit presenta debido a que la reserva útil de estos suelos, son mayores. Sin embargo, a partir del mes de abril donde incrementan las precipitaciones en el área de estudio el déficit tiendo a cero por lo cual ETR incrementa considerablemente acercándose a los valores de ETP calculados, sin embargo, el superávit de agua en suelo solo inicia a producirse en el mes de junio y en los suelos franco arcilloso y franco arcillo limoso donde la reserva útil es menor.

⁴⁹ Ibid. p. 240.

Tabla 22. Balance hídrico del suelo – Suelo franco arcilloso.

MES	P (mm)	ETP (mm)	RU (mm)	ETR (mm)	SUP (mm)	DEF (mm)
Enero	31,05	83,75	0,00	31,05	0,00	52,70
Febrero	47,41	78,59	0,00	47,41	0,00	31,18
Marzo	71,74	88,08	0,00	71,74	0,00	16,34
Abril	100,17	86,49	13,68	86,49	0,00	0,00
Mayo	114,66	89,74	38,60	89,74	0,00	0,00
Junio	102,26	84,08	56,78	84,08	0,00	0,00
Julio	111,83	83,33	80,25	83,33	5,03	0,00
Agosto	89,69	84,35	80,25	84,35	5,34	0,00
Septiembre	64,79	82,60	62,44	82,60	0,00	0,00
Octubre	94,43	85,74	71,13	85,74	0,00	0,00
Noviembre	91,75	82,95	79,93	82,95	0,00	0,00
Diciembre	48,75	84,10	44,58	84,10	0,00	0,00

Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S. 2017

Tabla 23. Balance hídrico del suelo – Suelo franco.

MES	P (mm)	ETP (mm)	RU (mm)	ETR (mm)	SUP (mm)	DEF (mm)
Enero	30,95	88,44	0,00	30,95	0,00	57,49
Febrero	47,16	82,98	0,00	47,16	0,00	35,82
Marzo	71,40	93,00	0,00	71,40	0,00	21,60
Abril	98,56	91,32	7,24	91,32	0,00	0,00
Mayo	114,61	94,74	27,11	94,74	0,00	0,00
Junio	103,45	88,77	41,79	88,77	0,00	0,00
Julio	111,15	87,99	64,95	87,99	0,00	0,00
Agosto	90,40	89,07	66,28	89,07	0,00	0,00
Septiembre	63,85	87,21	42,92	87,21	0,00	0,00
Octubre	94,15	90,53	46,54	90,53	0,00	0,00
Noviembre	92,19	87,58	51,15	87,58	0,00	0,00
Diciembre	47,90	88,79	10,26	88,79	0,00	0,00

Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S. 2017

Tabla 24. Balance hídrico del suelo – Suelo franco arenoso.

MES	P (mm)	ETP (mm)	RU (mm)	ETR (mm)	SUP (mm)	DEF (mm)
Enero	31,25	75,03	0,00	31,25	0,00	43,78
Febrero	48,36	70,30	0,00	48,36	0,00	21,94
Marzo	74,20	78,75	0,00	74,20	0,00	4,55
Abril	103,52	77,37	26,15	77,37	0,00	0,00
Mayo	123,64	80,37	69,42	80,37	0,00	0,00
Junio	114,54	75,40	73,50	75,40	35,06	0,00
Julio	122,43	74,76	73,50	74,76	47,67	0,00
Agosto	97,71	75,64	73,50	75,64	22,07	0,00
Septiembre	68,23	74,04	67,69	74,04	0,00	0,00
Octubre	96,90	76,77	73,50	76,77	14,32	0,00
Noviembre	94,65	74,28	73,50	74,28	20,37	0,00
Diciembre	48,37	75,38	46,49	75,38	0,00	0,00

Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S. 2017

Tabla 25. Balance hídrico del suelo – Suelo franco arcillo limoso.

MES	P (mm)	ETP (mm)	RU (mm)	ETR (mm)	SUP (mm)	DEF (mm)
Enero	32,19	75,80	0,00	32,19	0,00	43,61
Febrero	48,70	70,99	0,00	48,70	0,00	22,29
Marzo	74,05	79,50	0,00	74,05	0,00	5,45
Abril	100,03	78,13	21,90	78,13	0,00	0,00
Mayo	114,50	81,17	55,23	81,17	0,00	0,00
Junio	100,15	76,20	76,56	76,20	2,62	0,00
Julio	107,47	75,57	76,56	75,57	31,90	0,00
Agosto	83,25	76,44	76,56	76,44	6,81	0,00
Septiembre	62,05	74,81	63,80	74,81	0,00	0,00
Octubre	91,11	77,55	76,56	77,55	0,80	0,00
Noviembre	91,07	75,03	76,56	75,03	16,04	0,00
Diciembre	49,92	76,17	50,31	76,17	0,00	0,00

Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S. 2017

7. RECARGA POTENCIAL

7.1. MÉTODOS EMPÍRICOS

En áreas donde no existe suficiente información de variables hidrológicas, de suelo y otras necesarias para estimar la recarga, se aplican métodos empíricos basadas en correlaciones entre recarga y precipitación entre los que se encuentran⁵⁰:

7.1.1. Cheeturvedi

El cálculo de la recarga potencial de acuerdo con la metodología propuesta por Cheeturvedi (Sinha y Sharma, 1988) se determinó mediante la siguiente ecuación:

$$r = 1,35(P - 0,14)^{0,5}$$

Donde,

r : Recarga (pulg/año)

P : Precipitación (pulg/año)

La recarga potencial media anual del área de estudio mediante el método de Cheeturvedi (Sinha y Sharma, 1988) es de 6,64 pulg/año. La imagen 37 muestra la distribución espacial de la recarga en el área de estudio⁵¹.

7.1.2. Sehgal

El cálculo de la recarga potencial de acuerdo a la metodología propuesta por Sehgal (1973) se determinó mediante la siguiente ecuación:

$$r = 2,5(P - 16)^{0,5}$$

Donde,

r : Recarga (pulg/año)

P : Precipitación (pulg/año)

⁵⁰ MINAMBIENTE. Guía Metodológica para la Formulación de Planes de Manejo Ambiental de Acuíferos. Bogotá D.C: Imprenta Nacional de Colombia, 2014. 88 p. ISBN: 978-958-8491-83-7.

⁵¹ Ibid. p. 37.

La recarga potencial media anual del área de estudio mediante el método de Sehgal (1973) es de 11,76 pulg/año. La imagen 38 muestra la distribución espacial de la recarga en el área de estudio⁵².

7.1.3. Turc

El cálculo de la recarga potencial de acuerdo a la metodología propuesta por Turc (1954) se determinó mediante la siguiente ecuación:

$$r = P \left[1 - \left(0,9 + \frac{P^2}{L^2} \right)^{-0,5} \right]$$

$$L = 300 + 25T + 0,05T^2$$

Donde,

r : Recarga (mm/año)

P : Precipitación (mm/año)

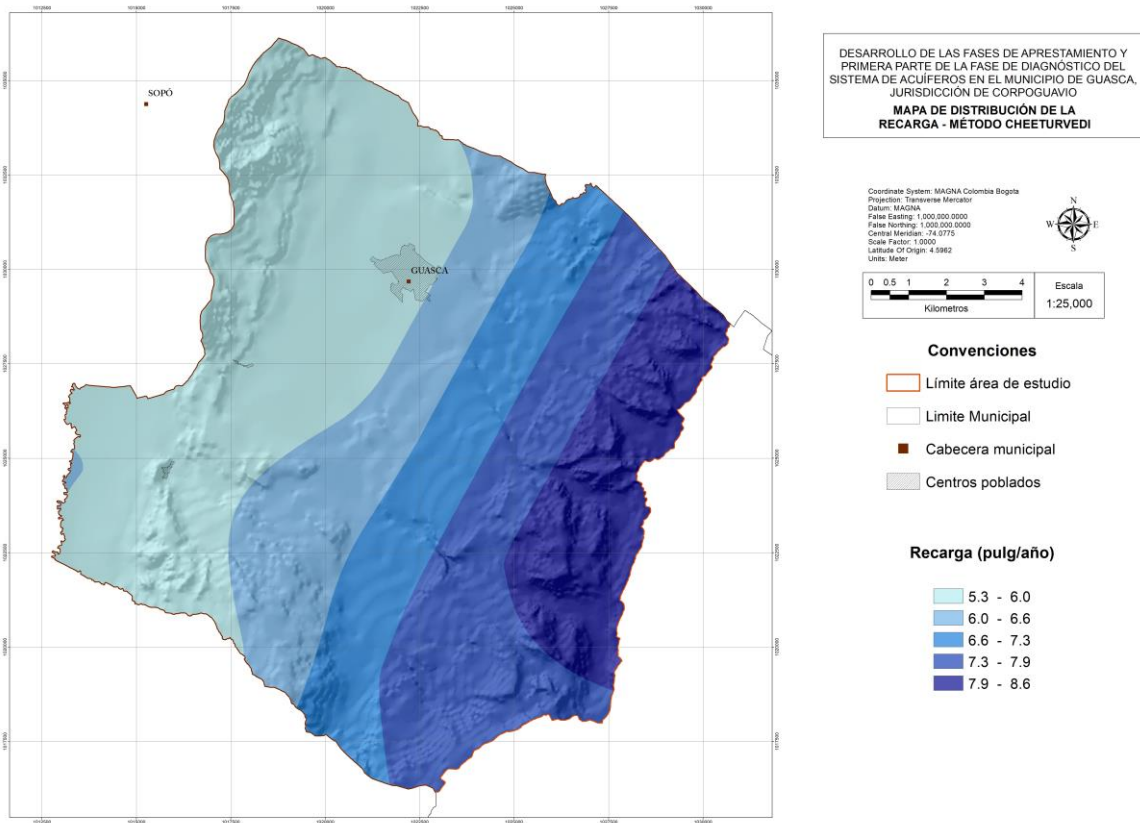
T : Temperatura media anual (°C)

La recarga potencial media anual del área de estudio mediante el método de Turc (1954) es de 479,15 mm/año. La imagen 39 muestra la distribución espacial de la recarga en el área de estudio⁵³.

⁵² Ibid. p. 37.

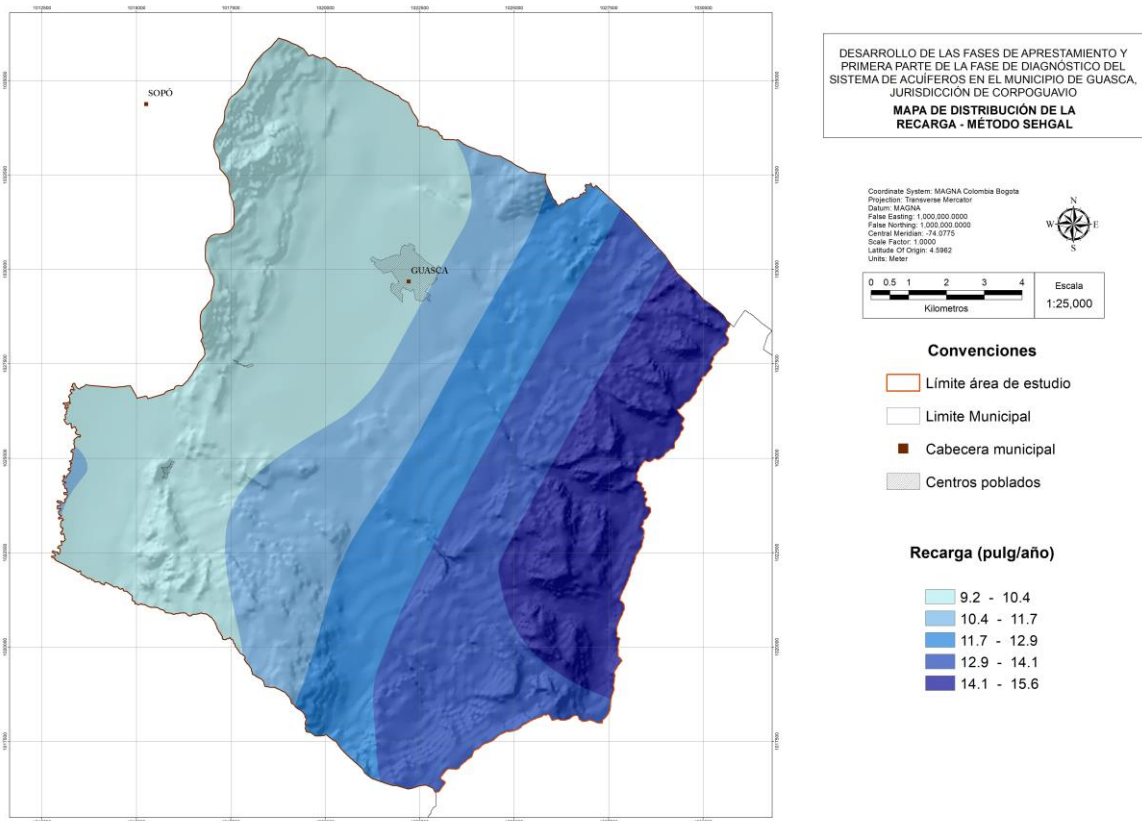
⁵³ Ibid. p. 37.

Imagen 37. Recarga potencial método de Cheeturvedi en el área de estudio.



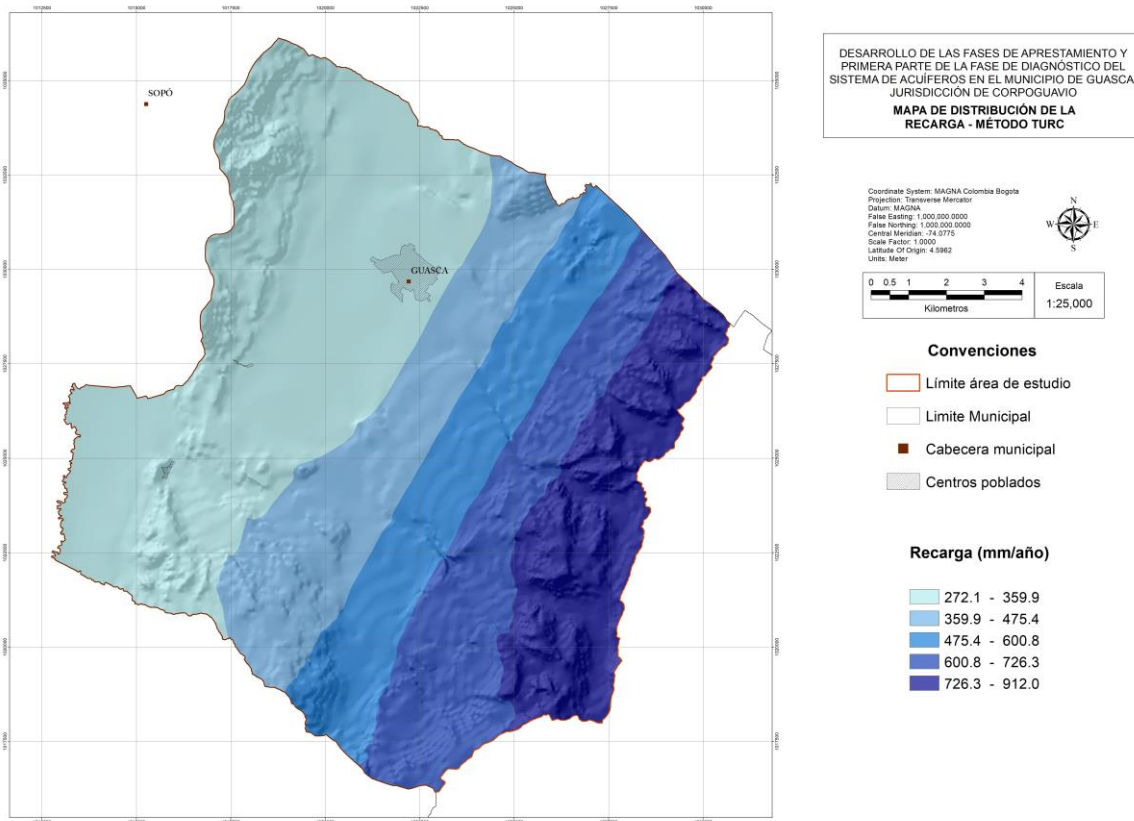
Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S. 2017

Imagen 38. Recarga potencial método de Sehgal en el área de estudio.



Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S. 2017

Imagen 39. Recarga potencial método de Turc en el área de estudio.



Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S. 2017

7.2. MÉTODO BALANCE HÍDRICO MENSUAL DE HUMEDAD DEL SUELO

La recarga potencial del acuífero ocurrirá si la cantidad de agua que se infiltra es suficiente para llevar al suelo a alcanzar su reserva útil (RU) y además satisfacer la evapotranspiración de las plantas. Por lo tanto, el agua sobrante, una vez alcanzada la RU y la evapotranspiración, es la que recarga el acuífero, la cual se puede calcular por la siguiente ecuación:

$$r = P_i + RU_i - RU_f - ETR$$

Donde,

r : Recarga (mm/año)

P_i : Infiltración (mm/año)

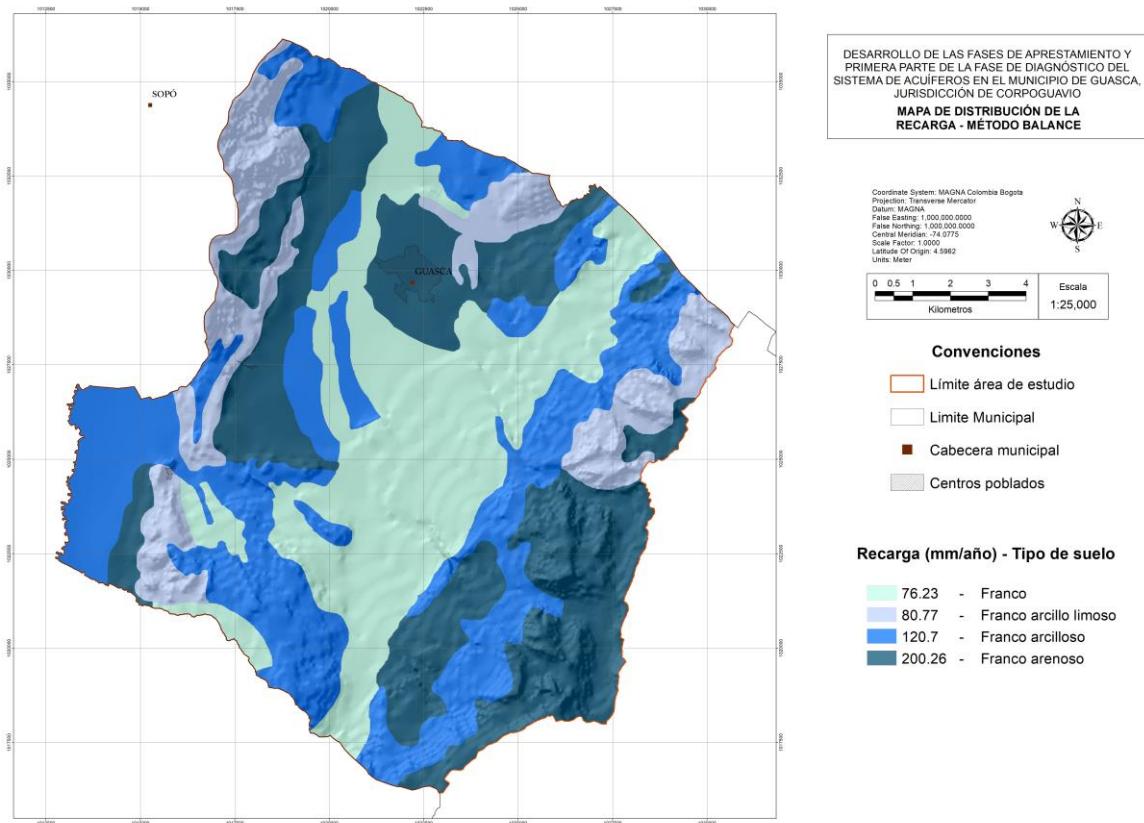
RU_i : Reserva útil al inicio de cada mes (mm)

RU_f: Reserva útil al final de cada mes (mm)

ETR: Evapotranspiración real (mm/año)

La recarga potencial media anual del área de estudio mediante el método del balance hídrico mensual del suelo se determinó a partir de la suma de todos los meses obteniendo como resultado 126,35 mm/año. La imagen 40 muestra la distribución espacial de la recarga potencial de acuerdo con cada tipo de suelo presentes en el área de estudio.

Imagen 40. Recarga potencial diferenciada para cada tipo de suelo en el área de estudio.



Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S. 2017

BIBLIOGRAFÍA

APARICIO, Francisco Javier. Fundamentos de Hidrología de Superficie. 1 ed. México: Editorial Limusa, 1992. 302 p. ISBN 986-18-3014-8.

CAHUANA Agustín y YUGAR Weimar. Material de apoyo didáctico para la enseñanza y aprendizaje de la asignatura Hidrología. Trabajo de grado Licenciatura en Ingeniería Civil. Cochabamba, Bolivia: Universidad Mayor de San Simón. Facultad de Ciencias y Tecnología, 2009. 380 p.

CAR-CORPOGUAVIO. Plan de Ordenamiento del Recurso Hídrico de la unidad hidrográfica del Embalse de Tominé y la unidad hidrográfica del río Teusacá las cuales pertenecen a la Cuenca del río Bogotá. Bogotá: PLANIFICACIÓN INTEGRAL Consultores S.A.S., 2015.

CASTAÑEDA, Paola. Zonificación Climática según el modelo CALDAS – LANG de la Cuenca Río Negro mediante el uso de Sistema de Información Geográfica SIG. Tesis de Licenciatura. Bogotá: Universidad Militar Nueva Granada, 2014.

CASTRO, Lina M. y CARVAJAL, Yesid. Análisis de Tendencia y homogeneidad de series climatológicas. En: Ingeniería de Recursos Naturales y del Ambiente. 2010. n. 9, p. 15-25.

CORPORACIÓN METEREOLÓGICA MUNDIAL. Guía de prácticas hidrológicas. 6 ed. Ginebra, Suiza: OMM, 2011. 330 p. ISBN 978-92-63-30168-0.

Dahmen, E. R y Hall. M, J. Screening of Hydrological Data: Tests of Stationary and Relative Consistency. Wageningen, The Netherlands: International Institute for Land Reclamation and Improvement, 1990. 58 p.

DUNNE, Thomas and LEOPOLD, Luna. B. Water in Environmental Planning. WH. Freeman and Company. San Francisco, California, 1978.

IDEAM. Zonificación y Codificación de Cuencas Hidrográficas. Bogotá: Publicación aprobada por el Comité de Comunicaciones y publicaciones del IDEAM., 2013.

LOBO, L. Guía metodológica para la delimitación del mapa de zonas áridas, semiáridas y subhúmedas secas de América Latina y el Caribe. Montevideo: UNESCO., 2006.

MANZANO, Marisol. Cálculo de balance hídrico del suelo mediante el método de Thornthwaite. [En línea]. [Cartagena, Murcia, España], oct. 2008 [citado 20 jul., 2017]. Disponible en Internet: http://www.upct.es/~minaees/hidrogeologia_1.pdf

MINAMBIENTE. Guía Metodológica para la Formulación de Planes de Manejo Ambiental de Acuíferos. Bogotá D.C: Imprenta Nacional de Colombia, 2014. 88 p. ISBN: 978-958-8491-83-7.

MONTANER, María Helena y SANCHEZ-ALMOHALLA Eduardo Aproximación por el método Thornthwaite al cálculo de infiltración de lluvia útil: En: Papeles de Geografía. 1988. no 14, p. 223 -235.

MORA, Gilberto; GUILLOT M. Hernando. Análisis ecológico de la cuenca de captación y del embalse Tominé. En: Acta Biológica Colombiana, 2000. vol 5, no 1, p. 73 – 74.

ONU. Manual de instrucciones, estudios hidrológicos. En: ONU Publ. No 70. San José, Costa Rica 1972, p. 540.

SÁNCHEZ, N., y GARDUÑO, R. Algunas consideraciones acerca de los sistemas de clasificación climática. EN: ContactoS. 2002. vol. 68, p. 6

SCHOSINSKY, Gunther, G. y LOSILLA, Marcelino. Modelo analítico para determinar la infiltración con base en la lluvia mensual. En: Revista Geológica de América Central, 2000. no. 23, p. 43-56.

SCHOSINSKY, N., GUNTHER. Cálculo de la recarga potencial de acuíferos mediante un balance hídrico de suelos. En: Revista Geológica de América Central, 2006, no 34-35,. p. 13 – 30.

SMITH, R. y CAMPUZO, C. Análisis exploratorio para la detección de los cambios en las tendencias en series hidrológicas. En: XIV Seminario Nacional de Hidráulica e Hidrología. 7-9 de Septiembre de 2012.

UNAL y CORMAGDALENA. Alternativa de reducción del caudal en el canal del dique mediante agostamiento de la sección por sectores y construcción de la esclusa paricuica. Bogotá: UNAL., 2008.

UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. Claves para la taxonomía de suelos. 12 ed. Montecillo: Servicio de Conservación de Recursos Naturales, 2014. 410 p.