

**EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS DE AHORRO EN EL CONSUMO DE ENERGÍA Y
AGUA PARA INSTITUCIONES UBICADAS EN NODOS EDUCATIVOS DE
BUCARAMANGA**

INFORME FINAL

**YAZMIN VERA PEÑA
TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR POR EL TITULO DE INGENIERA CIVIL**

**DIRECTOR
Ing. SERGIO MANUEL PINEDA VARGAS. PhD**

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL
BUCARAMANGA
2020**

AGRADECIMIENTOS

Un agradecimiento a todos mis profesores de la UPB por todo lo aprendido.

Un agradecimiento a la alcaldía de Bucaramanga y amb, por suministrar información de consumo de agua y energía de las sedes educativas públicas y por atender y responder las inquietudes.

Un agradecimiento a la CDMB de Bucaramanga y el IDEAM, por suministrar información de las estaciones meteorológicas a su cargo y a la ESSA por los registros de facturación de energía eléctrica.

Agradezco a mi director de tesis, por las orientaciones dadas desde el trabajo de semillero, con su motivación y reflexiones semanales fue posible culminar este proyecto tal cual como se planeó.

DEDICATORIA

A mi mami, a mi papi y a mi hermano William por todo su apoyo en la realización de este sueño.

¡¡¡¡Lo volví a hacer.....!!!!

La gloria sea para Dios.

TABLAS

Tabla 1. Dotaciones para diseño de acueductos	18
Tabla 2. Matriculas de Bucaramanga.....	22
Tabla 3. Antecedentes del proyecto con un estudio de Santiago de Cali.....	23
Tabla 4. Información del POT sobre Precipitación y clima	27
Tabla 5. Valores críticos test de Rachas	31
Tabla 6 Series de precipitación diaria	34
Tabla 7 Series de precipitación mensual.....	35
Tabla 8 Estimación series de precipitación mensual.....	36
Tabla 9 Coeficiente de escorrentía de acuerdo con el material de la superficie de captación	41
Tabla 10 Densidad mínima recomendada de estaciones pluviométricas.	43
Tabla 11 Clasificación Caldas.....	44
Tabla 12 Clasificación Lang	44
Tabla 13 Clasificación Caldas-Lang	45
Tabla 14 Clasificación Emmanuel Martonne.....	46
Tabla 15 Estadística descriptiva.....	50
Tabla 16 Resultados de aletoriedad de estaciones	52
Tabla 17 Cálculos de rachas Centro	53
Tabla 18. Cálculos de rachas Floresta.....	53
Tabla 19 Cálculos rachas Ideam.....	53
Tabla 20 Resultados de Normalidad de series	54
Tabla 21. Resultados prueba Test U-Mann Whitney	56
Tabla 22 Resultados prueba de estacionariedad y tendencia de series	56
Tabla 23 Índice de estacionalidad- Indicador de estacionalidad.	57
Tabla 24 Consumo de agua promedio.....	62
Tabla 25 Consumo de Energía promedio.....	63
Tabla 26 Información de demanda UIS_ ejemplo de registro y cálculo de consumo de instituciones.....	66
Tabla 27 Estaciones para suministro de información de Radiación Solar	84
Tabla 28 Resultados de precipitación sobre el potencial hídrico.....	103
Tabla 29 Resultados de radiación solar sobre el potencial Energético	104
Tabla 30 Cálculo de Volumen de almacenamiento y potencial de agua sector nororiental..	104
Tabla 31 Cálculo de Volumen de almacenamiento y potencial de agua sector Real de Minas	105
Tabla 32 Potencial Energético nodo ciudadela.....	109
Tabla 33 Potencial energético nodo nororiental	110
Tabla 34 Índice de Gausson en nodos.....	112
Tabla 35. Balance hídrico y energético promedio	118
Tabla 36 Balance hídrico y energético con potenciales máximos	119
Tabla 37. Balance Energético de sectores con eficiencias 15%.	119
Tabla 38. Potencial hídrico de sectores con aplicación de la metodología OMS	120
Tabla 39 Seguimiento al Proyecto	120

MAPAS

Mapa 1 Municipio de Bucaramanga.....	20
Mapa 2. Radiación Solar en Colombia	24
Mapa 3 Precipitaciones en Colombia	26
Mapa 4. Radiación mundial	38
Mapa 5 Estaciones y Coberturas.....	48
Mapa 6 localización de instituciones de Bucaramanga	61
Mapa 7 Precipitación multinual	67
Mapa 8 Precipitación máxima multianual.....	68
Mapa 9 Precipitación mensual de Enero.....	69
Mapa 10 Precipitación mes de enero	70
Mapa 11 Precipitación mes de febrero	70
Mapa 12 precipitación mes de marzo	72
Mapa 13 Precipitación mes de abril	73
Mapa 14 Precipitación mes de Mayo.....	74
Mapa 15 Precipitación mes de Junio	75
Mapa 16 Precipitación mes de Julio.....	76
Mapa 17 Precipitación mes de Agosto	77
Mapa 18 Precipitación mes de Septiembre	78
Mapa 19 Precipitación mes de Octubre.....	79
Mapa 20 Precipitación mes de Noviembre	79
Mapa 21 Precipitación mes de diciembre	80
Mapa 22 Precipitaciones mensuales multianuales.....	82
Mapa 23 Localización estaciones de radiación.....	84
Mapa 24 Radiación mes de enero.....	85
Mapa 25 Radiación mes de Febrero.....	86
Mapa 26 Radiación solar marzo	87
Mapa 27 Radiación solar abril.....	88
Mapa 28 Radiación solar mayo.....	89
Mapa 29 Radiación solar junio.....	90
Mapa 30 Radiación solar Julio	91
Mapa 31Radiación solar Agosto.....	92
Mapa 32 Radiación solar septiembre.....	93
Mapa 33Radiación solar octubre	94
Mapa 34Radiación solar mes de noviembre	95
Mapa 35Radiación solar mes de diciembre.....	96
Mapa 36 Temperatura media	97
Mapa 37 Clasificación climática Lang.....	98
Mapa 38 Clasificación climática Caldas	99
Mapa 39 Precipitación multianual afectada por Niño	113
Mapa 40 Precipitación multinual afectada por la Niña	114

GRAFICOS

Gráfica 1 Árbol de problemas del proyecto.....	13
Gráfica 2. Agua captada amb año 2016.....	14
Gráfica 3. Composición suscriptores amb año 2016.....	15
Gráfica 4. Composición consumo agua por usos año 2016	15
Gráfica 5. Consumo agua vs suscriptores año 2016.....	16
Gráfica 6. Dotación agua año 2012-2016	16
Gráfica 7. Modelo mental para identificación de variables del problema con la herramienta Vensim	17
Gráfica 8. Participación % por sectores consumo de agua.....	25
Gráfica 9. Interfaz del software Magna Sirgas Pro 4.2 del IGAC	28
Gráfica 10. Análisis estadístico de series.....	30
Gráfica 11. Curva doble masa para análisis de homogeneidad de series.....	34
Gráfica 12. Esquema IDW	37
Gráfica 13. Variograma de temperatura	37
Gráfica 14. Cálculo de temperatura seca a temperatura húmeda o efectiva	46
Gráfica 15. Línea de tiempo de estaciones meteorológicas	47
Gráfica 16. Series de tiempo de precipitación.....	49
Gráfica 17. Doble masa de series	51
Gráfica 18. Aleatoriedad de series Centro-Floresta-Ideam.....	52
Gráfica 19. Correlación de estaciones.....	54
Gráfica 20. Dispersión en precipitación multianual.....	55
Gráfica 21. Estacionalidad en series.....	55
Gráfica 22. Dispersión de estaciones	55
Gráfica 23. Comparación de estaciones	57
Gráfica 24. Estacionalidad.....	58
Gráfica 25. Oferta y demanda.....	60
Gráfica 26. Consumos de agua de sedes educativas.....	63
Gráfica 27. Consumo de energía de sedes educativas	64
Gráfica 28. Consumo de energía de colegios de Bucaramanga kWh.....	64
Gráfica 29. Demanda de nodos sector ciudadela.....	65
Gráfica 30. Estructura SIG.....	102
Gráfica 31. Potenciales energéticos e hídricos de sectores	103
Gráfica 32. Precipitación nodo sector nororiental	104
Gráfica 33. Precipitación nodo sector Ciudadela.....	105
Gráfica 34. Volumen de almacenamiento colegio Tecnológico.....	106
Gráfica 35. Volumen de almacenamiento colegio del Pilar.....	106
Gráfica 36. Potencial de ahorro de agua del colegio Tecnológico.....	107
Gráfica 37. Potencial de ahorro de agua del colegio Pilar	108
Gráfica 38. Climograma del sector nororiental.....	111
Gráfica 39. Climograma del sector ciudadela.....	112
Gráfica 40. Esquema de análisis de viabilidad energética e hídrica	115
Gráfica 41. Interfaz de volumen tanque de almacenamiento (m ³)	116
Gráfica 42. Series de tiempo, TRMM 3b43.....	117

Gráfica 43. Potencial hídrico mensual con datos satelitales.....	117
Gráfica 44. Balance Energético	118

FOTOGRAFIAS

Fotografía 1 Recibos facturación de agua y energía.	62
Fotografía 2. Sector Ciudadela	109
Fotografía 3 Colegio Tecnológico -UIS.....	110

TABLA DE CONTENIDO

1. RESUMEN GENERAL DE TRABAJO DE GRADO.....	10
2. INTRODUCCIÓN	12
3. DEFINICION DEL PROBLEMA.....	13
3.1 HIPOTESIS NULA.....	19
4. DESCRIPCIÓN DE BUCARAMANGA	20
4.1 localización.....	20
4.2 Sistema educativo	21
5. ANTECEDENTES	22
5.1 Estudios realizados en Colombia sobre Radiación Solar.	23
5.1.1 Atlas climatológico de radiación solar	24
5.2 Estudios realizados sobre el consumo de agua-ENA.....	25
5.2.1 Atlas climatológico de precipitación de Colombia.....	26
5.3 Plan de ordenamiento de Bucaramanga.	27
5.4 Software del Igac para manejo de coordenadas geográficas	28
6. OBJETIVOS	29
6.1 OBJETIVO GENERAL.....	29
6.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	29
7. MARCO TEÓRICO.....	30
7.1 Análisis estadístico de los datos.....	30
7.1.1 Análisis homogeneidad, tendencia, aleatoriedad, estacionariedad y estacionalidad	30
7.1.2 Inspección y cálculo de estadística descriptiva	31
7.1.3 Distribución de datos (Normalidad)	31
7.1.4 Independencia entre variables	32
7.1.5 Evaluación de Correlaciones.....	32
7.2 Llenado de las series hidrometereológicas.....	32
7.3 Interpolación	36
7.4 Radiación Solar	37
7.4.1 Sistema receptor de la luz solar	39
7.5 Sistema de recolección de aguas lluvias.....	40
7.5.1 Cálculo de precipitación	41

7.5.2	Cálculo de demanda de agua.....	41
7.5.3	Oferta de agua en el mes “i” (Ai).....	41
7.5.4	Demanda acumulada (Dai)	42
7.5.5	Oferta acumulada (Aai)	42
7.5.6	Volumen almacenamiento (Vi)	42
7.5.7	Potencial de ahorro de agua potable (PPWS).....	42
7.6	Cobertura de Estaciones	42
7.7	Efecto del fenómeno de niño y niña en la precipitación.....	43
7.8	Sistemas de información geográfica.....	44
7.9	Clasificación climática	44
7.10	Temperatura seca, humedad y efectiva.....	46
8.	ESTACIONES HIDROMETEREOLÓGICAS	47
9.	ESTUDIO DE LAS SERIES DE TIEMPO	49
9.1	Estadística descriptiva	50
9.2	Homogeneidad	51
9.3	Aleatoriedad	52
9.4	Normalidad	53
9.5	Correlaciones-Dispersión-U-MANN WHITNEY	54
9.6	Estacionariedad y tendencias.....	56
9.7	Estacionalidad.	57
10.	ESTUDIO DE OFERTA Y DEMANDA HÍDRICA Y ENERGÉTICA	60
10.1	Estudio de demanda.....	61
10.2	Oferta hídrica a través de los mapas de precipitación.....	67
10.2.1	Precipitación multianual	67
10.2.2	Precipitación máxima multianual.....	68
10.2.3	Precipitación media mensual multianual	69
10.3	Oferta Energética	84
10.4	Temperatura-Clima -Caldas- lang	97
11.	GLOSARIO	100
12.	RESULTADOS.....	102
12.1	Análisis espacial mediante el sistema de información geográfico piloto.....	102
12.2.	Potencial energético e hídrico por sectores.....	103
12.3	Análisis de Potencial hídrico por instituciones	104
12.3.1	Potencial Hídrico	107

12.3.2 Potencial Energético.	108
12.4 Climograma (relación de radiación solar, precipitación y temperatura)	111
12.4.1 Índice de Gausson	111
12.5 Relaciones del clima, oferta y demanda de recursos.	113
12.6 Análisis de la viabilidad de aprovechamiento energética e hídrica por nodos mediante el uso de la herramienta computacional.	115
12.7 Potencial hídrico con datos satelitales TRMM	116
12.8 Balance hídrico y energético de nodos.....	117
13.ANALISIS DE RESULTADOS	119
14.CONCLUSIONES	121
15.RECOMENDACIONES.....	123
16.BIBLIOGRAFIA.....	123

1. RESUMEN GENERAL DE TRABAJO DE GRADO

TITULO: EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS DE AHORRO EN EL CONSUMO DE ENERGÍA Y AGUA PARA INSTITUCIONES UBICADAS EN NODOS EDUCATIVOS DE BUCARAMANGA.

AUTOR(ES): YAZMIN VERA PEÑA

PROGRAMA: Facultad de Ingeniería Civil

DIRECTOR(A): SERGIO MANUEL PINEDA VARGAS

RESUMEN

Se realizó el estudio de la demanda de energía y agua de instituciones educativas del municipio de Bucaramanga en la cual se obtuvieron 7 sectores. Se determinó una dotación de agua promedio de 27.62 litros/persona- día en el nodo ciudadela y 19.43 litros/persona-día en el nodo Nororiental. Los consumos energéticos son heterogéneos con un valor promedio de 9,47 kWh/mes por persona cuyo valor superior corresponde a la UIS con 31 KWh/estudiante-mes y 7,46 KWh /estudiante/mes en instituciones de educación media. En cuanto a la disponibilidad de aguas lluvias y la densidad de la radiación anual se realizaron interpolaciones tomando en consideración las series de tiempo suministradas por las entidades IDEAM , CDMB y la página web de la NASA , los resultados de las interpolaciones son mapas de isolíneas cuyos datos fueron comparados con los valores citados por el atlas del IDEAM, en la cual se obtuvieron lugares con valores menores y estimaciones cercanas al valor citado de 50 a 150 mm de precipitación promedio mensual y de radiación solar de 3,5 a 4 kWh/m². Aplicando la técnica de interpolación IDW, se asume que el comportamiento espacial de las variables es únicamente dependiente de la distancia lo cual hace indispensable que se evalúen otras metodologías como Kriging. Se determinó que la validación cruzada permite seleccionar el método de interpolación y el mapa se ajusta a un margen de error. Para determinar el potencial hídrico se siguió la metodología OMS, en la cual se evaluó por institución la lluvia probable que puede recibir, almacenar y utilizar por gravedad para uso de sanitarios y zonas comunes. El potencial energético determinó la energía consumida versus la energía disponible. Los resultados son variables en todas las localidades lo cual implica que hay zonas favorables y menos favorables al uso alternativo de energía y agua.

PALABRAS CLAVE:

Método Científico, GIS, Interpolación, potencial hídrico, potencial energético.

Vº Bº DIRECTOR DE TRABAJO DE GRADO

GENERAL SUMMARY OF WORK OF GRADE

TITLE: EVALUATION OF SAVINGS ALTERNATIVES IN ENERGY AND WATER CONSUMPTION FOR INSTITUTIONS LOCATED IN EDUCATIONAL NODES OF BUCARAMANGA.

AUTHOR(S): YAZMIN VERA PEÑA

FACULTY: Facultad de Ingeniería Civil

DIRECTOR: SERGIO MANUEL PINEDA VARGAS

ABSTRACT

The study of the energy and water demand of educational institutions in the municipality of Bucaramanga was carried out, in which 7 sectors were obtained. An average water supply of 27.62 liters / person-day was determined in the Ciudadela node and 19.43 liters / person-day in the Northeast node. Energy consumption is heterogeneous with an average value of 9.47 kWh / month per person, whose higher value corresponds to the UIS with 31 kWh / student-month and 7.46 kWh / student / month in secondary education institutions. Regarding the availability of rainwater and the annual radiation density, interpolations were carried out taking into consideration the time series provided by the IDEAM, CDMB and NASA website, the results of the interpolations are isoline maps whose Data were compared with the values cited by the IDEAM atlas, in which places with lower values and estimates close to the cited value of 50 to 150 mm of monthly average precipitation and solar radiation of 3.5 to 4 kWh / m² were obtained.. Applying the IDW interpolation technique, it is assumed that the spatial behavior of the variables is only dependent on the distance, which makes it essential to evaluate other methodologies such as Kriging. It was determined that the cross-validation allows to select the interpolation method and the map fits within a margin of error. To determine the water potential, the OMS methodology was followed, in which the probable rainfall that can receive, store and use by gravity was evaluated by institution for use of toilets and common areas. The energy potential determined the energy consumed versus the energy available. The results are variable in all the localities which implies that there are favorable and less favorable areas for the alternative use of energy and water.

KEYWORDS:

Scientific Method, GIS, Interpolation, water potential, energy potential.

Vº Bº DIRECTOR OF GRADUATE WORK

2. INTRODUCCIÓN

El presente trabajo de grado estudia la relación de oferta hídrica y energética que la capital santandereana tiene disponible para atender la demanda requerida de las sedes educativas del área urbana de Bucaramanga. El interés de realizar una evaluación a las alternativas de ahorro del consumo de agua y energía, radica en la proyección de mapas de isoyetas de precipitación e isolíneas de radiación solar mediante diferentes técnicas de interpolación, que permita realizar el cálculo de potencial energético e hídrico, cuyos antecedentes en la región son nulos con los algunos trabajos a nivel de consultoría en algunos municipios de Colombia.

En cuanto a la demanda, se contó con información de 99 instituciones educativas del sector público y privado de las cuales fueron estudiados los consumos hídricos y energéticos a través de la facturación y el número de estudiantes matriculados.

La metodología utilizada fue el método científico que contó con una fase de observación del fenómeno y obtención de datos, seguido de una formulación del problema en la cual nos centramos en atender una causa y proponer una hipótesis, que luego requirió de la elaboración de un sistema de información geográfica que permitiera calcular, proyectar y evaluar 7 sectores o regiones.

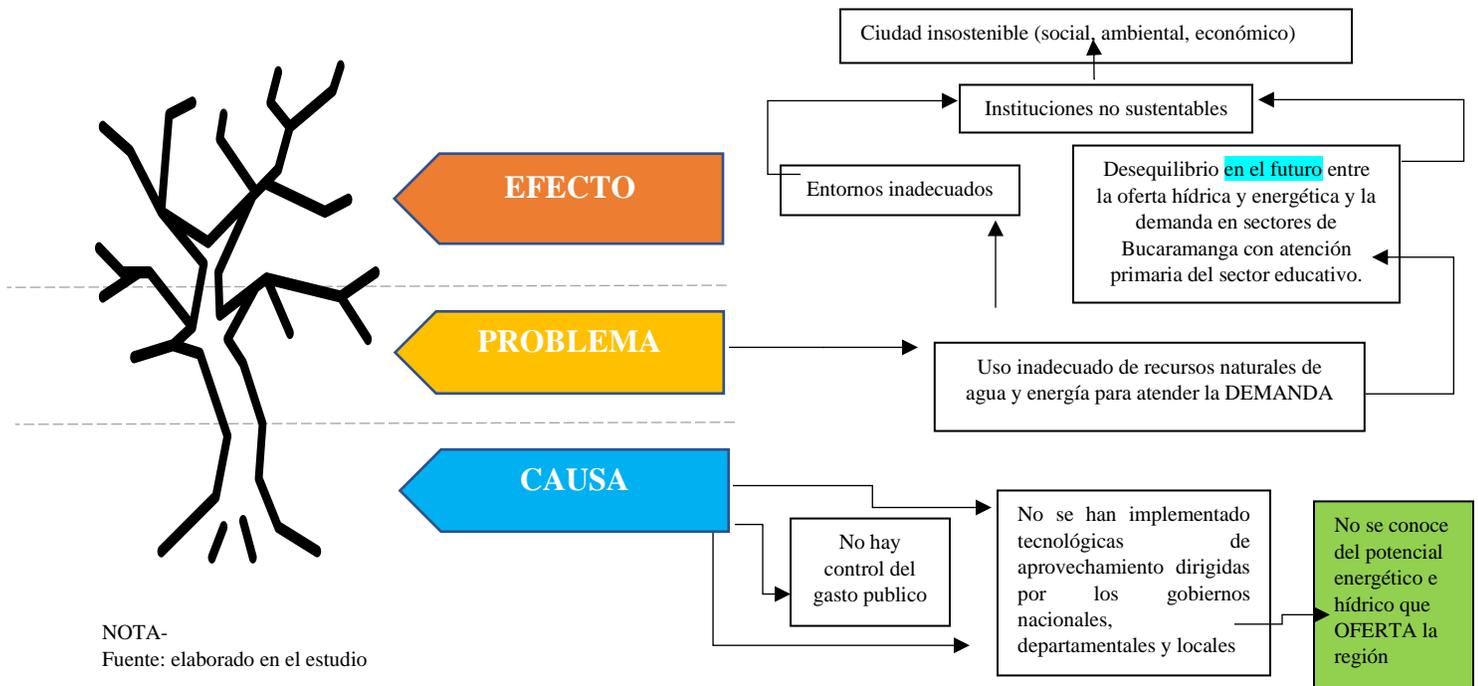
Se siguieron cuatro objetivos en los que se estudiaron los consumos de agua y energía de sedes educativas y de forma paralela se analizaron las series de tiempo de estaciones meteorológicas para poder inferir la lluvia y la densidad de radiación solar de Bucaramanga de forma espacial.

En la última etapa del proyecto se elaboraron balances de potencial energético e hídricos de una muestra de 6 sectores y 30 nodos educativos.

3. DEFINICION DEL PROBLEMA

Luego de explorar el fenómeno de precipitación y radiación solar, se aplicaron dos herramientas de análisis del problema y planificación del proyecto: la técnica de marco lógico en la cual identificamos causas y efectos como se observa en la gráfica 1 y la dinámica de sistemas en la cual determinamos variables como lo observamos en la gráfica 7.

Gráfica 1 Árbol de problemas del proyecto

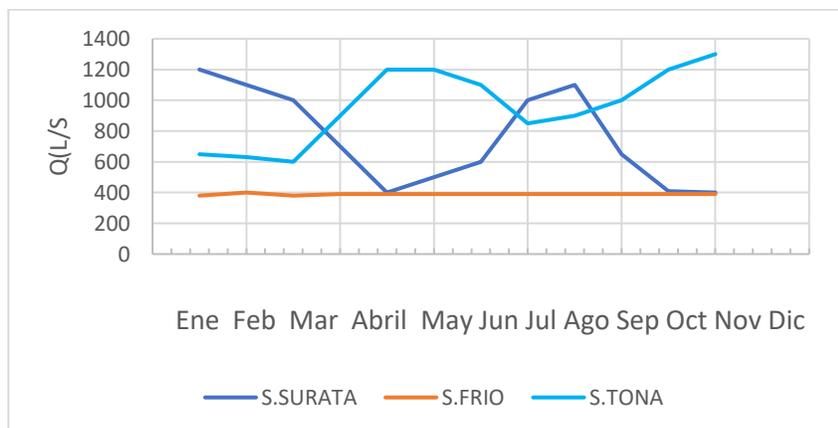


Como consecuencia del crecimiento de la población y su concentración urbana suele darse un desequilibrio de recursos energéticos e hídricos, por otro lado, el agua no se distribuye igual en los territorios. Las ciudades consumen el 75% de los recursos naturales según reporte dado por la ONU y Cepal año 2010 y es allí donde se generan las mayores contaminaciones del aire, el espacio físico y el agua, generando el problema Climático, las inundaciones, los incendios de bosques, las tormentas, huracanes y las sequias, que hoy sufrimos por exceso de gases dañinos como el CO₂, NO, causantes del efecto invernadero, actualmente la temperatura a subida de 1 a 2° en el mundo, así mismo la contaminación del agua y la promoción de su escasez ha sido causada por mal uso de ella y porque las aguas negras no son tratadas aun en el 100% generando una menor disponibilidad del agua para el consumo humano. El comentario anterior que se ha realizado sobre la demografía y los recursos naturales esta soportado en el artículo *Climate information for improved planning and*

management of mega cities (needs perspective)(2010) [1] en el que se cita: “La población del planeta era de 6.6 billones 2007, de los cuales la mitad vivía en áreas urbanas. Juntos, estos lugares comprenden menos de 3% de la superficie terrestre, sin embargo, forman una red que conecta la mayor parte del mundo a través del intercambio de materiales, bienes y gente. Se prevé que la urbanización de la población mundial continuará: para 2025 se proyecta que la población mundial será de aproximadamente 8 mil millones, de los cuales cerca de 5 mil millones vivirán en zonas urbanas” pág. 1. El municipio de Bucaramanga responde a esa realidad expuesta en la cual la población urbana ha ido creciendo, y también sus redes de servicios públicos, su infraestructura educativa y sus equipamientos urbanos que generan un consumo que genera un impacto en el ambiente y su clima como se analizó a lo largo del proyecto en su régimen de lluvias y sequías.

La ciudad de Bucaramanga tiene reservas de agua garantizadas hasta el año 2032 según el documento Conpes 3614 que contiene el soporte técnico que avaló una reserva a través del embalse. El acueducto de Bucaramanga es alimentado de las fuentes proveniente de Tona (42%), Surata (37%) y Riofrío (21%), las fuentes hídricas de Tona y Surata son alimentadas por el páramo de Santurban. Tiene también muchas fuentes hídricas en la zona escarpada que no son aceptables porque reciben el agua residual doméstica del municipio. Según el informe de gestión del acueducto del 2016, para garantizar la demanda de agua potable en Bucaramanga, Floridablanca y Girón el amb capto un caudal promedio de 2261 L/s a través de los sistemas Tona (42%), Frío (21%) y Surata(37%). En la gráfica # 2 se puede observar que en épocas de verano el caudal de Tona por gravedad es bajo y debe ser compensado por el sistema Surata. Información según el reporte de gestión amb (2016) [2]

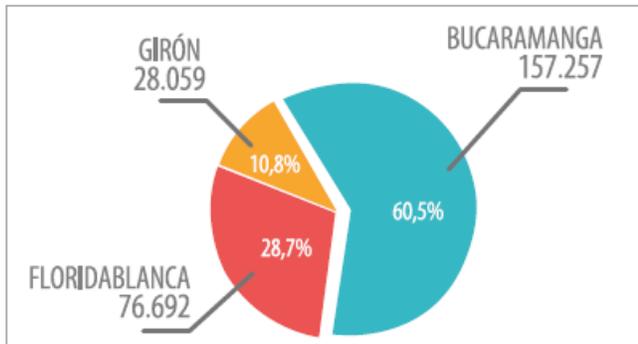
Gráfica 2. Agua captada amb año 2016



Fuente: amb

La grafica #3 muestra la distribución de suscriptores por municipio, mantiene relativamente su composición porcentual pero el número de suscriptores creció en los tres municipios para el 2016

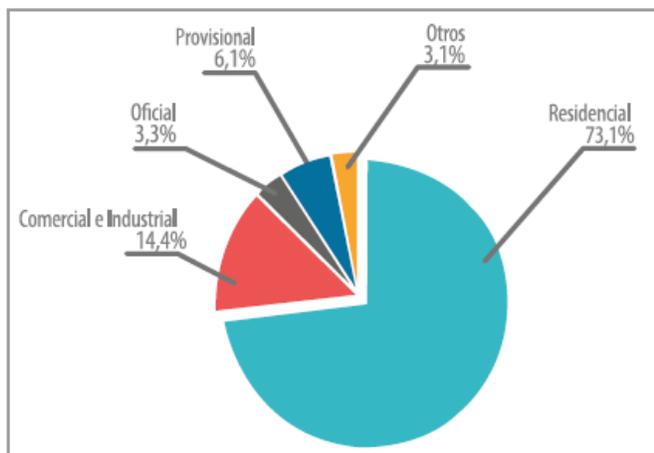
Gráfica 3. Composición suscriptores amb año 2016



Fuente: amb

La composición del consumo de agua por usos se presenta en la gráfica #.4

Gráfica 4. Composición consumo agua por usos año 2016

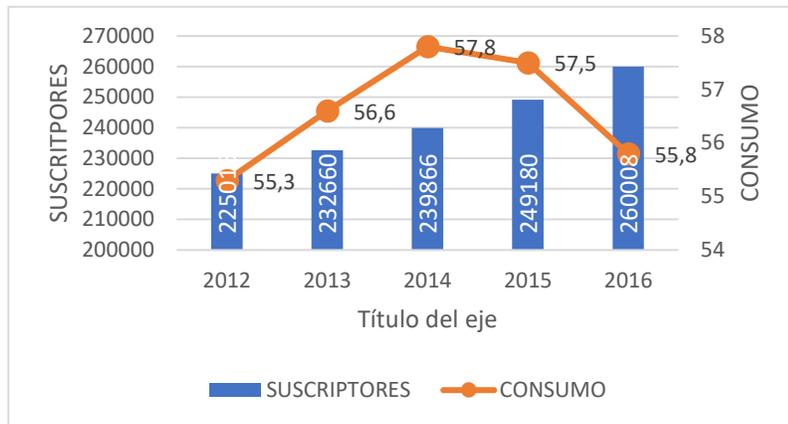


Fuente: amb

Hay un crecimiento del número de usuarios y una reducción general del consumo. De 20.7 m³/suscriptor se pasó 18.2 m³/suscriptor. Graficas # 5 y # 6. La anterior afirmación es el resultado del crecimiento demográfico que se expuso al inicio del capítulo en la cual la ciudad va creciendo en territorio y habitantes, y debido a la resolución N° 726 de 2015 del ministerio de vivienda que busca desincentivar los consumos con pago adicionales por consumo excesivo ajustados en las tarifas es que se ha realizado un gasto racional de agua que se

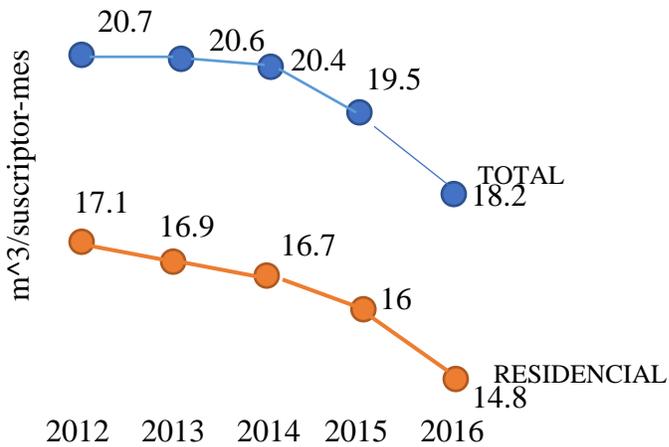
traduce en menor consumo de los suscriptores de viviendas, pero no es el ideal del sector educativo público.

Gráfica 5. Consumo agua vs suscriptores año 2016



Fuente: amb

Gráfica 6. Dotación agua año 2012-2016

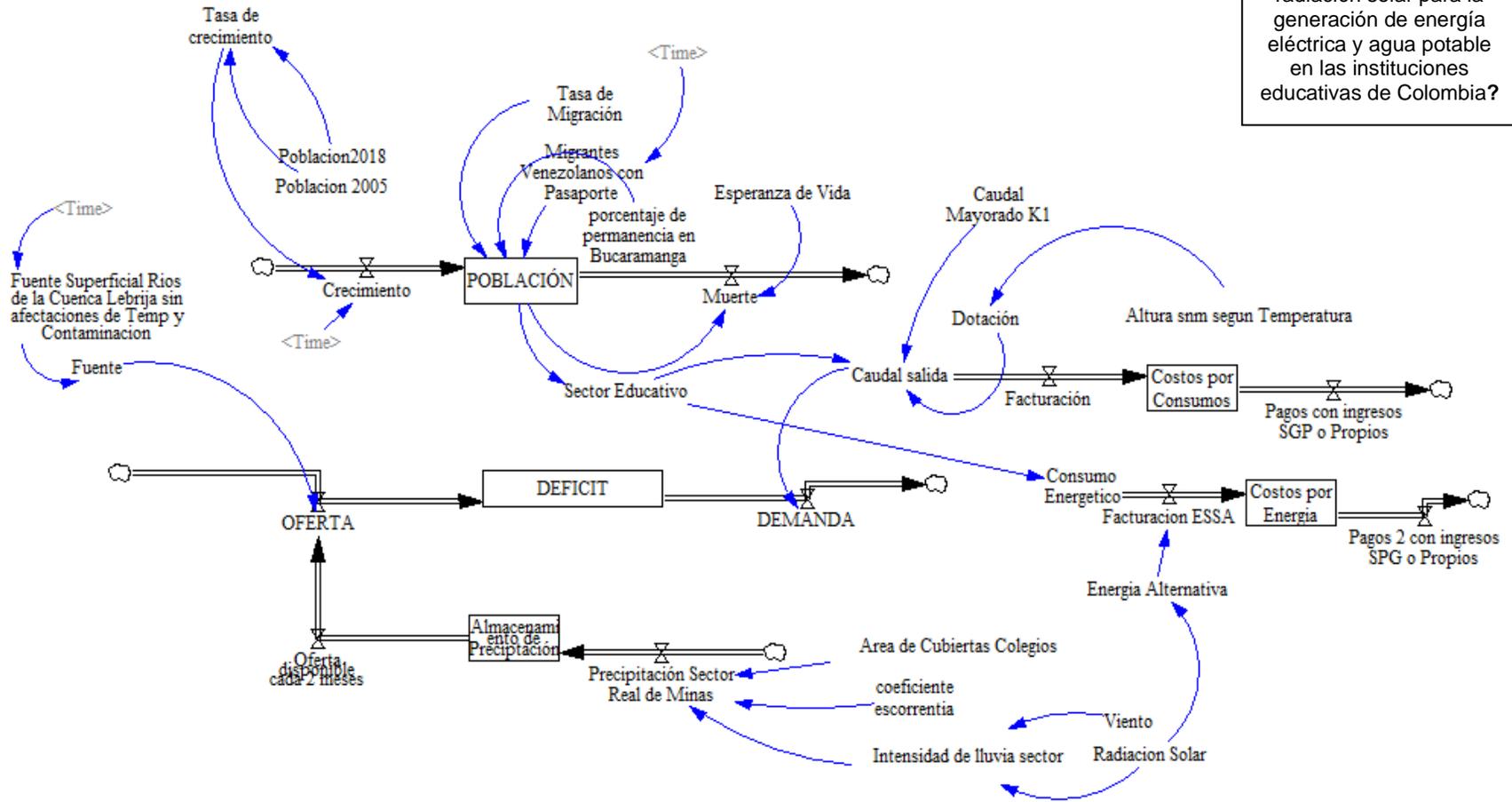


Fuente: amb

A futuro la disponibilidad de recursos hídricos y energéticos en Bucaramanga deberá corresponder a las necesidades que garanticen su sostenibilidad como ciudad y para cada una de las edificaciones deberá tener optimización de los recursos que la puedan caracterizar como sustentable y dicho requerimiento corresponderá a las normativas en las que se expone el decreto 1285 de 2015. Guia para el ahorro de energía en edificaciones. [3]

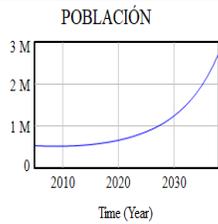
Para identificar las variables se elaboró el modelo mental, gráfica 7, que visualiza unas variables que generan resultados que pueden ser negativos o deficientes como resultado de la simulación matemática. Este se construyó basado en lo siguiente:

Gráfica 7. Modelo mental para identificación de variables del problema con la herramienta Vensim



¿Qué tan viable puede ser el aprovechamiento de las aguas recolectadas y la radiación solar para la generación de energía eléctrica y agua potable en las instituciones educativas de Colombia?

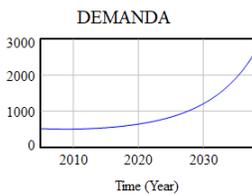
Fuente: elaborado en este proyecto tomando en consideración referencia bibliográfica. [54]



POBLACION: En Bucaramanga hay una población estimada de 528.572 habitantes a 2018, según el censo del DANE del 2018. Su crecimiento es geométrico y su rata($r=0,03$). Se proyecta este modelo a 20 años.

En los estudios de población se toma en cuenta las migraciones que para el caso de Bucaramanga, se ha dado por la problemática de Venezuela la cual informa Migración Colombia ha sido de 0,6 migrantes por cada mil habitantes así mismo se ha estimado que el 10% de esa población se ha asentado en Bucaramanga y además el informe de la secretaria de Educación de alcaldía municipal del primer trimestre de 2019 reporte un aumento de la matrícula escolar debido a la aceptación de niños venezolanos en las aulas educativas. [4]

El DANE estima que los niños y jóvenes de Colombia son el 40% de la población, y se estima a su vez que el personal administrativo de las entidades educativas es el (10%) del sector educativo.



DEMANDA: En las Instituciones educativas hay consumos diarios de agua y energía. Los pagos de las entidades educativas públicas se dan a través del SGP y los recursos propios que provienen de los impuestos (predial).

En el diseño de acueductos, el consumo de agua se calcula a partir de la resolución 330 que modificó el RAS DEL 2000 en su título D de la siguiente manera:

Se estima una dotación según la altura sobre el nivel del mar así:

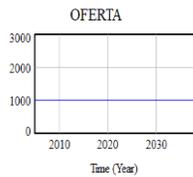
Tabla 1. Dotaciones para diseño de acueductos

	Dotación (l-habitante/día)
>2000 msnm	120
1000> y <2000 msnm	130
< 1000 msnm	140

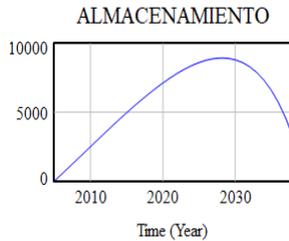
Fuente: Resolución 330 Ministerio del vivienda y ambiente

Pero al revisar la facturación de consumos observamos que no es de 140 litros - usuarios/día lo cual implica que es posible dar una cifra exacta de CONSUMO a través de un periodo de 5 años de una muestra de 99 instituciones educativas. De otro lado el caudal QMD= Población*dotación/86400 *k1.

K1 es una mayoración estimada según la población en 1,2 para Bucaramanga.



OFERTA: el cual corresponde a la fuente hídrica proveniente de la cuenca de Lebrija que surte el ACUEDUCTO DE BUCARMAANGA.



En la corrida del modelo se estima que después del 2030 se genera un déficit porque la fuente no alcanza a cubrir la demanda. En el modelo no se consideraron disminución de oferta por contaminación de aguas ni efectos ambientales de sequía que disminuyan el caudal, el cual lo harían más crítico.

Lo anterior nos indica que la relación de oferta-demanda requiere hacer uso adecuado de los recursos ofrecidos al municipio porque podría darse un déficit futuro.

El uso apropiado requiere a su vez del conocimiento hidrometereológico del lugar y la aplicación de tecnologías que permita un aprovechamiento de recursos naturales a bajo costo, pero tanto el IDEAM como el POT de la ciudad no cuentan con información detalla dentro del área urbana. [5]

3.1 HIPOTESIS NULA

Ho: El potencial energético de Bucaramanga es suficiente (relación oferta-demanda) para instalar paneles solares comerciales y suplir la demanda de las instituciones educativas con un costo menor que el facturado por el sistema eléctrico convencional.

Ho: El potencial hídrico de Bucaramanga es suficiente (relación oferta-demanda) para almacenar aguas lluvias y descargar los sanitarios y lavado de zonas comunes con un costo menor que el costo de agua potable.

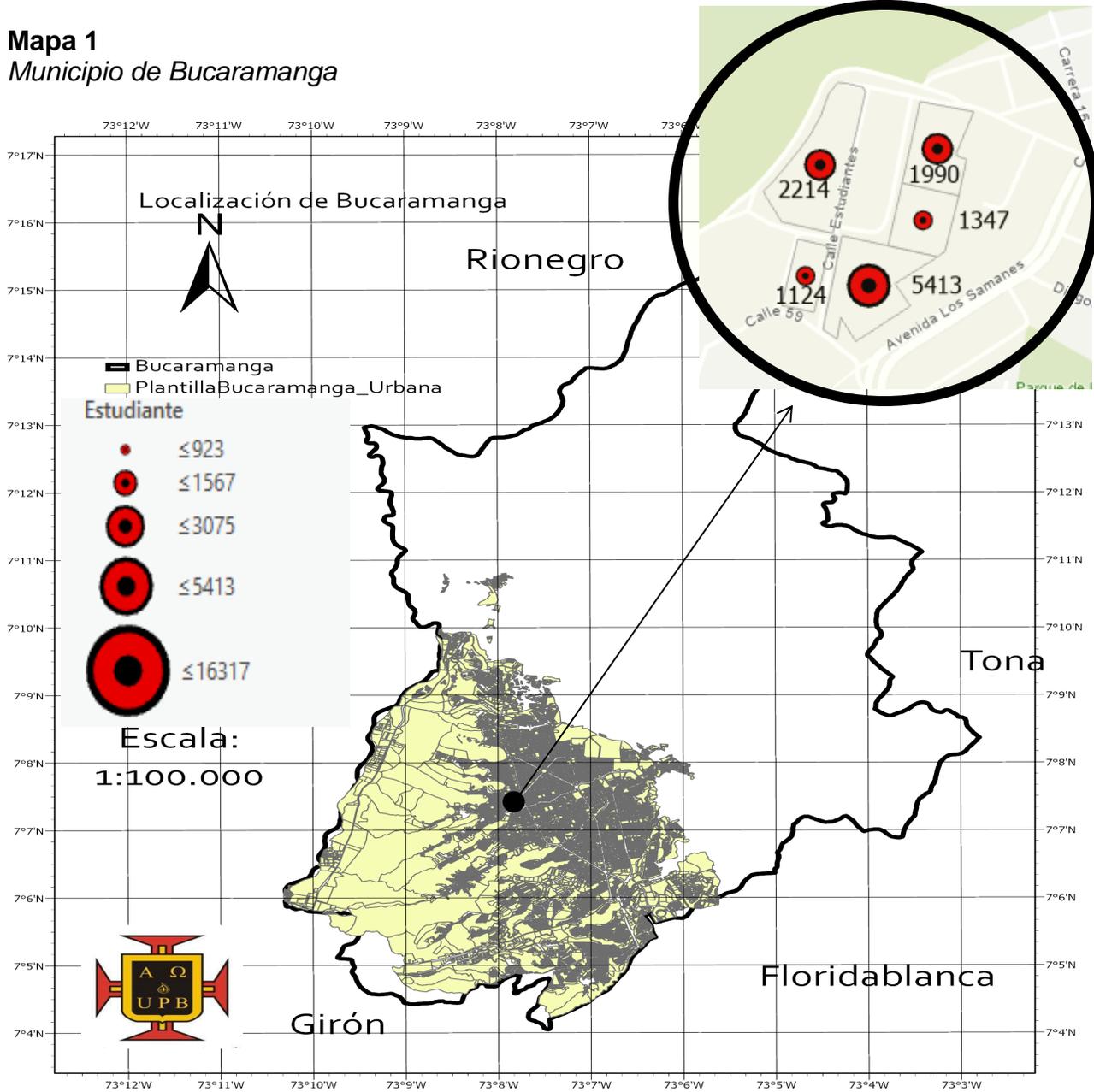
4. DESCRIPCIÓN DE BUCARAMANGA

4.1 localización

El proyecto se localiza en municipio de Bucaramanga según descripción del mapa1:

Mapa 1

Municipio de Bucaramanga



Fuente: elaborado en este estudio

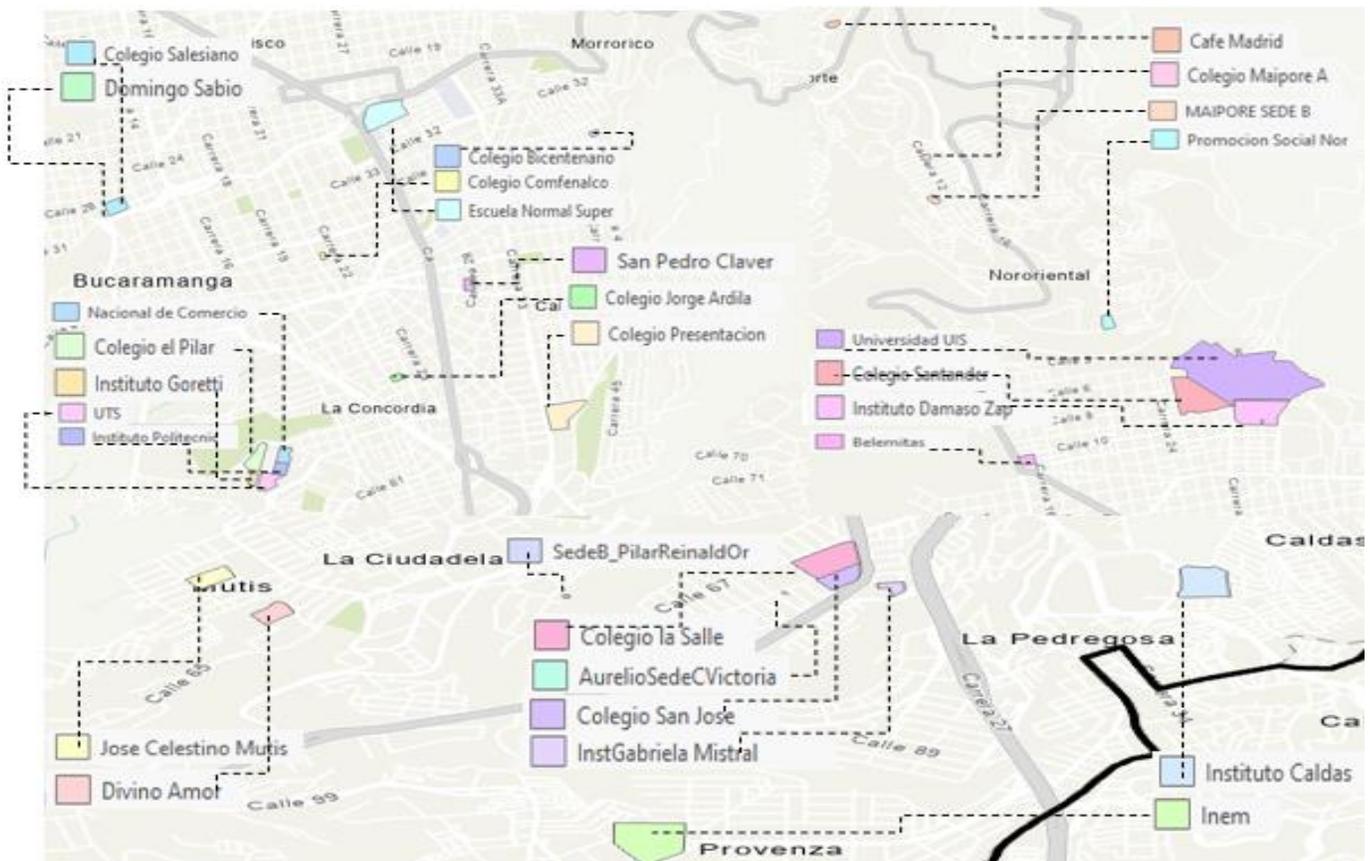
El municipio de Bucaramanga está ubicado en el nororiente colombiano en el departamento de Santander, entre los 7°04'07"N - 7°11'07"N y 73°06'58"O- 73°10'58"O (ejes).

Mediante recorrido en Google earth se inspecciona la variación de altitud a lo largo de Bucaramanga de norte a sur con una elevación sobre el nivel del mar de 960m en puntos de interés.

4.2 Sistema educativo

Las instituciones educativas son Privadas y Públicas, *cuya localización se observa en el mapa 2.*

Mapa 2 Localización Sedes Educativas



Fuente: elaborada en este proyecto

La Educación en Colombia tiene los siguientes ciclos: Básica primaria, secundaria, media Vocacional, Tecnología y Universitaria. Según el informe de gestión de la secretaria de educación de 2019, son 47 las instituciones educativas públicas que atiende la alcaldía de Bucaramanga en la cual tiene 2455 niños provenientes de Venezuela, que refleja que la demanda puede ser modificada por migraciones y aumentada con los años como lo observamos en la tabla 2, donde a crecido el número de matrículas:

Tabla 2. Matriculas de Bucaramanga

Matriculas de Bucaramanga

Sector	Matricula 2016	Matricula 2017	Matricula 2018	Matricula 2019	% variación 201--2018	sector	alumnos	%
Matricula oficial	71.483	72.375	73.740	77.110	4.57%	Urbano	75.418	97.8%
Matricula privada	33.519	33.527	32.935	30.583	-7.14%	Rural	1.692	2.2%
totales	105.002	105.902	105.902	107.693	0.95%		77.110	100%

Fuente: Estudio del proyecto

Para el proyecto es importante conocer la demanda de agua y energía a partir de los estudiantes matriculados y la información de facturación por que nos permiten determinar las dotaciones diarias de agua y energía.

5. ANTECEDENTES

Miguel Ángel Galarza, Rafael Orlando Ortiz y Ballen Suarez José Alejandro (2006), en su artículo “SISTEMA DE APROVECHAMIENTO DE AGUA LLUVIA PARA VIVIENDA URBANA” proponen sistemas de aguas lluvias como respuesta a la reducción de la oferta hídrica por contaminación de las superficiales y degradación de las cuencas. [6]

El aprovechamiento a nivel educativo, es conocido por las experiencias en el edificio de posgrados de ciencias humanas de la sede Bogotá de la Universidad Nacional(2007), que cuenta con un sistema de cubierta protegida con grava en la cual se capta agua lluvia que es llevada a un tanque subterráneo, desde el cual se bombea agua para la descarga de los inodoros, y alimentar las fuentes y los espejos de agua, y la Pontificia Universidad Javeriana(2013), en donde se realizaron estudios para evaluar la viabilidad técnica y económica de utilizar agua lluvia para el lavado de fachadas del Campus Universitario, información reportada en los referencia bibliográfica. [7] [8]

En el año 2014 fue aprobado en plan de ordenamiento territorial de Bucaramanga, en cual hay competente técnico que contiene información del clima, hidrografía, análisis poblacional parámetros que se estudian en detalle en este proyecto. [5]

Para el año 2015 se firmó un convenio entre CIAT, DAGMA, CVC y alcaldía de Santiago de Cali para hacer un estudio que permitiera tener soporte para adaptación y mitigación al cambio climático en Santiago de Cali que llevo a realizar un análisis climático detallado de la ciudad. [9]

Luego de la lectura del documento de Santiago de Cali, se procede a hacer una comparación entre la microzonificación de Santiago de Cali y Bucaramanga que se expone en la tabla 3:

Tabla 3. Antecedentes del proyecto con un estudio de Santiago de Cali

Elemento - Análisis	Cali	Bucaramanga	Observación
Precipitación	24 estaciones	10 estaciones	Se debe realizar un estudio de cobertura de la radiación y precipitación y proponer en puntos donde aún indeterminados en medición
Soporte POT-Estudios Complementarios	Plano de Isoyetas urbano	Plano de Isoyetas rural	No hay isoyetas en el área urbana, según el mapa publicado en el POT de Bucaramanga.
Temperatura	Plano de Isotermas urbano	Plano de Isotermas rural	No hay isotermas en el área urbana, según el mapa publicado en el POT de Bucaramanga
Radiación Solar	No hay estudio del sector	No hay estudio del sector	Debe realizarse un mapa estimativo del gradiente de radiación en el área de Bucaramanga.
Balace hidrico- Climatico	IDEAM	IDEAM	Hay que revisar la microzonificación.

Fuente: Estudio del proyecto

5.1 Estudios realizados en Colombia sobre Radiación Solar.

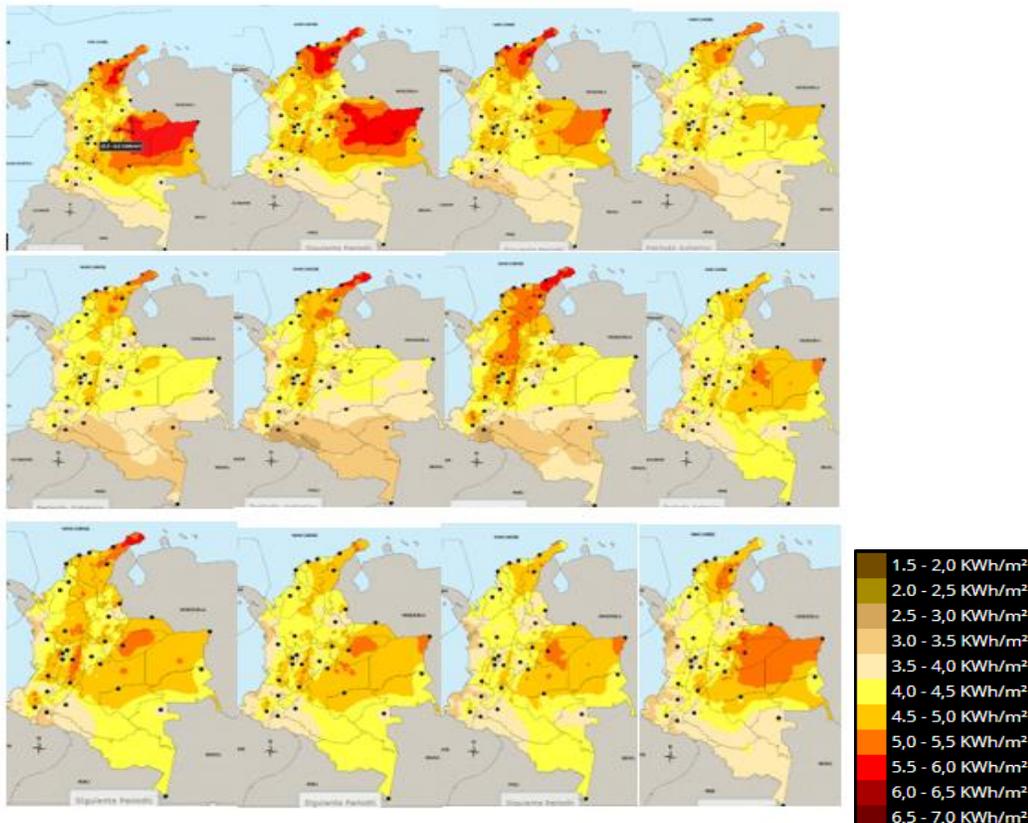
Se encontraron tres estudios donde se analizaron estudios de potencial energético en La Guajira, El eje cafetero y Barranquilla, puesto que es sabido el interés del gobierno nacional de desarrollar proyectos de radiación solar dado que el IDEAM ha reportado un potencial importante en el Atlas Web. En los estudios se hace de uso del modelo de transmitancias Bird y Hulstrom que estudio el efecto de perdidas en la atmosfera por los gases y compararlo con el modelo aprobado por el IDEAM de (Angström-Prescott). Como resultado del estudio de Barranquilla se encontró que no representa una mejora significativa en el ajuste de los datos en comparación con el modelo utilizado por el IDEAM y que el recurso energético solar en Barranquilla es uno de los mejores del país, con un promedio de incidencia que se mueve ente

5,25kWh/m² y 6,8kWh/m² a lo largo del año, lo cual es una referencia importante de medición para el proyecto que se adelanta, de otro lado Los valores de radiación solar en la Guajira están en un intervalo de 6 a 6.8 kWh/m² día. [10] [11] [12]

5.1.1 Atlas climatológico de radiación solar

El atlas climatológico del IDEAM ha utilizado la técnica de interpolación IDW para proyectar la radiación solar en todo el territorio colombiano. La radiación solar reportada por el IDEAM para Bucaramanga es de 3,5 kWh/m². [13]

Mapa 3.
Radiación Solar en Colombia



Fuente: IDEAM

El gobierno nacional a través del UPME a elaborado estudios de escenarios futuros a 2050 en torno al uso de las nuevas tendencias energéticas en la cual el consumo futuro en Colombia se centra en el uso eléctrico dejando a un lado fuentes de petróleo, carbón y gas, no obstante

la proyección de uso de radiación solar y eólica sigue siendo menor lo cual pueda inferirse por la infraestructura eléctrica actual y la proporción del sector transporte en el consumo general por encima del institucional y residencial. [14]

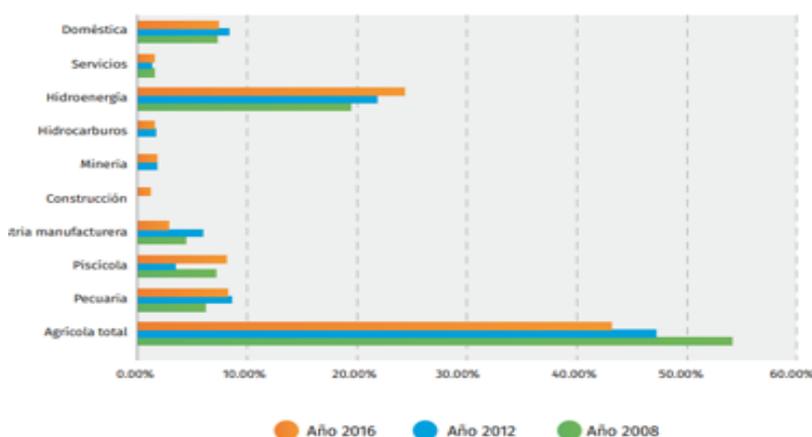
En Colombia gracias a la disponibilidad de agua de algunos sectores el aprovechamiento no es práctica habitual y son pocos los almacenamientos en comparación con el número de edificaciones, no obstante, las construcciones nuevas ya tienen dentro de sus obligaciones de diseño proveer de sistemas sustentables

La evaluación del potencial solar y eólico en la UIS-Bucaramanga proyectada en el estudio “Evaluación del potencial solar y eólico del campus central de la Universidad Industrial de Santander y la ciudad de Bucaramanga, Colombia”, menciona que el potencial solar 3 kWh/m² (3 HSP) de radiación promedio representa un potencial solar adecuado para el desarrollo de proyectos de energía solar fotovoltaica en esa institución. [15]

5.2 Estudios realizados sobre el consumo de agua-ENA.

Las actividades diarias de los seres humanos requieren de recursos hídricos y energéticos. En Colombia el mayor consumo hídrico se requiere en la agricultura con más de 40% de demanda mientras que el sector servicios requiere un 5% como se observa en la gráfica 8.

Gráfica 8. Participación % por sectores consumo de agua



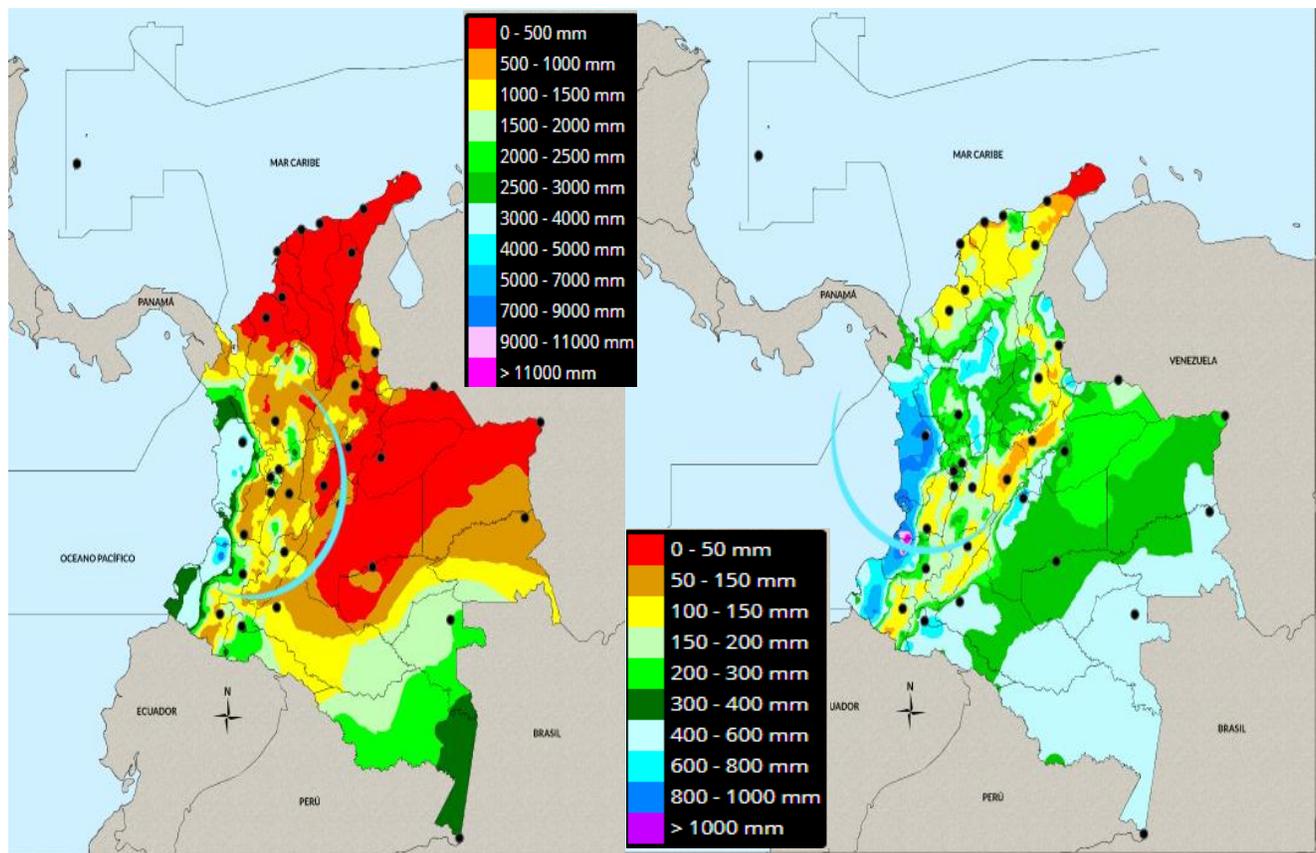
Fuente: IDEAM ENA

5.2.1 Atlas climatológico de precipitación de Colombia

Se elaboró el atlas climatológico de precipitación con base en 1072 estaciones de precipitación del país. El mapa 4 obedece a una consulta que se hizo en el atlas y corresponde a la precipitación total en Colombia con valores de entre 500 mm a 5.000 mm en la parte superior y en la parte inferior es la precipitación mensual promedio entre 50 mm a 1000 mm.

La demanda anual de agua en Colombia ha crecido en estos últimos años hasta los aproximadamente 37.000 millones de m³. Pero las fuentes hídricas son limitadas y son cada vez más escasas como lo reporta el ENA 2018 (ESTUDIOS NACIONALES DEL AGUA EN COLOMBIA- IDEAM). El reporte del IDEAM nos habla de un recurso hídrico que se reparte de manera desigual en el territorio con un gran potencial de las aguas subterráneas en regiones como Orinoquia, Amazonas y costa pacífica, en la zona Andina solo se cuenta con un 12,5% como posible aprovechamiento futuro. [16]

Mapa 4
Precipitaciones en Colombia



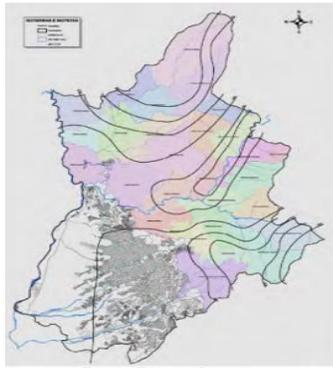
Fuente: IDEAM

Se puede decir en términos generales que hay un comportamiento de lluvias constante, sin embargo, hay periodos en el cual es más o menos lluviosa, entre los años 2001-2010 se describe un periodo más lluvioso. La precipitación media reportada para Bucaramanga corresponde al rango de 50-150 mm . Otros autores fueron tomados en consideración para estudiar tendencias en la precipitación mensual. Puertas. Carvajal. Quintero. (2011),78,169,paginas (112-120). [17]

5.3 Plan de ordenamiento de Bucaramanga.

EL POT de Bucaramanga no evidencia una caracterización del clima micro (precipitación, temperatura y radiación solar), es aún utópico en algunas regiones urbanas de Colombia-Bucaramanga, excepto el municipio de Cali, de ahí la importancia de este proyecto grado, para generar información técnica que pueda ser usada en beneficio de la planeación de la ciudad de Bucaramanga y sentar bases para parámetros de diseño de edificaciones institucionales educativas e infraestructura en favor del mejor uso de los recursos energéticos e hídricos. La planeación municipal de Bucaramanga está orientada y direccionada según su plan de ordenamiento territorial cuyo documento es elaborado por la secretaria de planeación y aprobado por el concejo de Bucaramanga, allí se plasma información referente a parámetros que son de interés para nuestro proyecto tales como condiciones geomorfológicas e hidrometeorológicas del área metropolitana en especial del territorio de Bucaramanga, el cual se presenta en la siguiente tabla como lo más relevante:

Tabla 4. Información del POT sobre Precipitación y clima

PRECIPITACIÓN	Régimen	Disponibilidad de lluvia Veredal, según su altitud de
	bimodal máximos: mayo y octubre. meses secos enero, febrero, julio, agosto y diciembre, evidente en la parte baja del municipio.	mayor a menor, siendo más seco las zonas bajas, en rangos de hasta 1100 msnm, entre 1100 -1400, 1400-1700 msnm donde finalmente se da la mayor precipitación, pero no significativa. Se destaca el cerro de la Judía de Floridablanca, como punto clave para la precipitación que alimenta varios acueductos veredales Hay varios climas debido a su geomorfología que tiene elevaciones sobre el nivel del mar de 550 a 2200 msnm en la parte norte y de 700 a 2000 msnm en el parte central y temperaturas de 25°C en la parte baja y 15°C en la parte alta.

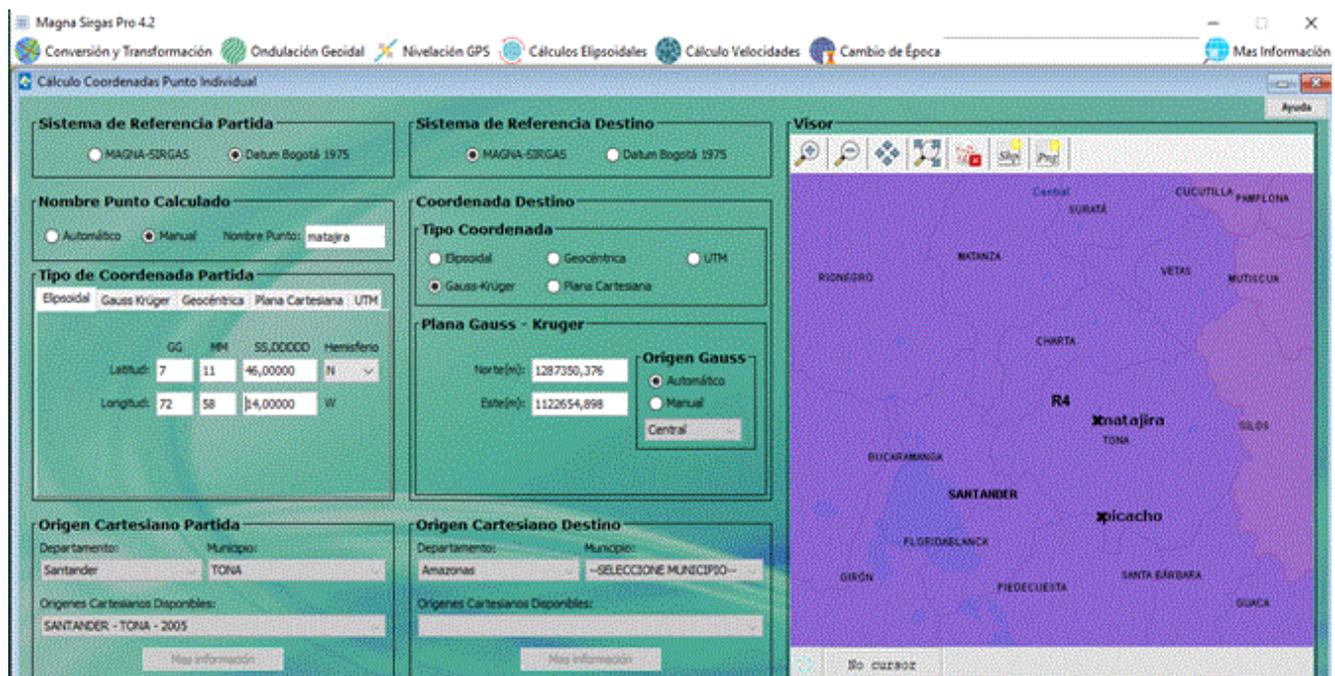
Fuente: POT de Bucaramanga [5]

5.4 Software del Igac para manejo de coordenadas geográficas

En Colombia, se adoptó el sistema de referencia MAGNA -SIRGAS y mediante el software Magna Sirgas Pro 4.2 es posible hacer las transformaciones de coordenadas para ubicar puntos de interés. En la gráfica 9 se puede ver la interfaz en la cual puedo hacer conversión de coordenadas de un punto pero también es posible de un grupo o archivo cvs.

Se cita el siguiente ejemplo en el cual se tiene una estación cuyas coordenadas de localización pueden expresarse en grados minutos y segundo o en coordenadas Gauss Kruger. El software también permite una visualización en un mapa de las coordenadas de estudio y es esencial en este proyecto para la localización de diferentes entidades en coordenadas Magna.

Gráfica 9. Interfaz del software Magna Sirgas Pro 4.2 del IGAC



Tona	7.196111111°, -72.97055556°	Gauss Kruger	
Latitud:	7°11'46"	Norte	1287350,38
Longitud:	72°58'14"	Este	1122654,9
Elevación o altitud:	1910		

6. OBJETIVOS

6.1 OBJETIVO GENERAL

Evaluar fuentes alternativas de energía eléctrica y agua, como son la luz solar y las lluvias, por medio del uso de información hidrometeorológica espacialmente distribuida, para determinar zonas de potencial uso de estos recursos en instituciones educativas del municipio de Bucaramanga.

6.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

6.2.1 Estudiar los consumos multianuales de energía y agua en instituciones educativas de sectores estratégicos de Bucaramanga, mediante el registro reportado en facturas mensuales, para determinar la variación temporal de su demanda energética e hídrica.

6.2.2. Analizar la distribución y disponibilidad de la densidad de la radiación solar anual para la meseta de Bucaramanga, utilizando los reportes de estaciones meteorológicas suministrados por diferentes entidades, para determinar la oferta alternativa aprovechable de energía en las zonas de estudio.

6.2.3. Inferir la cantidad disponible de aguas lluvias para los sectores de estudio, usando métodos de Interpolación espacial, para generar mapas de isolíneas que caractericen su distribución a lo largo de los meses y los años.

6.2.4. Elaborar el balance entre los consumos actuales y el potencial alternativo disponible, mediante la conformación de una aplicación computacional que incluya nodos educativos de Bucaramanga, donde se muestre zonas de mayor y menor impacto de uso de las alternativas estudiadas.

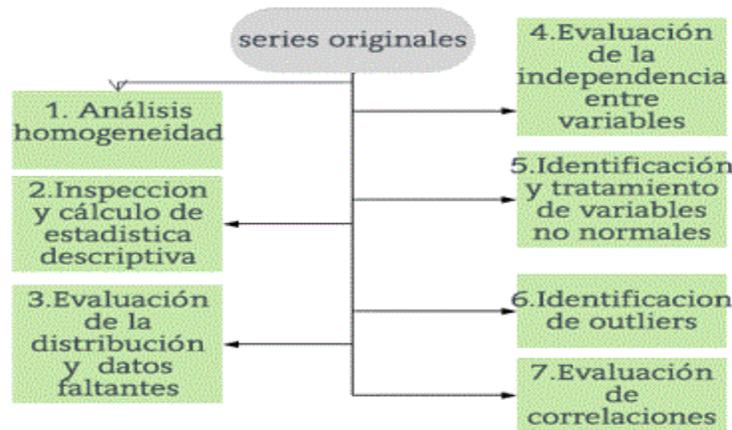
7. MARCO TEÓRICO

A partir de la lectura de los artículos de los autores Pizarro (2009). Aparicio(1992).Fundamentos de hidrologia de superficie.pág 151. Luna.Lavado (2015). Evaluación de métodos hidrológicos para la completación de datos faltantes de precipitación en estaciones de la cuenca Jetepeque, Perú.3,42-52."Relleno de series anuales de datos metereológicos mediante métodos estadísticos en la zona costera e interandina del Ecuador, y cálculo de la precipitación media",SYSCOL(2017). Análisis hidroclimatologico municipio de Guasca Corpoguvio y Castro.(2010). Se planteó los siguiente temas de estudio sobre series de tiempo que fueron desarrollados en el presente proyecto. [18] [19] [20] [21] [22] [23]

7.1 Análisis estadístico de los datos

El análisis estadístico permite determinar la calidad de los datos y el comportamiento de los mismos el cual se resumen en la siguiente gráfica #10:

Gráfica 10. Análisis estadístico de series



Fuente: elaborado en este estudio

7.1.1 Análisis homogeneidad, tendencia, aleatoriedad, estacionariedad y estacionalidad

Según el reporte de Le Goulven Patrick (1993). "Homogeneización de los datos pluviométricos" se obtuvo información sobre el llenado de series hidrometeorológicas [24].

- Homogeneidad: Mediante la técnica de doble masa se puede determinar si la serie es homogénea. En el llenado de datos es obligatorio realizar esta medición para determinar si se mantiene la proporción con las estaciones que están alrededor o en la zona de estudio.

La teoría implica que una estación X está ligada a una tendencia climática regional única.

- Aleatoriedad

Prueba de Rachas.

El contraste de rachas permite verificar la hipótesis nula de que la serie de tiempo es aleatoria (H_0), o que las observaciones medidas son independientes.

Si la serie es suficientemente grande y la hipótesis de aleatoriedad es cierta, la distribución muestral del número de rachas, R, puede aproximarse mediante una distribución normal de parámetros:

$$\mu_B = \left(\frac{2 \cdot n_1 \cdot n_2}{n_1 + n_2} \right) + 1 \quad (\text{Ecuación 1})$$

$$\sigma_B = \sqrt{\frac{2 \cdot n_1 \cdot n_2 \cdot (2 \cdot n_1 + n_2 - 1)}{(n_1 + n_2)^2 \cdot (n_1 + n_2 - 1)}} \quad (\text{Ecuación 2})$$

$$Z_0 = (B - \mu_B) / \sigma_B \quad (\text{Ecuación 3})$$

$$Z_0 > Z_1(\alpha/2), \text{ then Rechaza } H_0. \quad (\text{Ecuación 4})$$

donde n_1 es el número de elementos de una clase, n_2 es el número de elementos de la otra clase y n es el número total de observaciones.

Para validar el test de rachas se aplicó el criterio indicado en la tabla 6:

Tabla 5. Valores críticos test de Rachas

Nº datos	10	20	30	40	50	60	80
Número mínimo de rachas	2	6	10	14	18	22	31
Nº Max de rachas	6	15	21	27	33	39	50

Nota: Con el nivel de confianza del 95%.

7.1.2 Inspección y cálculo de estadística descriptiva

La desviación estándar mide la dispersión de los datos con relación a la media y el sesgo me indica la simetría de la distribución.

7.1.3 Distribución de datos (Normalidad)

Se evalúa en las series de tiempo el tipo de distribución mediante la aplicación de la pruebas de kolmogorv Smirnov o Shapiro Wilk, en concordancia con el número de datos.

Si $P\text{value} >$ valor de significancia de 0,05 entonces las muestras atienden a una distribución normal.

7.1.4 Independencia entre variables

Mediante la prueba no paramétrica U de Wilcoxon -Mann-Whitney es posible determinar si dos muestras no tienen distribuciones idénticas, y que se presume que no hay normalidad de los datos

Si $P\text{value} >$ valor de significancia de 0,05 entonces las muestras son homogéneas.

7.1.5 Evaluación de Correlaciones

7.2 Llenado de las series hidrometeorológicas

Se revisaron los estudios de la universidad Nacional de Bogotá en su informe. "Análisis de la calidad, validez y consistencia de la información hidrométrica utilizada en los estudios de caracterización del río Magdalena en el sector Neiva- El Banco". (2000) para el llenado de series. [25]

Reglas para las series según lo expuesto en los artículos:

Se tomarán en consideración para el relleno de datos, que, para datos faltantes de uno a cinco meses en un año, se hallaran valores mensuales faltante para máximo 6 meses por año, se tomaran en cuenta las estaciones más cercanas en distancia y altitud.

Cuando no se tenga datos diarios de más de 10 días es preferible obtener valores mensuales.

Para considerar que una estación está habilitada para rellenar deberá contar con al menos el 80% de los datos y que tengan 3 años de series llenas consecutivas.

Reglas para aceptar datos en procesos de interpolación.

Las series deben ser estacionarias es decir estable para lo cual media y varianza son constantes no variables y sin tendencia es decir series estacionales.

Los datos que se almacenan en las estaciones poseen intervalos en los cuales no hay registros debido a fallas de funcionamiento, lo cual implica la aplicación de técnicas estadísticas que permitan el cálculo de dichos datos en las series, se conocen los siguientes métodos para el ajuste de series:

- regresión lineal,

$$\hat{y} = a + b * x$$

(Ecuación 5)

- Completación por razones de distancias,

$$PX = PA + a * \left[\frac{(PB - PA)}{(a + b)} \right]$$

(Ecuación 6)

- Completación por promedios vecinales:

$$X_{media} = P_{media} = \sum_{i=1}^n \frac{P_i}{n} \quad Y = (Y_{media}/X_{media}) * X \quad \text{(Ecuación 7)}$$

- Completación por razones promedio o razón normal,

$$P_x = \frac{\bar{P}_x}{N} * \left[\frac{P_A}{P_A} + \frac{P_B}{P_B} + \dots + \frac{P_N}{P_N} \right]$$

(Ecuación 8)

- Regresiones múltiples-regresión ortogonal

Este método, es una extensión del método de regresión simple y su forma de estimar la precipitación se basa en la expresión matemática (9):

$$Y^{\wedge} = a + bX + cX + dX + \dots nX \quad \text{(Ecuación 9)}$$

Donde; Y^{\wedge} = Valor de precipitación estimada para la estación con carencia de Información;

X_i = Valor de precipitación en estaciones con información completa.

a, b, c, n = Constantes de regresión Ortogonal

Coeficientes

$a = Y_{media} - (\text{covarianza}/\text{varianza } x) * x_{media}$ (Ecuación 10)

$b = \text{Covarianza}/\text{varianza } x$

- Índice de precipitación []

$$\left(\sum_{i=1}^{12} P_i^2 \right) / Pa^2 * 100 \quad \text{(Ecuación 11)}$$

Se toma la siguiente ponderación para medir la estacionalidad:

≤ 10 baja estacionalidad

11-20 medio estacionalidad

≥ 20 alta estacionalidad.

Fuente: Oliver, J.E. (1980). Monthly precipitation distribution: a comparative index. The Professional Geographer, 32(3), 300-309 (documento IDEAM)

7.2.1 Método de los promedios

Se aplicó el método de los promedios para determinar valores de lluvia horaria entre estaciones que presentaran correlación favorable la cual debía tener un factor mayor a 0,7. En el siguiente ejemplo se muestra la consistencia de datos entre las estaciones Norte y Centro en la cual el 18 de octubre de 2011 se tienen la siguiente secuencia de precipitación, tabla 6:

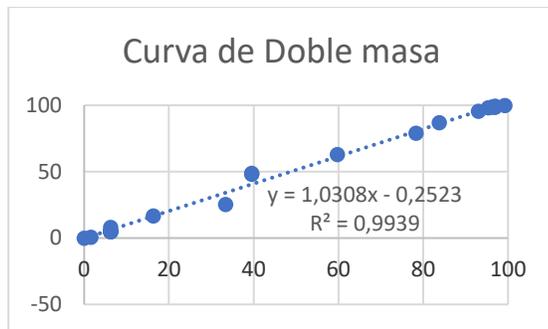
Tabla 6 Series de precipitación diaria

Hora	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
Est Norte(x)	0	0.2	0.6	0	0	0	0	0	1.3	2.2	0.8	0	0.5	2.6	2.4	0.7	1.2	0.3	0.1	0.1	0	0	0.3	0.1
Est Centro (y)	0	0.1	0.7	0	0	0	0	0.5	1.4	1.4	3.7	0.1	?	2.3	2.6	1.3	1.4	0.4	0.1	0	0	0.1	0.1	0

Fuente: propia

Se necesita saber el valor a las 12 horas en la serie Est Centro. Se realizó el análisis de consistencia mediante la curva de doble masa con un factor de correlación de 0.9939 aceptable para la aplicación del método en la cual se hace una estimación lineal de los datos, como se observa en la gráfica 12.

Gráfica 11. Curva doble masa para análisis de homogeneidad de series



Fuente: propia

De la estimación lineal se tiene la siguiente ecuación a resolver:

$$Y_{\text{estimar}} = \left(\frac{y}{x}\right) * X_{\text{conocido}} \quad (\text{Ecuación 12})$$

Como resultado tenemos que a las doce horas del día 18 de octubre de 2011 el valor de precipitación estimado es de 0.627 mm

7.2.2 Método de correlación ortogonal

Se aplicó el método de correlación ortogonal para determinar valores de lluvia mensual entre estaciones que presentaran correlación favorable la cual debía tener un factor mayor a 0,7. En el siguiente ejemplo

se muestra la consistencia de datos entre las estaciones IDEAM y Norte para el año 2012, se tienen la siguiente secuencia de precipitación, tabla 8:

Tabla 7 Series de precipitación mensual

Mes	Ene	feb	mar	Abril	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Est IDEAM(x)	52.5	77.8	102.7	226.1	68.3	150	0	0	1.3	2.2	0.8	0
Est Norte (y)	45.7	47.5	94.5	138	51.4	124	72.7	¿?	¿?	¿?	¿?	131

Fuente:propia

Se necesita saber los valores mensuales de agosto, septiembre, octubre y noviembre del año 2012 en la estación Norte. Se realizó el análisis de consistencia, usando la función de correlación:

$$R = \frac{\sum(X-\bar{X})*(Y-\bar{Y})}{(n-1)\sigma_x\sigma_y} \text{ (Ecuación 13)}$$

cuyo resultado es de 0.8993 lo cual es aceptable.

La información estadística a utilizar fue la siguiente: desviaciones estándar (σ_x, σ_y), varianzas (σ_x^2, σ_y^2), covarianza σ_{xy}

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{\sum(x-\bar{x})^2}{n-1}} \text{ (Ecuación 14) ;}$$

$$\sigma_y = \sqrt{\frac{\sum(y-\bar{y})^2}{n-1}} \text{ (Ecuación 15) ;}$$

$$\sigma_x^2 = \frac{\sum(x - \bar{x})^2}{n} \text{ (Ecuación 16)}$$

$$\sigma_y^2 = \frac{\sum(y-\bar{y})^2}{n} \text{ (Ecuación 17)}$$

$$\sigma_{xy} = \frac{\sum(x-\bar{x})(y-\bar{y})}{n} \text{ (Ecuación 18)}$$

$$\sigma_x^2 = 3212.8655$$

$$\sigma_y^2 = 1527.1943$$

$$\sigma_{xy} = 1723.8323$$

Como resolución se debe calcular la ecuación cuadrática donde $\Lambda_1 > \Lambda_2 > 0$

$$\Lambda^2 - (\sigma_x^2 + \sigma_y^2)\Lambda + \sigma_x^2 * \sigma_y^2 * \sigma_{xy}^2 \text{ (Ecuación 19)}$$

$$\Lambda_1 = 4288.8682$$

$$b = \sigma_{xy} / (\Lambda_1 - \sigma_y^2) \text{ (Ecuación 20)}$$

$$a = 18,37$$

$$b = 0.624$$

$$Y_{estimar} = (a) + b * (x \text{ conocido}) \text{ (Ecuación 21)}$$

Como resultado tenemos:

Tabla 8 Estimación series de precipitación mensual

Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre
80.63	57.16	82,006	71.14

Fuente: elaboración del proyecto

7.2.3 Regresión lineal

Se consideran nuevamente las ecuaciones 13,14,15,16,17,21 y la formula de llenado de datos faltantes es

$$Y = a + bx,$$

$$a = \hat{Y} - (\sigma_{xy} / \sigma_y^2) * \hat{X} \quad (\text{Ecuación 22})$$

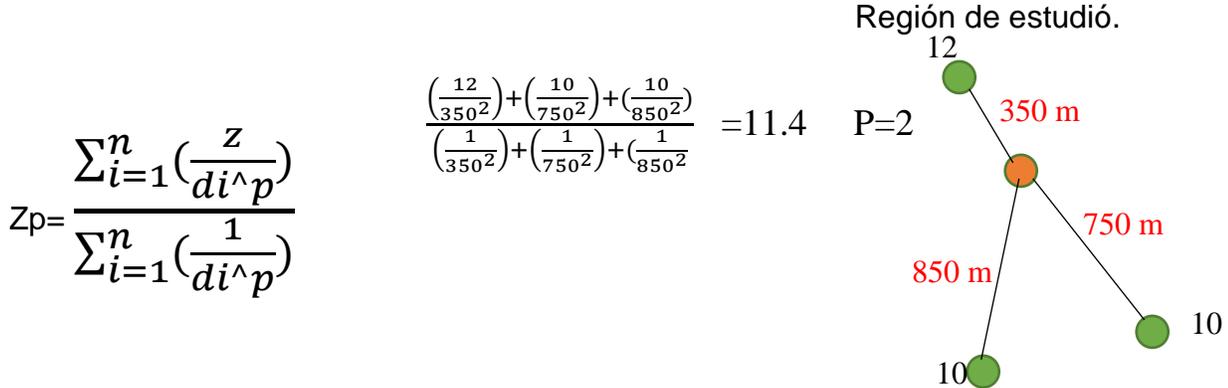
$$b = (\sigma_{xy} / \sigma_y^2) \quad (\text{Ecuación 23})$$

7.3 Interpolación

Para estudiar los procesos de interpolación se recurrió a la lectura de los artículos Vargas.Santos.Cardenas.Obregon.(2011).Reinoso.(2015).Villatoro.(2008).Comparacion de los interpoladores idw y kriging en la variacion espacial de ph, ca,cice, y p del suelo. Zuluaga.(2018).Evaluación de metodologías de interpolación de radiación solar en Colombia. Mendez(2016) Assessing the performance of several rainfall interpolation methods as evaluated by a conceptual hydrological model,154,1050-1027. Seka(2001).Spatial interpolation and estimation of solar irradiation by cumulative semivariograms y Pereira(2010).Análisis comparativo de diferentes métodos de interpolación en Sierra Nevada , aplicación a la precipitación extrema de Otoño e Invierno". [26] [27] [28] [29] [30] [31] [32]

7.3.1 IDW: A partir de la información de la página web <https://pro.arcgis.com/en/pro-app/help/analysis/geostatistical-analyst/how-inverse-distance-weighted-interpolation-works.htm>. Los autores de ESRI. (2017). Se da mayor peso a los puntos o vecinos más cercanos a la ubicación de predicción. A medida que aumenta la distancia elevada a un número P, a medida que P es grande los pesos de los puntos distantes disminuyen rápidamente. [33]. Ejemplo presentado en el gráfico 12:

Gráfica 12. Esquema IDW

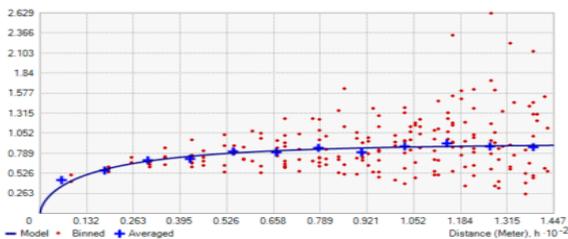


7.3.2 KRIGING: FORMA HOMOGENEA—ESTADISTICOS

Antes de hacer uso del método de interpolación de Kriging se debe calcular los siguientes parámetros estadísticos: promedio (m), desviación estándar (SD), coeficiente de variación (CV), mediana (M), mínimo (mín), máximo (máx), skewness (Sk) y kurtosis (Kur), como lo menciona el autor de ESRI(2017). ¿Cómo funciona Kriging?. [34]

Después, la normalidad de los datos fue comprobada con el test de Shapiro-Wilk y Kolmogorov Smirnov con $p > 0.05$. Si los datos no representan una distribución gaussiana y presentan una skewness(español) muy elevada y outliers(español), éstos podrían influenciar la estructura del variograma como se observa en el grafico 14 y los resultados de la interpolación. En el presente estudio, las distribuciones de precipitación y radiación son objeto de análisis antes de decidir su aplicación.

Gráfica 13. Variograma de temperatura



Fuente: propia

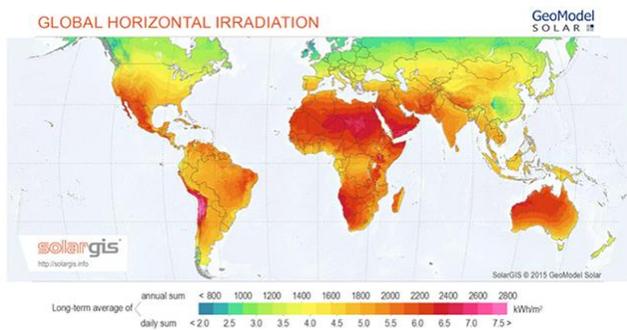
7.4 Radiación Solar

Al hacer lectura del mapa 5, es sabido que la ubicación geográfica de Colombia lo favorece a la radiación solar no obstante los picos máximos se encuentran en la costa atlántica como se observa en el mapa del IDEAM, mapa 3, además se debe tomar en cuenta otros factores como

la inclinación frente al sol y los factores meteorológicos en los cuales hay zonas con mayor o menor nubosidad asociadas a otras variables climáticas como humedad, precipitación. Los siguientes artículos han sido de referencia en este proyecto para el cálculo del potencial energético. García. Ulloa. Meulenert. Ramírez(2011).Marenco.(2017). Marín. Quintero. (2017). Metodología para el desarrollo de proyectos de energía solar fotovoltaica y eficiencia energética en el sector rural del eje cafetero. Almorox.(2005).Rodríguez(2017). UPME(2016).Almorox.(2008).Estimation of global solar radiation in Venezuela. [35] [36] [37] [14] [38] [39] [40]

Mapa 5.

Radiación mundial



Fuente: solargis

En estaciones donde se tenían valores de brillo solar se aplicó la formula de Angstrom- Prescott

$$\frac{H}{H_0} = \left(a + b \frac{n}{N} \right)$$

(Ecuación 24)

Hc es la radiación superficial para condiciones de cielo despejado, tomando valores promedio mensuales, n es el valor de brillo solar, y N la duración astronómica del día. a y b son contantes cuyos valores fueron tomados de otros estudios donde se calculó su valor.

Declinación Solar:

$$\delta = 23.45^\circ \sin\left(\frac{360(dn+284)}{365}\right)$$

(Ecuación 25)

dn = día del año

Constante Solar que corresponde a la irradiancia promedio que recibe la tierra del sol, I₀= 1367 W/m²
 Intensidad radiación del solar= potencia/superficie

$$\text{Superficie} = 4 \cdot \pi R^2 \quad R = 1.5 \times 10^{11} \text{ m} \quad \text{Potencia} = 4 \times 10^{26} \text{ W} \quad I = 1400 \text{ W/m}^2$$

Debido a la trayectoria de la tierra tenemos las siguientes corrección debido a la distancia al sol en Unidad astronómica se obtiene un valor de lo.

Factor de Excentricidad:

$$\varepsilon = 1 + 0.033 \cos\left(\frac{360(dn)}{365}\right) \quad (\text{Ecuación 26})$$

Angulo de Salida del Sol al amanecer:

$$\omega = -\arccos(-\tan(\delta) \cdot \tan(\Phi)) \quad (\text{Ecuación 27})$$

Φ = latitud

Irradiancia Solar extraterrestre

$$H_0 = \left(\frac{T}{\pi}\right) I_0 \varepsilon \left[-(\pi) * (w * \sin(\Phi) * \sin(\delta) - (\cos(\Phi) * \cos(\delta) * \sin(\omega))) \right] \quad (\text{Ecuación 28})$$

Índice de Claridad:

$$K_{Tm} = G_0 / H_0 \quad (\text{Ecuación 29})$$

G_0 = radiación diaria horizontal sobre la superficie de la tierra.

7.4.1 Sistema receptor de la luz solar

Los sistemas fotovoltaicos se refieren a una amplia variedad de sistemas de energía solar que usan paneles hechos de celdas de silicio policristalino o monocristalino, las cuales son empleadas para convertir energía solar en electricidad.

7.4.1.1 Clasificación de los SFV por su estructura.

Los SFV, independientemente de su utilización y del tamaño de potencia, se pueden dividir en dos categorías: Sistemas Fotovoltaicos Aislados. Sistema Fotovoltaico Conectado a la Red (SFCR).

7.4.1.2 Sistema fotovoltaico conectado a la red (SFCR)

La conexión de un sistema fotovoltaico a la red eléctrica está sujeta a la cantidad de potencia que se desea inyectar lo cual se refleja en la cantidad de módulos con los que se cuenta.

La Energía solar, es la energía obtenida mediante la captación de la luz y el calor emitidos por el sol. La radiación solar que alcanza la Tierra puede aprovecharse por medio del calor que produce, como también a través de la absorción de la radiación, por ejemplo, en dispositivos

ópticos o de otro tipo. Es una de las llamadas energías renovables particularmente del grupo no contaminante, conocido como energía limpia o energía verde. Las siguientes referencias bibliográficas fueron leídas en este apartado. Hernández. (2017). Ospino. Castro. (2010) Análisis del potencial energético solar en la región caribe para el diseño de un sistema fotovoltaico,6,95-102. Loaiza. (2018).. Narváez(2008).. [41] [42] [43] [44]

cálculos sistemas fotovoltaicos

La potencia de la radiación varía según el momento del día, las condiciones atmosféricas que la amortiguan y la latitud. Se puede asumir que en buenas condiciones de irradiación el valor es de aproximadamente 1000 W/m² en la superficie terrestre. A esta potencia se la conoce como irradiancia. La radiación es aprovechable en sus componentes directa y difusa, o en la suma de ambas. La radiación directa es la que llega directamente del foco solar. Sin reflexiones o refracciones intermedias. La difusa es la emitida por la bóveda celeste diurna gracias a los múltiples fenómenos de reflexión y refracción solar en la atmósfera, en las nubes y el resto de elementos atmosféricos y terrestres. La radiación directa puede reflejarse y concentrarse para su utilización, mientras que no es posible concentrar la luz difusa que proviene de todas las direcciones. La irradiancia directa normal (o perpendicular a los rayos solares) fuera de la atmósfera, recibe el nombre de constante solar y tiene un valor medio de 1354 W/m² (que corresponde a un valor máximo en el perihelio de 1395 W/m² y un valor mínimo en el afelio de 1308 W/m²).

7.5 Sistema de recolección de aguas lluvias

Los sistemas de aprovechamiento de aguas lluvias se sustentan en los parámetros de volumen de almacenamiento y precipitación local que se determina para este proyecto por Isoyetas y polígonos Thiesen tomando en consideración lo expuesto por los autores de CEPIS (2004). Palacio.(2010).Manco.Guero.Morales.(2016).Estimación de la demanda de agua en centros educativos caso de estudio facultad de ciencias ambientales de la universidad Tecnológica de Pereira Colombia,44,153-164.Ghisi.Lapolli.Martini.(2007). [45] [46] [47] [48]

Los periodos en los cuales se presentaron fenómenos hidrológicos de El Niño y la Niña se muestran en la siguiente tabla:

7.5.1 Cálculo de precipitación

$$Ppi = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} Pi}{n} \quad (\text{Ecuación 30})$$

Ppi= precipitación promedio mensual del mes “i” de todos los años evaluados (mm/mes)

n= número de años evaluados

pi= valor de precipitación mensual del mes “i” , (mm)

7.5.2 Cálculo de demanda de agua

$$Di = \frac{Nu * Nd * Dot * 25\%}{1000} \quad (\text{Ecuación 31})$$

Di= demanda mensual (m³)

Nu= número de usuarios que se benefician del sistema

Nd= número de días del mes analizado

Dot= dotación (L/persona/día)

La ecuación 31 se utiliza para estima la demanda de agua total para una vivienda que para el caso de estudio se tomara solo 20% y 5% como demanda de los sistemas sanitarios y lava - escobas. [49] [6]

7.5.3 Oferta de agua en el mes “i” (Ai)

Se toma en cuenta los promedios mensuales de precipitaciones de todos los años evaluados.

$$Ai = \frac{Ppi * Ce * Ac}{1000} \quad (\text{Ecuación 32})$$

Ai= Oferta de agua en el mes “i” (m³)

Ppi= precipitación promedio mensual (L/m²)

Ce= coeficiente de escorrentía

Ac= área de captación (m²)

Tabla 9 Coeficiente de escorrentía de acuerdo con el material de la superficie de captación

Material de techo	Coeficiente de escorrentía (ce)
Lamina metálica	0.9
Tejas de arcilla	0.8-0.9
Madera	0.8-0.9
Paja	0.6-0.7

Fuente. Guía de diseño para captación de agua lluvia. CEPIS.2004

7.5.4 Demanda acumulada (D_{ai})

Se toma en cuenta los promedios mensuales de precipitaciones de todos los años evaluados.

$$D_{ai} = D_{a_{i-1}} + D_i \quad (\text{Ecuación 33})$$

D_{ai} = demanda acumulada al mes "i" (m^3)

D_{ai-1} = demanda acumulada al mes anterior i-1 (m^3)

D_i = demanda del mes "i" (m^3)

7.5.5 Oferta acumulada (A_{ai})

$$A_{ai} = A_{a_{i-1}} + A_i \quad (\text{Ecuación 34})$$

A_{ai} = Oferta acumulada al mes "i" (m^3)

A_{ai-1} = oferta acumulada al mes anterior i-1 (m^3)

A_i = oferta del mes "i" teniendo en cuenta las pérdidas (m^3)

7.5.6 Volumen almacenamiento (V_i)

Se determina la diferencia entre la oferta y la demanda acumuladas para cada mes cuyo valor corresponde al volumen de almacenamiento.

$$V_i = A_{ai} - D_{ai} \quad (\text{Ecuación 35})$$

V_i : volumen de almacenamiento del mes "i" (m^3)

A_{ai} : oferta acumulada al mes "i" (m^3)

D_{ai} : demanda acumulada al mes "i" (m^3)

7.5.7 Potencial de ahorro de agua potable (PPWS)

Se determina de acuerdo con el volumen de agua lluvia posible de ser recolectada y la demanda existente, en un mes. [48]

$$PPWS = 100 * \frac{VR}{PWD} \quad (\text{Ecuación 36})$$

PPWS= Potencial de ahorro de agua potable (%)

VR = volumen mensual de agua lluvia que puede ser recolectado (m^3 /mes)

PWD= Demanda mensual de agua potable (m^3 /mes)

7.6 Cobertura de Estaciones

Se hizo una revisión de la ubicación de estaciones según reporte del IDEAM que se ve reportada en el mapa 5, tomando en cuenta zonas urbanas con registro reportada en la tabla 10.

Tabla 10 Densidad mínima recomendada de estaciones pluviométricas.

Unidad fisiográfica	Densidad mínima por estación en km ² de superficie
Zonas costeras	9.000
Zonas montañosas	2.500
Llanuras inferiores	5.750
Zona escarpada/ondulante	5.750
Zona urbana	10 a 20

Fuente: IDEAM

$$R = 0.64 (S/N)^{0.5} \quad (\text{Ecuación 37})$$

Donde,

R: Radio de cubrimiento

S: Área de la zona a evaluar en km²

N: Número de estaciones en la zona

Para el caso del análisis de la red de monitoreo de la precipitación, la variable S corresponde al total del municipio de Bucaramanga, mientras que, para la temperatura, S corresponde al área de la zona altitudinal donde se ubican las estaciones. A partir de la Ecuación 37 se calcularon los radios R1 igual al valor de R, que determina la zona de cobertura de cada estación y un R2 igual a 1.75R, que corresponde al lugar óptimo de futuras estaciones.

7.7 Efecto del fenómeno de niño y niña en la precipitación.

Se revisó periodos de niña y niño estimados por la literatura y enunciados en la tabla 12 para corroborar con los datos de las estaciones.

Tabla 12. *Períodos de niño y niña*

Fenómeno	Inicia	Finaliza
El Niño	Enero 1998	Junio 1998
la Niña	Junio 1998	Marzo 2001
El Niño	Abril 2002	Abril 2003
El Niño	Mayo 2004	Marzo 2005
El Niño	Julio 2006	Febrero 2007
La Niña	Agosto 2007	Junio 2008

Fuente: IDEAM

El fenómeno del niño genera una disminución de la precipitación y su aumento en el fenómeno de la niña, que han de tomarse en consideración al momento del cálculo de potencial hídrico.

7.8 Sistemas de información geográfica

A partir de la lectura del libro “Sistemas de información geográfica” de Jorge Hernando Gómez, podemos definir que un SIG permite visualizar datos para mejorar la capacidad de toma de soluciones para solucionar un problema o hacer un mejor uso de los recursos naturales. Los SIG están conformados por objetos representados de forma vectoriales (punto, línea o polígono) y ráster (matriz de pixeles) que se organizan en un modelo orientado de objetos. [50] [51]

7.9 Clasificación climática

Se tienen 5 metodologías para caracterizar el clima de una zona: Clasificación Caldas, Lang, Caldas-Lang, Emmanuel Martonne y Wilhelm Köppen.

7.9.1 Clasificación de Clasificación Caldas: Considera unicamente la variación de la temperatura con la altura (pisos térmicos) y su aplicabilidad es exclusiva para el trópico americano. Francisco Jose de Caldas establecio 5 pisos termicos asi:

Tabla 11 *Clasificación Caldas*

Piso Térmico	Símbolo	Rango de altura en metros	Temperatura en °C	Variación de la altitud por condiciones locales
Cálido	C	0 a 1000	T>24	Límite superior +/- 400
Templado	T	1001 a 2000	24>T>17.5	Límite superior +/- 500 Límite inferior +/- 500
Frio	F	2001 a 3000	17.5>T>12	Límite superior +/- 400 Límite inferior +/- 400
Páramo Bajo	Pb	3001 a 3700	12>T>7	
Páramo Alto	Pa	3701 a 4200	T<7	

Fuente: Tomado del Atlas Climático 2005

7.9.2 Clasificación Climática Lang: Utiliza la precipitación anual en mm y la temperatura media anual en °C.

$$\text{Factor Lang} = \frac{\text{Precipitación}}{\text{temperatura.}}$$

$$\text{Ecuación 1: } T^{\circ}\text{C} = 30,03 - 0,0062^{\circ}\text{H} \quad (37)$$

H=Altura sobre el nivel del mar. Se obtienen 6 clases de clima:

Tabla 12 *Clasificación Lang*

Cociente P/T	Clase de clima	SIMBOLO
0 a 20	Desértico	D
20.1 a 40	Árido	A

40.1 a 60	Semiárido	Sa
60.1 a 100	Semihúmedo	Sh
10.1 a 160	Húmedo	H
Mayor a 160	Superhumedo	SH

Fuente: Tomado del Atlas Climático 2005

7.9.3 Clasificación Caldas-Lang: Schaufelberguer en 1962 unió la clasificación de Lang con la clasificación de Caldas, con lo cual obtuvo 25 tipos de climas que tienen en cuenta la elevación del lugar, la temperatura media anual y la precipitación total media anual.

Tabla 13 *Clasificación Caldas-Lang*

Tipo Climático	Simbolo
Cálido Superhumedo	CSH
Cálido humedo	CH
Cálido Semihúmedo	CsH
Calido Semiárido	Csa
Calido Arido	CA
Cálido Desertico	CD
Templado Superhúmedo	TSH
Templado humedo	TH
Templado Semihúmedo	Tsh
Templado semiarido	Tsa
Templado Arido	TA
Templado Desértico0	TD
Frio Superhúmedo	FSH
Frio humedo	FH
Frio Semihumedo	Fsh
Frio Arido	Fsa
Frio Desertico	FD
Paramo Bajo superhumedo	PBSH

Fuente: Tomado del Atlas Climático 2005

7.9.4 Clasificación de Emmanuel Martonne: Hecha en 1937, se trata de un índice de aridez (I_m) que utiliza la precipitación total anual (p) en mm, la temperatura media anual (t) en °C, la precipitación del mes más seco (PS) en mm y la temperatura de ese mismo mes (T_s) en °C, el índice se halla mediante la siguiente fórmula:

$$I_m = \frac{P}{2(T+10)} + \frac{12Ps}{Ts+10} \quad (\text{Ecuación 38})$$

Se obtiene así seis tipos de climas:

Tabla 14 Clasificación Emmanuel Martonne

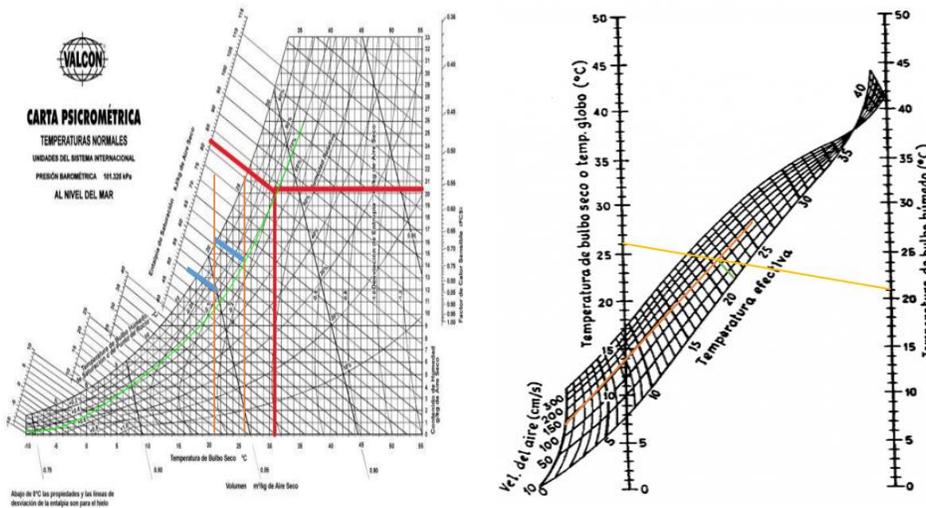
Indice de Aridez (Im)	Tipo de Clima	Símbolo
0 a 5.0	Árido	F
5.1 a 10	Semiárido	E
10.1 a 20	Subhúmedo	D
20.1 a 35	Húmedo	C
35.1 a 100	Humedo lluvioso	B
Mayor que 100	Humedo lluviosos, sin diferencias estacionales, todo el año	A

Fuente: Tomado del Atlas Climático 2005

7.10 Temperatura seca, humedad y efectiva

En estaciones meteorológicas que hacen medición de temperatura seca se hace uso de la carta psicrométrica expuesta en la gráfica 14, que relaciona la humedad y las temperaturas seca y humedad y posteriormente se hace uso del ábaco de temperaturas para obtener la temperatura efectiva.

Gráfica 14. Cálculo de temperatura seca a temperatura húmeda o efectiva



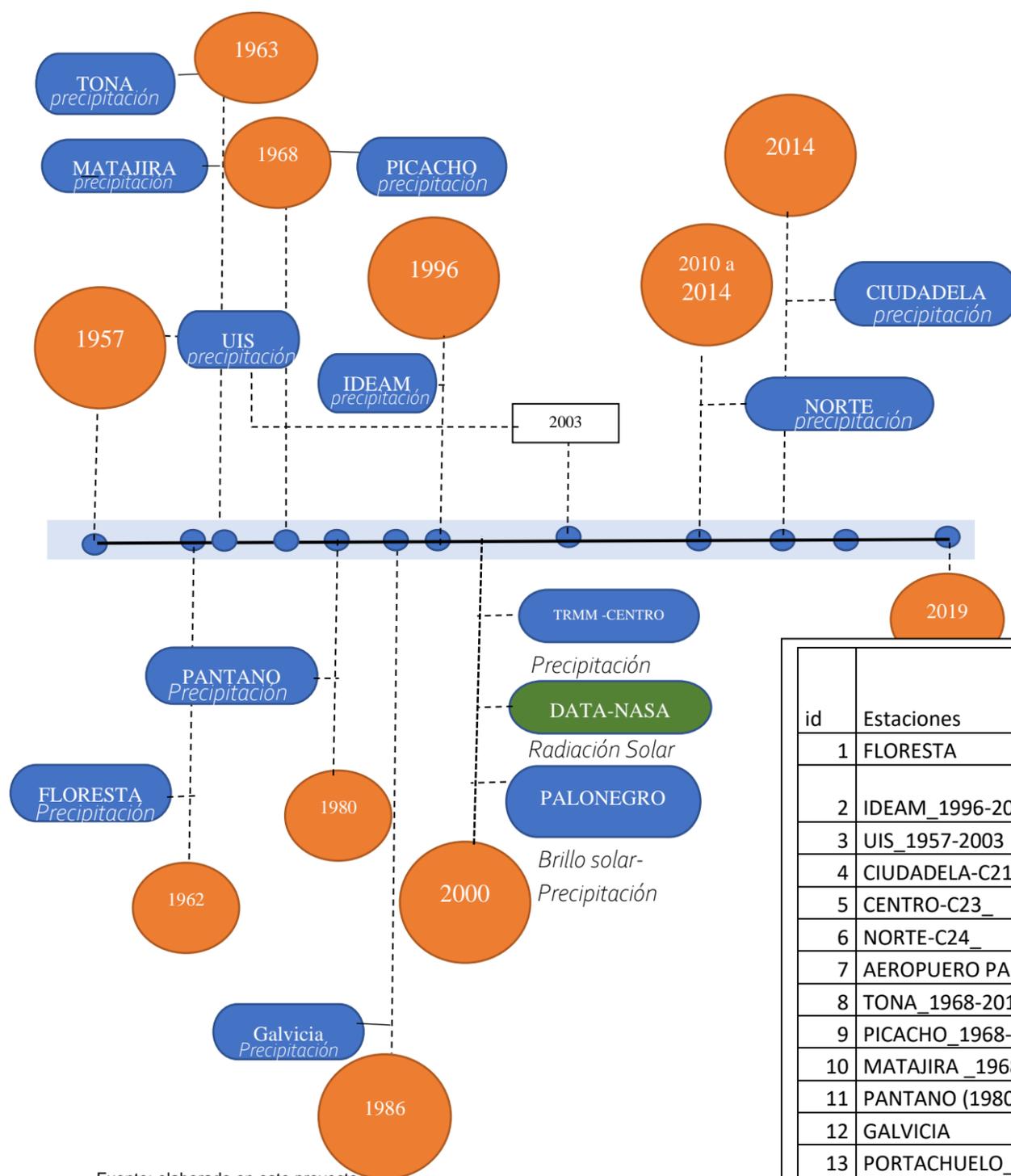
Nota: Para la estación Palonegro se estima que con una velocidad del aire de 140 cm/s y humedad del 72% reportada por el aeropuerto a una temperatura seca de 26 °C se tiene Temperatura humedad de 21°C y temperatura efectiva de 21,1°C.

Fuente: <https:// analisisbioclimaticos.blogspot.com/2012/02/carta-psicrometica.html>

8. ESTACIONES HIDROMETEREOLÓGICAS

En el gráfico 15 se ha elaborado la línea de tiempo de la creación y actividad de las estaciones y servidores de datos NASA, en la cual se tienen registros hasta el año 2019 y se adjunta los detalles de ellas en forma tabulada.

Gráfica 15. Línea de tiempo de estaciones meteorológicas

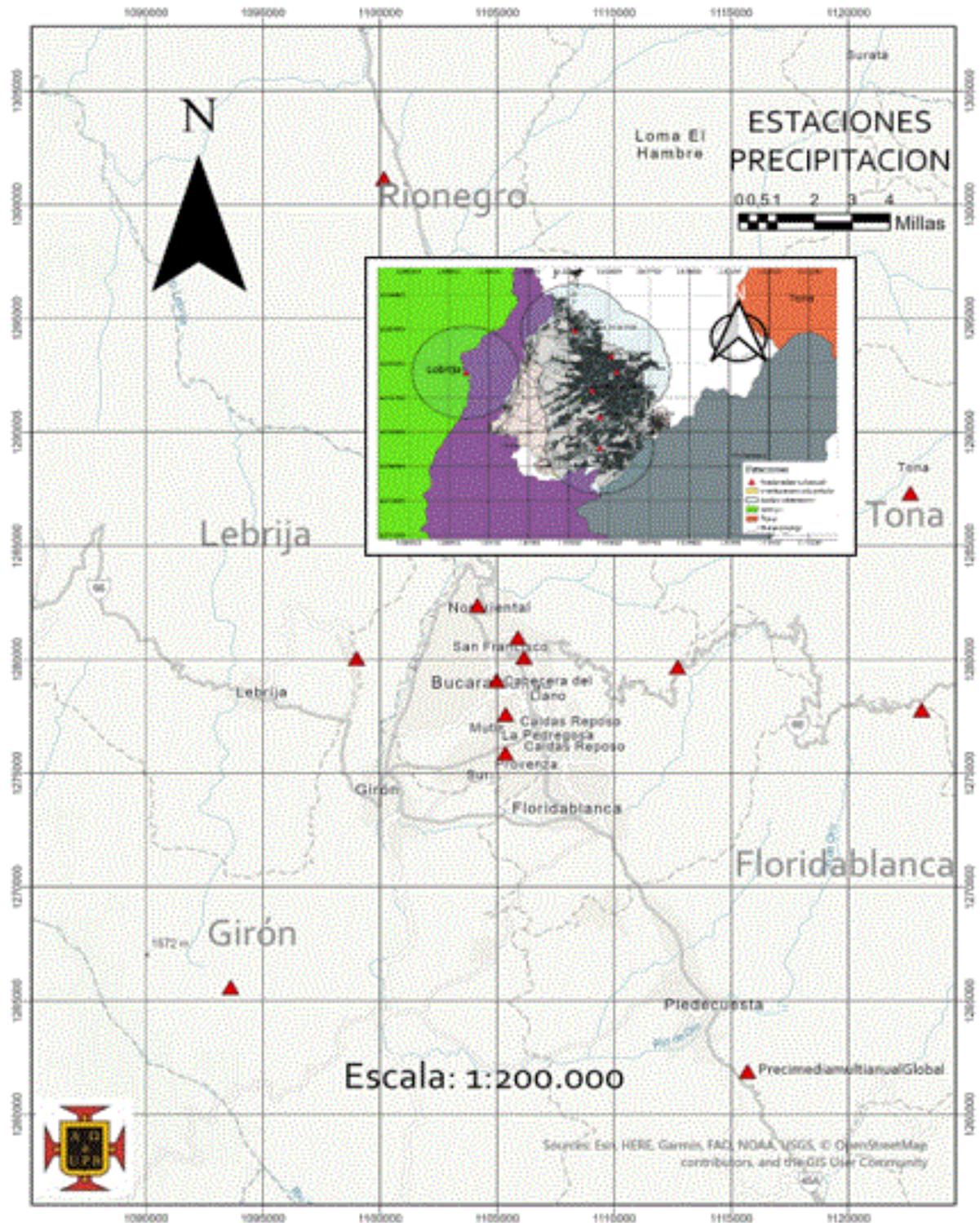


id	Estaciones	NORTE	ESTE	Z	Estado	Tipo	Longitud de registros	Tiempo	Administrador del recurso
1	FLORESTA	1275918,200	1105354,700	925,000	activa	PG	696	1962-2019	IDEAM
2	IDEAM_1996-2019	1280137,000	1106147,620	1025,000	activa	PG	287	1996-2019	IDEAM
3	UIS_1957-2003	1281434,174	1105708,553	1018,000	suspend	CP	552	1957-2003	IDEAM
4	CIUDELA-C21_	1277631,900	1105368,750	938,000	activa	CLIMATOLOGICA	60	2015-2019	CDMB
5	CENTRO-C23_	1279123,300	1104987,380	955,000	activa	CLIMATOLOGICA	60	2010-2014	CDMB
6	NORTE-C24_	1282422,900	1104165,390	790,000	activa	CLIMATOLOGICA	60	2010-2014	CDMB
7	AEROPUERO PALONEGRO	1280097,400	1098997,230	1189,000	activa	CLIMATOLOGICA	240	2000-2019	IDEAM
8	TONA_1968-2016	1287350,376	1122654,898	1910,000	activa	PM	672	1963-2019	IDEAM
9	PICACHO_1968-2016	1277826,605	1123138,214	3310,000	activa	PM	612	1968-2019	IDEAM
10	MATAJIRA_1968-2016	1289231,177	1112248,128	996,000	activa	PM	612	1968-2019	IDEAM
11	PANTANO (1980-2016)	1265633,875	1093618,716	1779	activa	PM	480	1980-2019	IDEAM
12	GALVICIA	1279712,881	1112712,41	1280	activa	PM	396	1986-2019	IDEAM
13	PORTACHUELO_	1301190,406	1100164,792	800	activa	PM	264	1997-2019	IDEAM

Fuente: elaborado en este proyecto

En el mapa 6 se elaboró la ubicación espacial de estaciones y su cobertura ejecutada o radio de acción.

Mapa 6 Estaciones y Coberturas

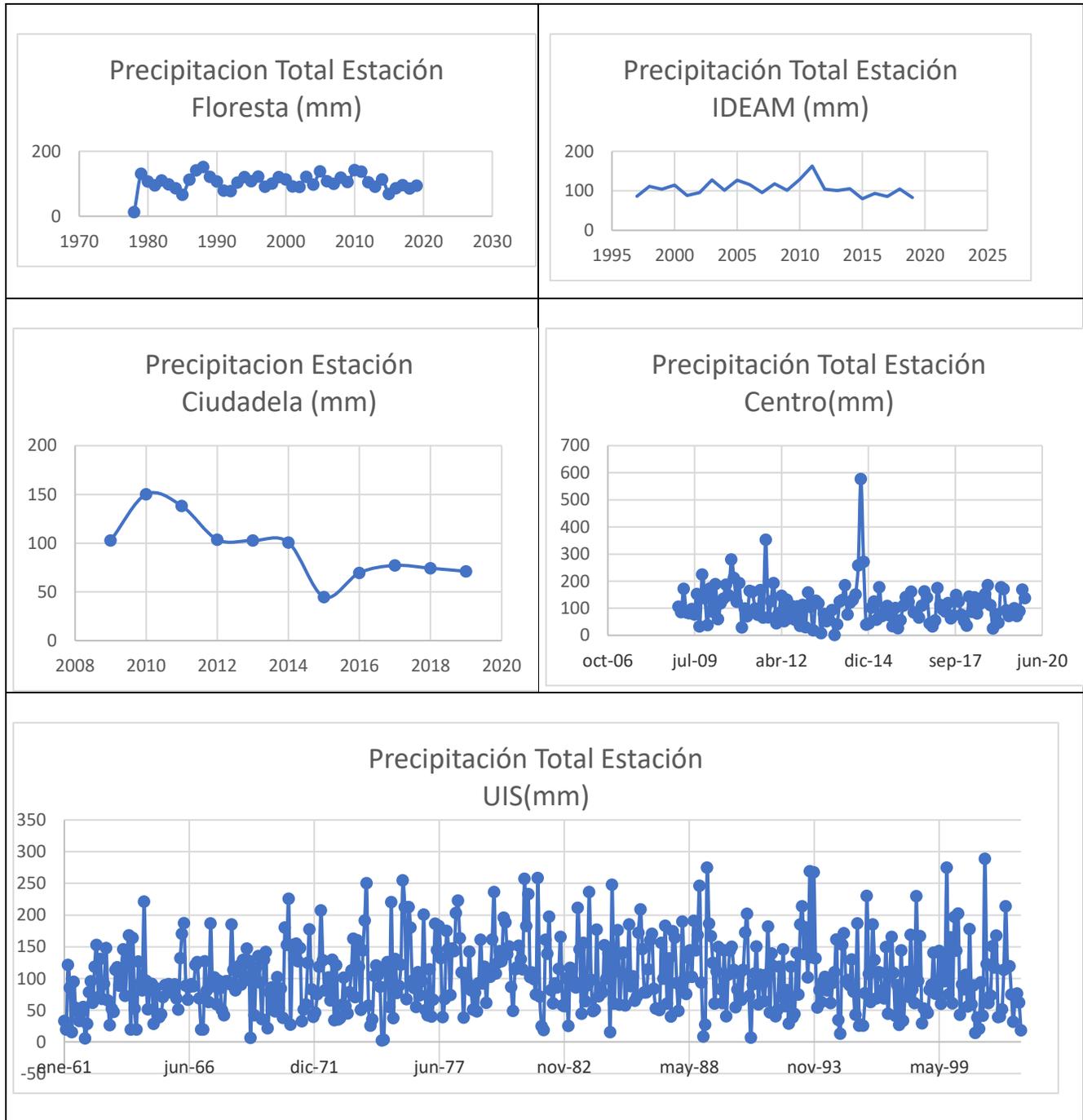


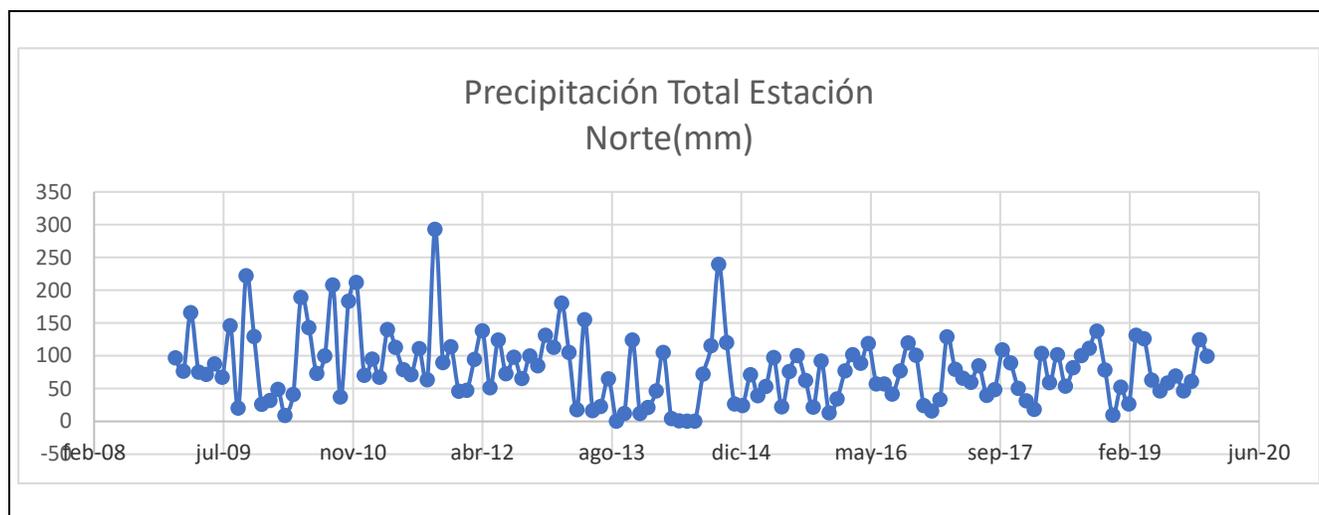
Fuente: Elaborada en el proyecto
Localización de Estaciones y Propuesta de Futuras Estaciones basado en la OMM (organización meteorológica mundial)

9. ESTUDIO DE LAS SERIES DE TIEMPO

El primer ejercicio de estudio de las series corresponde a la gráfica 16 de dispersión, de los datos en los cuales podemos ver el comportamiento de los registros de precipitación en los cuales cada estación tiene resultados diferentes que representan la variabilidad de la lluvia en el espacio y el tiempo.

Gráfica 16. Series de tiempo de precipitación.





Fuente: propia

9.1 Estadística descriptiva

La estadística descriptiva se enuncia en la tabla 15 y fue obtenido mediante la aplicación Rstudio:

Tabla 15 Estadística descriptiva

ESTACION	Media	Mediana	Varianza	desviación estándar	Coefficiente variación	Kurtosis	Sesgo
Precipitación							
FLORESTA	106.24	100.20	3766,625	61,372	57,76	1.62428	0.9585
IDEAM	106,4	90.8	4042,933	63,584	59,75	1.6621	1.074
CIUDEDELA	81.98	72.09	3308.516	57.5197	70.16	3.2070	1.44860
NORTE	79.77	72.70	2787.54	52.79	66.17	1.706966	1.041417
CENTRO	112.31	101.17	5066.37	71.17	63.37	12.97	2.56
UIS	103.8	95.2	3049.329	55.22	51.44	0.06	0.635
PALONEGRO	41.01	33.20	815.0585	28.54923	69.61	1.029187	1.150172
GALVICIA	36.65	33	392.358	19.80	54.02	1.877	1.011772
PANTANO	30.67	26.03	444.19	21.07595	68.69	2.948	1.43
Temperatura							
Norte	24.97	24.92	0.8036	0.8965	3.5	2.46	-0.91
Centro	20.67	20.88	0.94	0.97	4.6	3.53	-1.76
Palonegro	27.89	27.97	0.48	0.69	2.46	-0.5	-0.38
Ciudadela	24.45	23.95	2.85	1.69	7.05	4.42	2.2
Radiación							
Ciudadela	4.44	4.5	1.29	1.13	25.11	0.56	-0.47

Fuente: propia

El análisis explorarlo refleja valores de media y mediana muy cercanos lo cual indica ausencia de valores extremos que causen alteración de la serie. Hay un Comportamiento heterogéneo,

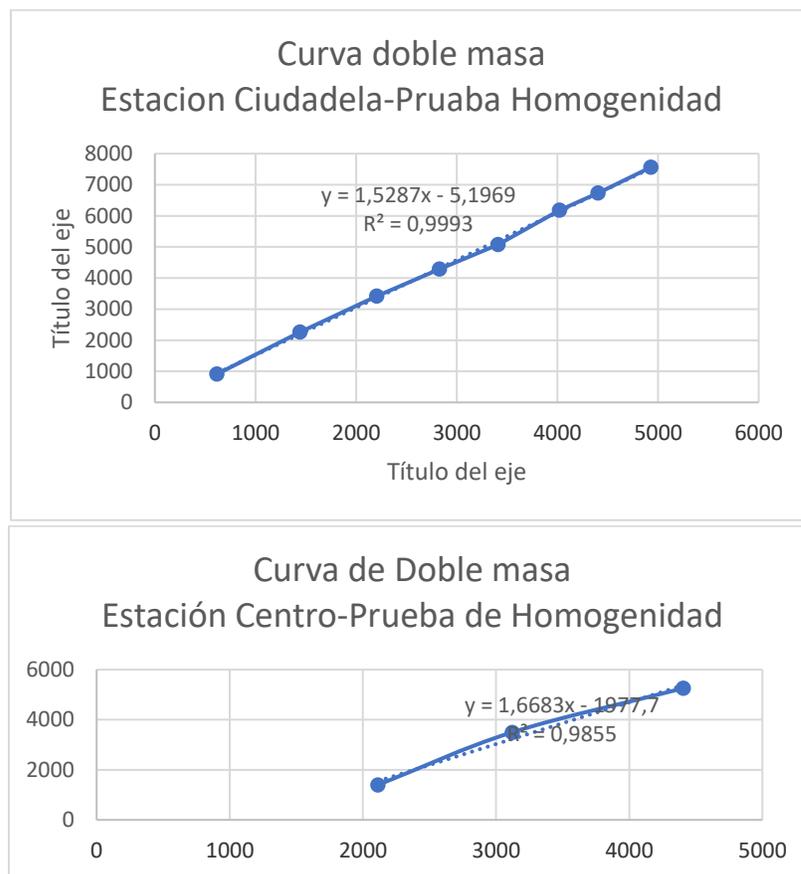
los valores más bajos de curtosis indican que los datos se encuentran concentrados en la región central.

9.2 Homogeneidad

La prueba de normalidad de Kolmogorov-Smirnov en general presentó una significancia estadística inferior a 0.05, rechazando la hipótesis de que las series provienen de una distribución normalmente distribuida. Aplicando la prueba no paramétrica de U-Mann Whitney en el análisis confirmatorio de los datos, se tiene que una parte de las series analizadas presentan dependencia entre sí con valores de significancia superior al 5%, lo cual demuestra la correlación entre estaciones, por similitud en los datos de precipitación mensual, permitiendo completar datos faltantes o redistribuir datos que no fueron tomados en el tiempo requerido.

Mediante el uso de curva de doble masa podemos determinar la consistencia que tiene los datos y que se refleja en las graficas 17.

Gráfica 17. Doble masa de series



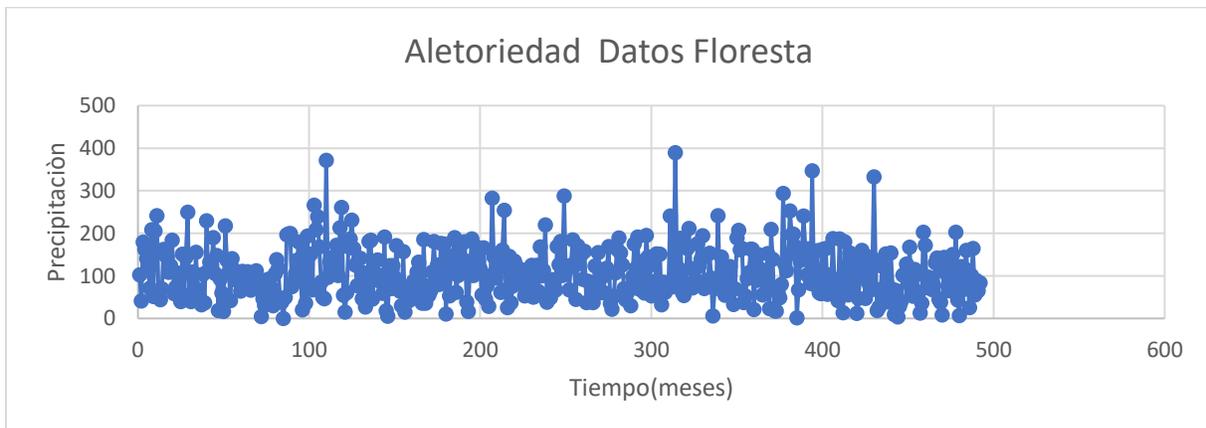
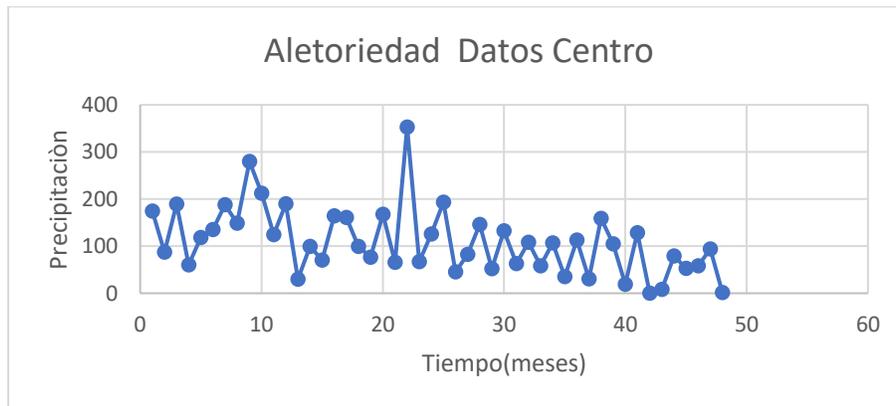
9.3 Aleatoriedad

Para determinar la aleatoriedad de las series de las estaciones en estudio se recurrió a la prueba de rachas con los resultados globales mostrados en la tabla 15 y su representación gráfica de las estaciones Floresta, Centro e Ideam y los datos de cálculo detallado en las tablas 16,17,18.

Tabla 16 Resultados de aleatoriedad de estaciones

ESTACION	# RACHAS	Aleatoriedad
FLORESTA	28	Confirmación
IDEAM	31	Confirmación
CIUDADELA	28	Confirmación
NORTE	31	Confirmación
CENTRO	28	Confirmación
UIS	31	Confirmación
PALONEGRO	30	Confirmación

Gráfica 18. Aleatoriedad de series Centro-Floresta-Ideam



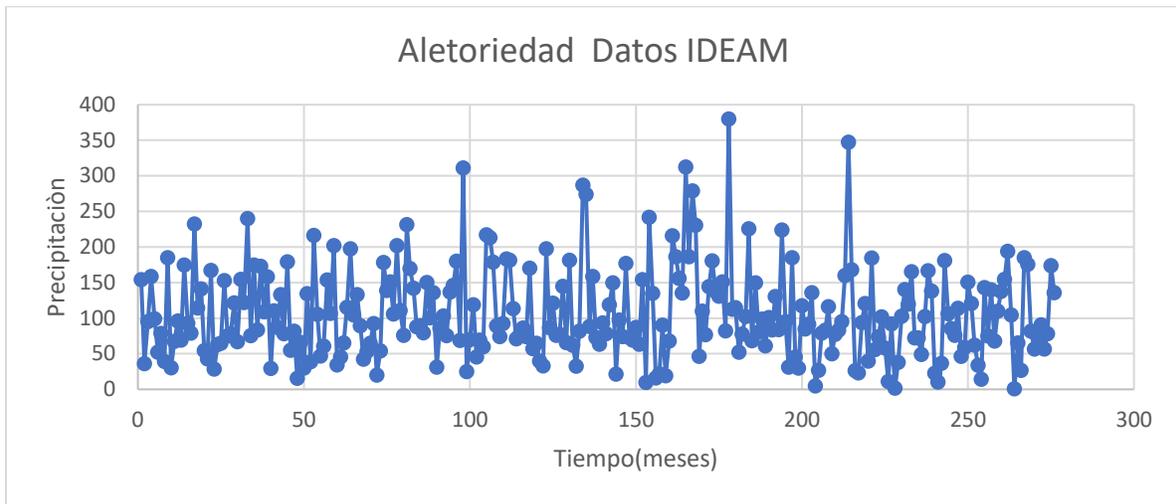


Tabla 17 Cálculos de rachas Centro

# Rachas:18	n1 (número de datos por encima):21	n2 (número de datos por debajo): 26	$\mu_B=24.23$ $\sigma_B=3.35$
$\alpha=0.05$ $Z1(\alpha/2)=1.96$	$Z_0= -1.86$	$Z1 > Z_0$	Ho no se rechaza y la serie es Aleatoria

Tabla 18. Cálculos de rachas Floresta

# Rachas:237	n1 (número de datos por encima):222	n2 (número de datos por debajo): 269	$\mu_B=244.25$ $\sigma_B=10.96$
$\alpha=0.05$ $Z1(\alpha/2)=1.96$	$Z_0= -0.66$	$Z1 > Z_0$	Ho no se rechaza y la serie es Aleatoria

Fuente:propia

Tabla 19 Cálculos rachas Ideam

# Rachas:128	n1 (número de datos por encima):112	n2 (número de datos por debajo): 163	$\mu_B=133.77$ $\sigma_B=7.99$
$\alpha=0.05$ $Z1(\alpha/2)=1.96$	$Z_0= -0.722$	$Z1 > Z_0$	Ho no se rechaza y la serie es Aleatoria

Fuente:propia

9.4 Normalidad

En términos generales los datos no corresponden a una distribución normal y sus cálculos se detallan en la tabla 20.

Tabla 20 Resultados de Normalidad de series

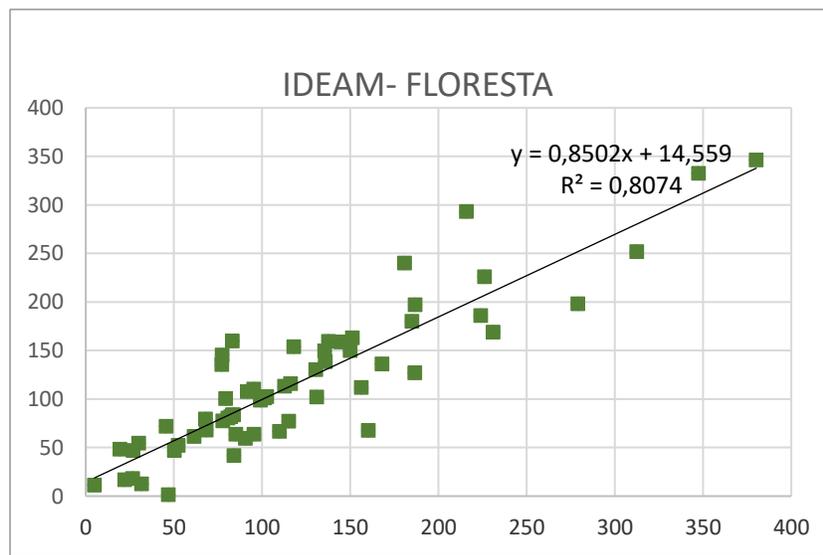
ESTACION	Kolgomorov-Sminorv	Significancia referencia	Hipótesis Distribución Normal
Precipitación			
FLORESTA	5.82e-05	0,05	rechazo
IDEAM	4.839e-08	0,05	rechazo
CIUDADELA	7.96e-06	0,05	rechazo
NORTE	0.06714	0,05	Confirmatorio
CENTRO	0.0099	0,05	rechazo
UIS	1.242e-06	0,05	rechazo
GALVICIA	1.258e-05	0.05	rechazo
PALONEGRO	1.753e-08	0,05	rechazo
PANTANO	1.26e-12	0,05	rechazo
Temperatura			
NORTE	0.225	0,05	Confirmatorio
PALONEGRO	0.3086	0,05	Confirmatorio
CENTRO	1.79*10-5	0,05	Rechazo

Fuente:propia

9.5 Correlaciones-Dispersión-U-MANN WHITHEY

La correlación entre estaciones se realizó mediante la aplicación del coeficiente de Pearson cuyo valor para relacionar la estación IDEAM y Floresta es de 0.8074 y se representa en la gráfica 19.

Gráfica 19. Correlación de estaciones



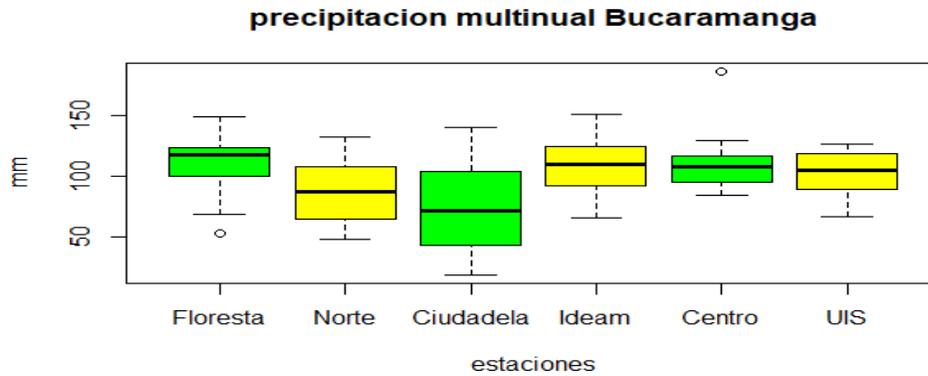
Estación 1	estación 2	Coefficiente Pearson
Floresta	IDEAM	0.9425

Fuente:propia

Se observa una dispersión de los datos a partir de los resultados de coeficiente de variación en 60% aproximadamente y que se ve reflejada en el diagrama de caja y bigotes de la gráfica

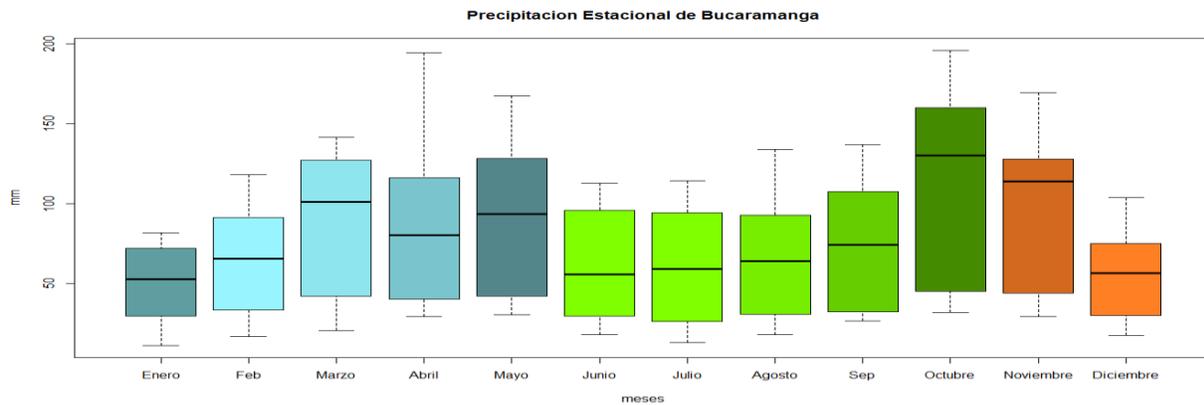
20, de igual manera el gráfico 21 y 22 de bigotes muestra la estacionalidad de la precipitación y la ausencia de tendencia creciente o decreciente y muestra datos cuya serie es aleatoria.

Gráfica 20. Dispersión en precipitación multianual



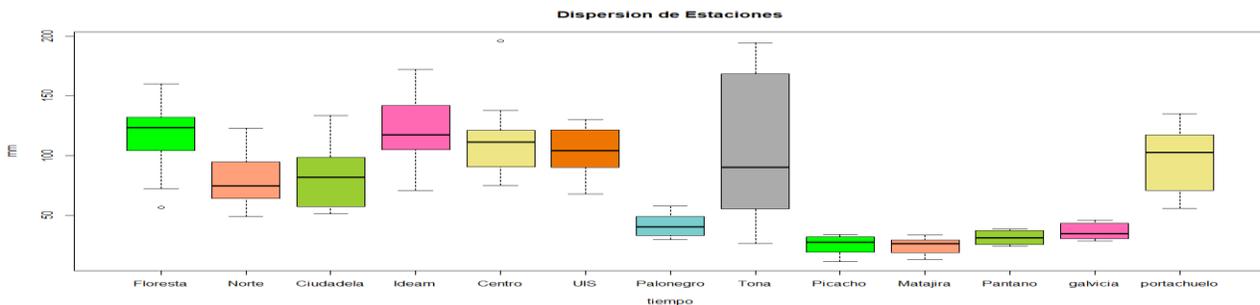
Fuente: propia

Gráfica 21. Estacionalidad en series



Fuente: propia

Gráfica 22. Dispersión de estaciones



Fuente: propia -Tipo gráfico: Diagrama de Caja y Bigotes de los datos

Mediante la prueba U-Mann Whitney se pudo establecer si las estaciones son similares. Los resultados finales se registraron en la tabla 21.

Tabla 21. Resultados prueba Test U-Mann Whitney

Estacion1	Estación 2	P-VALUE	Test U-Mann-Whitney
IDEAM	FLORESTA	0.8649	confirmatorio
FLORESTA	GALVICIA	2,603e-16	rechazo
IDEAM	UIS	0.9673	confirmatorio
CENTRO	IDEAM	0.3886	confirmatorio
CIUDADELA	CENTRO	1.55e-05	rechazo
CIUDADELA	FLORESTA	6.967e-06	rechazo
CIUDADELA	NORTE	0.9538	Confirmatorio
CIUDADELA	IDEAM	3.75e-05	rechazo

Fuente:propia

9.6 Estacionariedad y tendencias

Referente a la estacionariedad, todas las estaciones son estacionarias excepto la estación Palonegro y los resultados fueron desarrollados mediante el test Dickey Fuller y organizados en la tabla 22.

Tabla 22 Resultados prueba de estacionariedad y tendencia de series

Serie	P-value	P-value	Concepto
FLORESTA	0.01	0.36	Estacionaria- sin tendencia
IDEAM	0.01	0.56	Estacionaria- sin tendencia
CENTRO	0.01686	0.4	Estacionaria- sin tendencia
CIUDADELA	0.01106	0.12	Estacionaria- sin tendencia
NORTE	0.01	0.11	Estacionaria- sin tendencia
UIS	0.01	0.07	Estacionaria- sin tendencia
PALONEGRO	0.01736	0.00036	Estacionaria con tendencia
TONA	0.01686		Estacionaria- sin tendencia
MATAJIRA	0.01686		Estacionaria- sin tendencia
PANTANO	0.01	0.53	Estacionaria- sin tendencia
GALVICIA	0.01	0.46	Estacionaria- sin tendencia

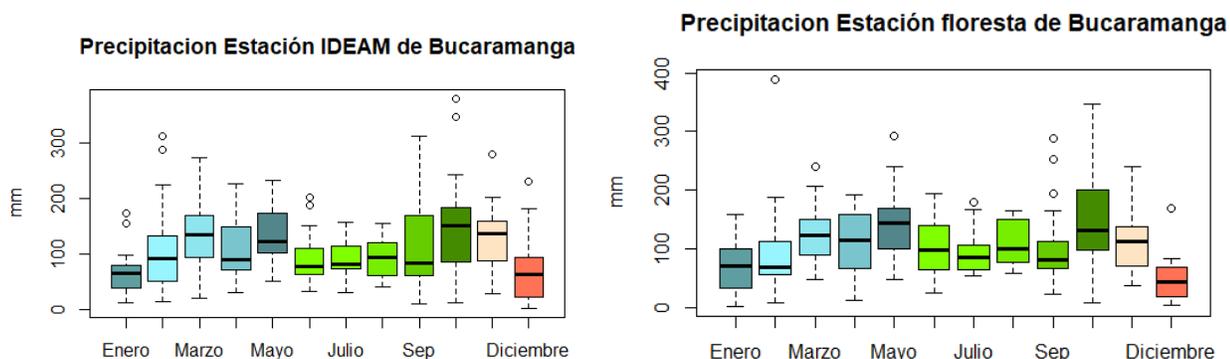
Fuente:propia

Test Dickey Fuller utilizado Rstudio, library(tseries) adf(datosdeserie)-Raiz Unitarias.

Test KENDALL

En la gráfica 23 se compara el mes a mes en dos estaciones, se establece un mismo patrón en la mediana y una dispersión variable.

Gráfica 23. Comparación de estaciones



9.7 Estacionalidad.

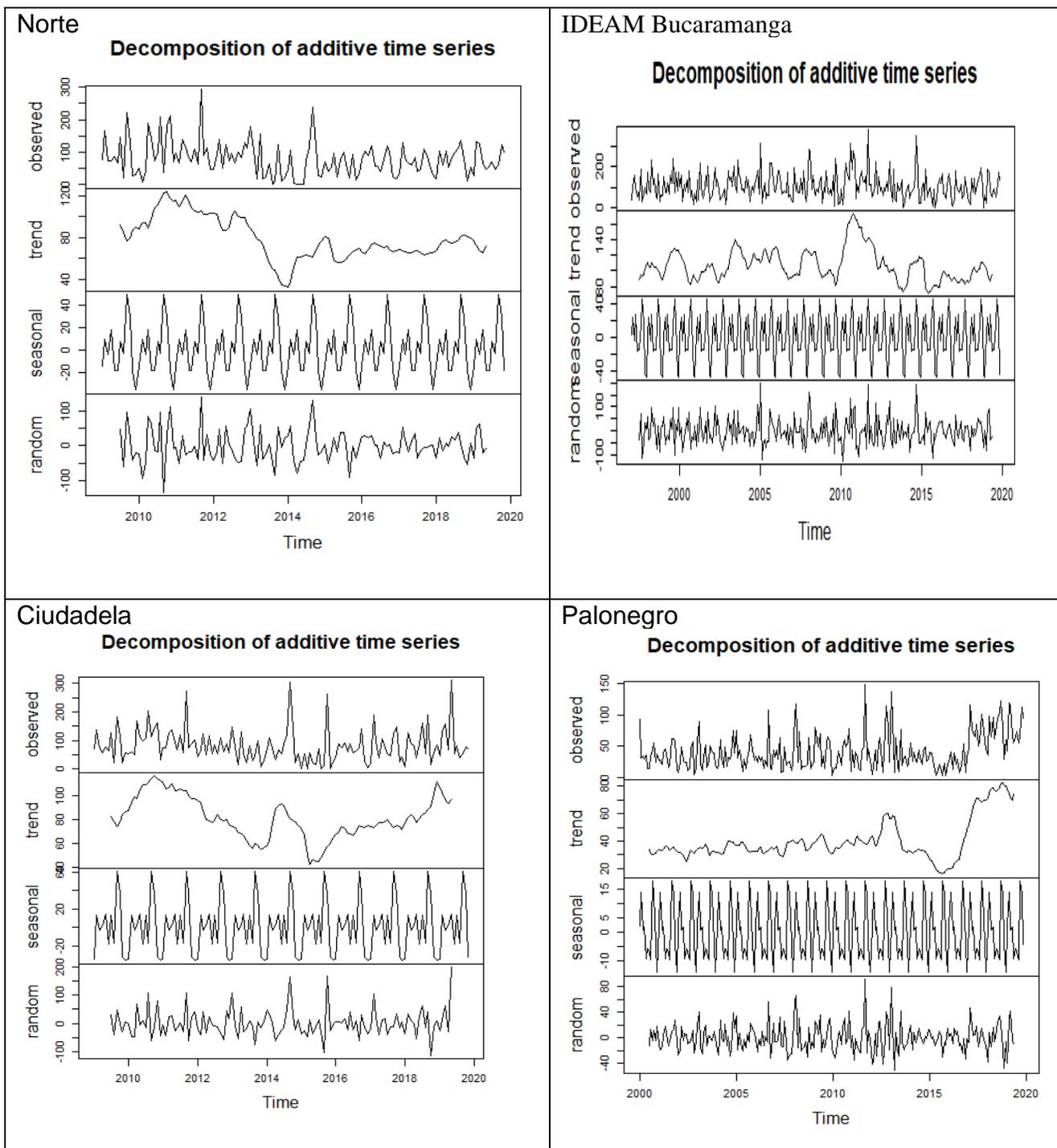
El Índice de Concentración de la Precipitación (PCI), refleja la estacionalidad de las lluvias. Los mayores valores del PCI indican alta estacionalidad, es decir grandes diferencias entre las temporadas secas y lluviosas. La tabla 23 refleje el comportamiento similar de la estacionalidad en las estaciones que corresponden al interior del municipio de Bucaramanga corroborado con el resultado de la gráfica 24 refleja la ausencia de tendencia y estacionalidad de las estaciones.

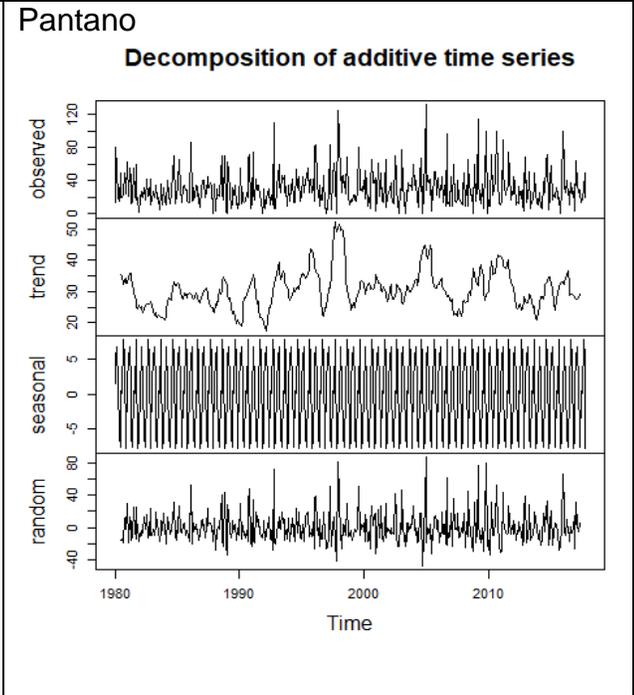
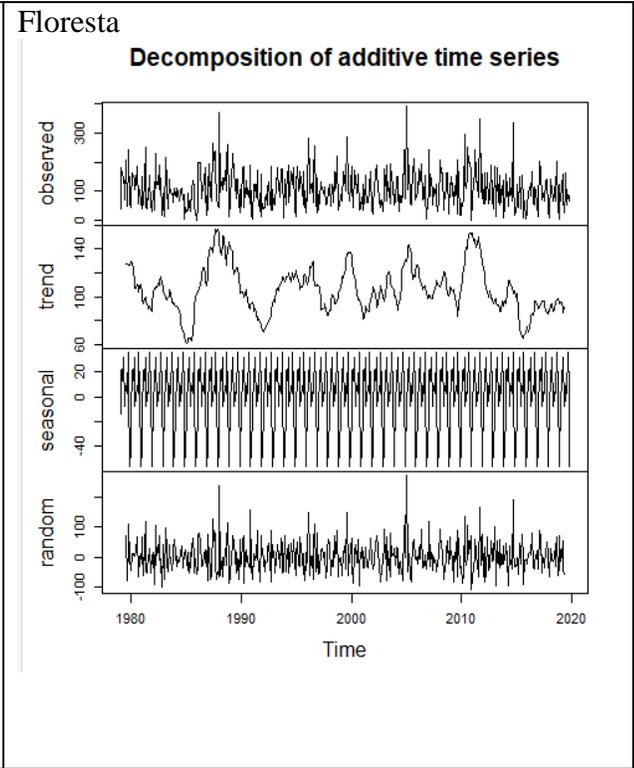
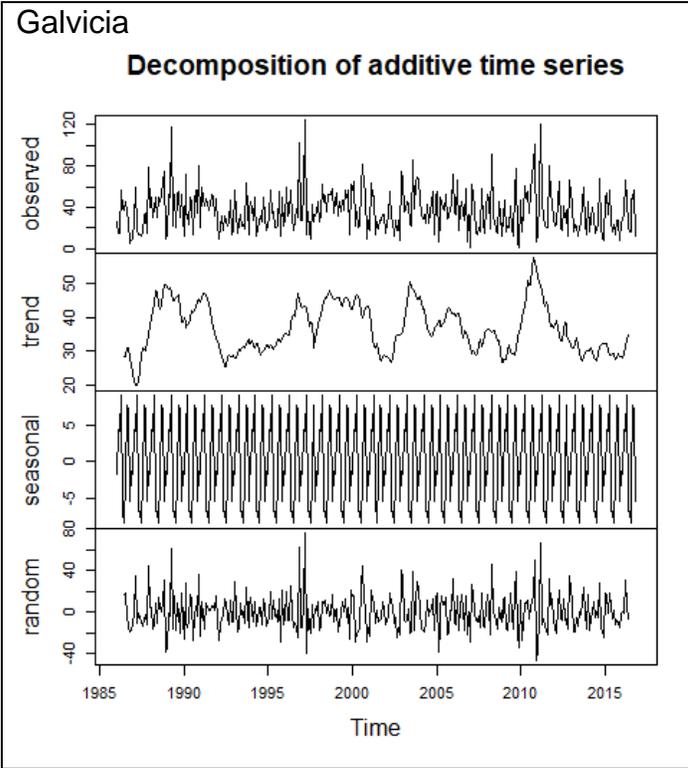
Tabla 23 Índice de estacionalidad- Indicador de estacionalidad.

	Índice de Estacionalidad
FLORESTA	8,840447068
NORTE	8,917297557
CIUDADELA	9,161955897
IDEAM	8,805823575
CENTRO	8,976275118
UIS	8,655097364
PALONEGRO	8,772145919
TONA	10,72409408
PICACHO	8,999736854
MATAJIRA	8,860403166
PANTANO	8,565862533
GALVICIA	8,579404377
PORTACHUELO	8,993211125

Fuente :Propia

Gráfica 24. Estacionalidad





Nota. Elaborado en el proyecto

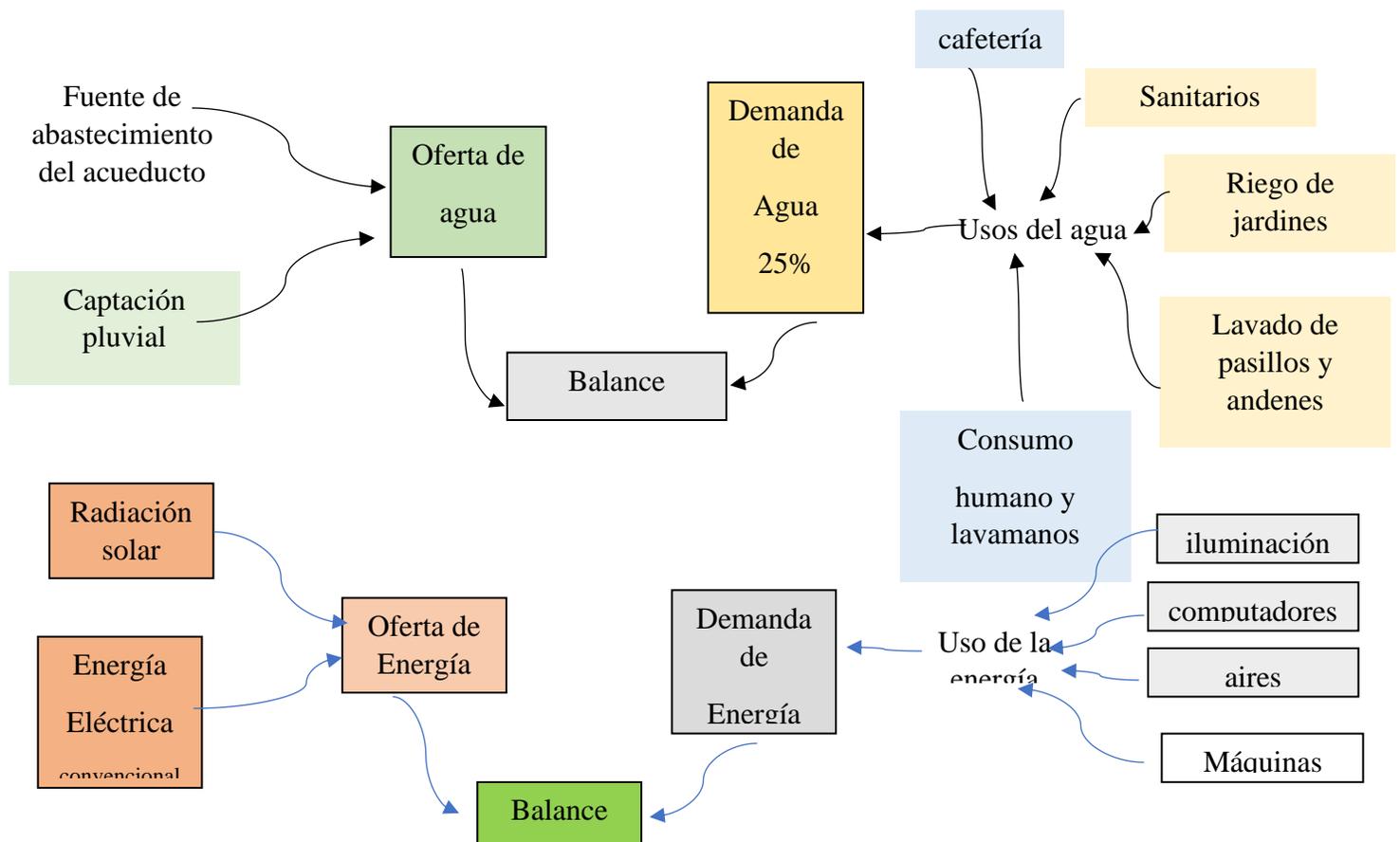
Se observa una dispersión de los datos a partir de los datos descriptivos de coeficiente de variación en 60% , las test de Dickey y Kendall nos informó de la estacionariedad, ausencia de tendencia y una estacionalidad de carácter bajo lo cual se ve reflejada en temporadas secas y lluviosas.

10. ESTUDIO DE OFERTA Y DEMANDA HIDRICA Y ENERGETICA

Se estima que es posible la recolección de las aguas lluvias para disminuir el probable déficit además un ahorro del consumo facturado podrá significar un menor gastos de operación de las entidades públicas y un mejor aprovechamiento de recursos económicos en favor de la calidad educativa.

Pero, obtener la estimación del caudal de precipitación exacta de cada institución no es tan sencillo debido a que no se cuenta con información de intensidad de lluvia o precipitación promedio de cada punto o institución y su almacenamiento tal vez no se ha apropiado en muchas situaciones por lo tanto es necesario estimar del modelo: Temperatura, radiación solar y precipitación de las zonas de las ciudad, áreas posibles de colección de aguas lluvias de las instituciones, estimativos futuros de consumos energéticos e hídricos a partir de la tabulación de consumos actuales. La Gráfica 25 permite ver las variables que conforman la oferta y la demanda.

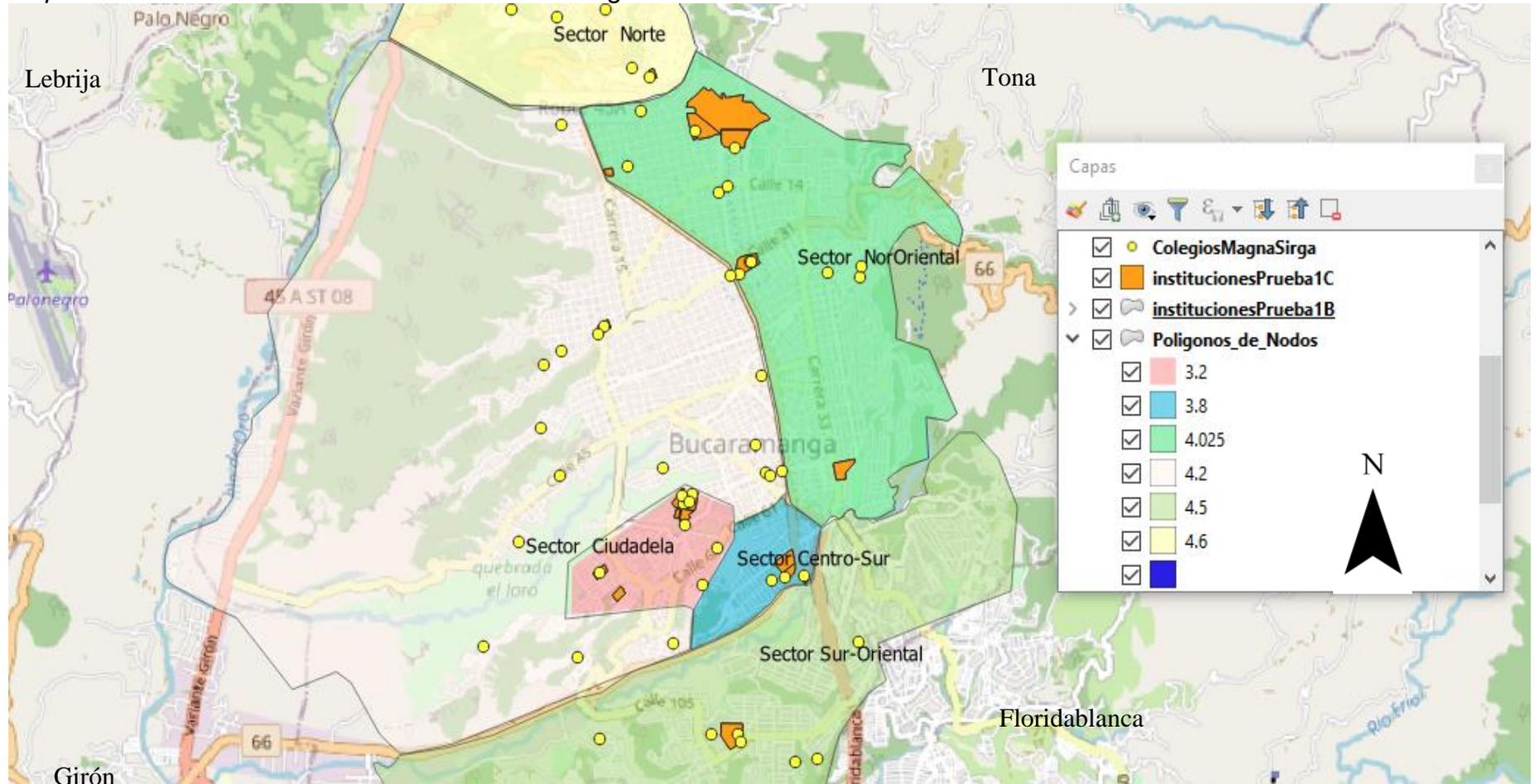
Gráfica 25. Oferta y demanda



10.1 Estudio de demanda

Para estudiar los consumos energéticos e hídricos de las sedes educativas se localización en 7 sectores como se observa en el mapa 7 y se revisó lo expuesto por la Universidad Nacional de Colombia (2007). Caracterización del consumo de energía final en los sectores terciario, grandes establecimientos comerciales, centros comerciales. Para establecer comparaciones con los datos obtenidos en este proyecto y lo enunciado por Planeación Nacional (1991). [49] [52]

Mapa 7 localización de instituciones de Bucaramanga en sectores



FUENTE: Resultados del estudio

10.1.1 Demanda general de sectores

- Facturación de Energía y Agua

Se hizo registro de la facturación de instituciones educativas de los años 2012 a 2019 de carácter público y privado, de nivel de primaria, bachillerato, tecnológico y universitario, como se observa en la fotografía 1.

Fotografía 1 Recibos facturación de agua y energía.



Fuente: Elaborado en el proyecto

Se elaboraron en las tablas 24 y 25 el registro de la muestra de sedes educativas estudiadas.

Tabla 24 Consumo de agua promedio

id	CodigoSede	Sede	Cuenta	promedio
1	05A	Instituto Nacional de Comercio	1061545	170,577778
2	06A	Colegio Aurelio Martinez Mutis	1061547	477,777778
3	04A	Instituto Politecnico	1183188	224,022222
4	01A	Nuestra Sra del Pilar	1061544	382,444444
5	03A	Instituto Santa Maria Goretti	1061543	190,711111
6	01C	Inem	1102544	407,766667
7	01G	Colegio Salesiano	1020953	505,7
8	02B	Colegio Santander	1015892	608,366667
9	01B	Instituto Damaso Zapata-Tecnologico	1015197	488,811111
10	03B	Colegio Bicentenario	1049278	131,355556
11	03G	Escuela Normal Superior	1040442	764,133333
12	03F	Instituto Gabriela Mistral	1085371	516,244444
13	07A	Colegio Jose Celestino Mutis	1059620	231,244444
14	01D	Promocion Social del Norte	1003062	145,966667
15	02F	Colegio San Jose la Salle	1085693	211,333333
16	04F	Colegio Aurelio Martinez Mutis-Sede C	85824	238,822222
17	02A	SedeB Pilar-Reinaldo Orduz	67492	51,111111
18	02G	Colegio Jorge Ardila Duarte	1073365	250,977778
19	01E	UIS	15890	7075,72222
20	02E	UTS	273444	1463,08889
21	01H	Colegio la Presentacion	81652	695,333333
22	04B	Colegio Belemitas	14994	437,644444
23	08A	Colegio Divino Amor	58780	346,377778
24	01F	Colegio la Salle	85692	557,611111

Fuente: Elaboración del Proyecto
Consumo de agua en m³

Tabla 25 Consumo de Energía promedio

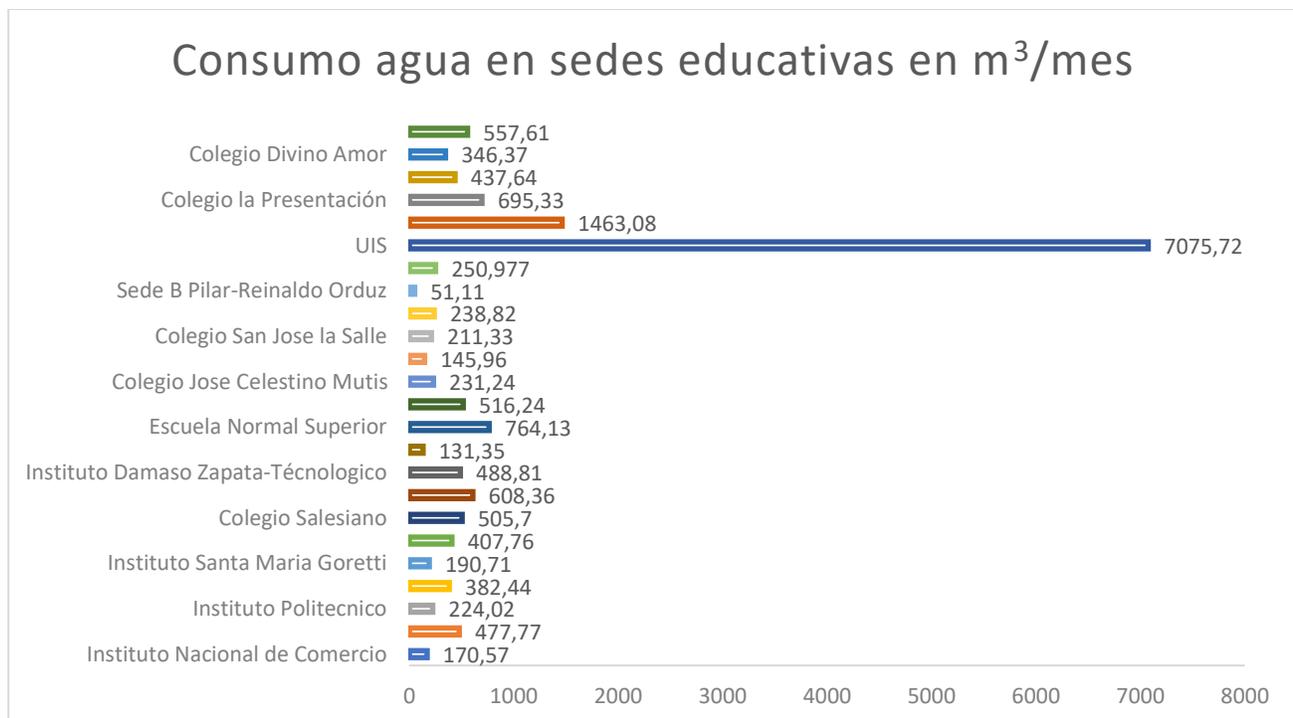
ITEMS	Codigo Sede	Instituciones	Direccion	Numero Cuenta	promedio
1	05A	Instituto Nacional de Comercio	CLL 55 DGN 14 54 CLL ESTUDUANTES - GOMEZ NINO - BUCARAMANGA	580056-0	13.470
2	06A	Colegio Aurelio Martinez Mutis	CLL DE LOS ESTUDIANTES - CIUDADELA REAL DE MINAS - BUCARAMAN	360500-0	10.225
3	04A	Instituto Politecnico	DGN 14 55 CIUDADELA REAL DE MINAS - CIUDADELA REAL DE MINAS	1110264-6	8.269
4	01A	Nuestra Sra del Pilar	AVD LOS ESTUDIANTES 9 227 COLEGIO NTR SRA PILAR - CIUDADELA	488698-4	17.611
5	03A	Instituto Santa Maria Goretti	URB CIUDADELA R M CLL ESTUDIANTES 9 67 - CIUDADELA REAL DE M	488696-8	13.037
6	01C	Inem	Calle 105 19-67 PROVENZA	488832-4	16.810
7	01G	Colegio Salesiano	AVE Q SECA 11 67 MED 1 GRANADA - GRANADA - BUCARAMANGA	488085-4	6.524
8	01G	Colegio Salesiano	AVD QUEBRADA SECA 11 67 MED 2 CENTRO - CENTRO - BUCARAMANGA	488086-2	3.323
9	03B	Colegio Bicentenario	CLL 34 A 43 38 ALVAREZ - ALVAREZ - BUCARAMANGA	253659-5	3.155
10	03G	Escuela Normal Superior	Call 30 27-107	488050-1	6.976
11	03F	Instituto Gabriela Mistral	CLL 69A 27-30 LA SALLE - LA SALLE - BUCARAMANGA	1092195-3	7.107
12	07A	Colegio Jose Celestino Mutis	CRA 3 W 57 20 EL MUTIS - MUTIS - BUCARAMANGA	1097375-9	7.795
13	01D	Promocion Social del Norte	CRA 22 B 1 N 61 LA JUVENTUD - LA JUVENTUD - BUCARAMANGA	589017	3.487
14	02F	Colegio San Jose la Salle	cra 21 68-45 la Victoria	488823-5	5.379
15	04F	Colegio Aurelio Martinez Mutis-Sede C	Calle 68 18-29 Victoria	488817-0	1.268
16	02A	SedeB Pilar-Reinaldo Orduz	Clla 65C 6A 08 CANELOS	488712-3	1.404
17	02G	Colegio Jorge Ardila Duarte	CLLA 53 21-25 CONCORDIA	268788-7	4.051
18	02B	Colegio Santander	CLL 9 25 67 LA UNIVERSIDAD - LA UNIVERSIDAD - BUCARAMANGA	1340440	8.421
19	01B	Instituto Damaso Zapata-Tecnologico	CLL 10 28 77 - SAN ALONSO - BUCARAMANGA	19203	20.591
20	01E	UIS	CRA 27 CLL 9 UNIVERSITARIA - LA UNIVERSIDAD - BUCARAMANGA	1179893	434.238
21	02E	UTS	CLL LOS ESTUDIANTES 9 82 C REAL DE MINAS - CIUDADELA REAL DE	1505093	32.828
22	01H	Colegio la Presentacion	CLL 56 33 38 CONUCOS - LOS CONUCOS - BUCARAMANGA	1307288	1.957
23	04B	Colegio Belemitas	CRA 16 10A 18 COMUNEROS - COMUNEROS - BUCARAMANGA	13679	3.039
24	08A	Colegio Divino Amor	CRA 3W 62 2 MUTIS - MUTIS - BUCARAMANGA	289009	4.318
25	01F	Colegio la Salle	CLL 61 21 82 LA SALLE - LA SALLE - BUCARAMANGA	613691	14.946

Fuente: Elaboración del Proyecto
Consumo de energía en KWh

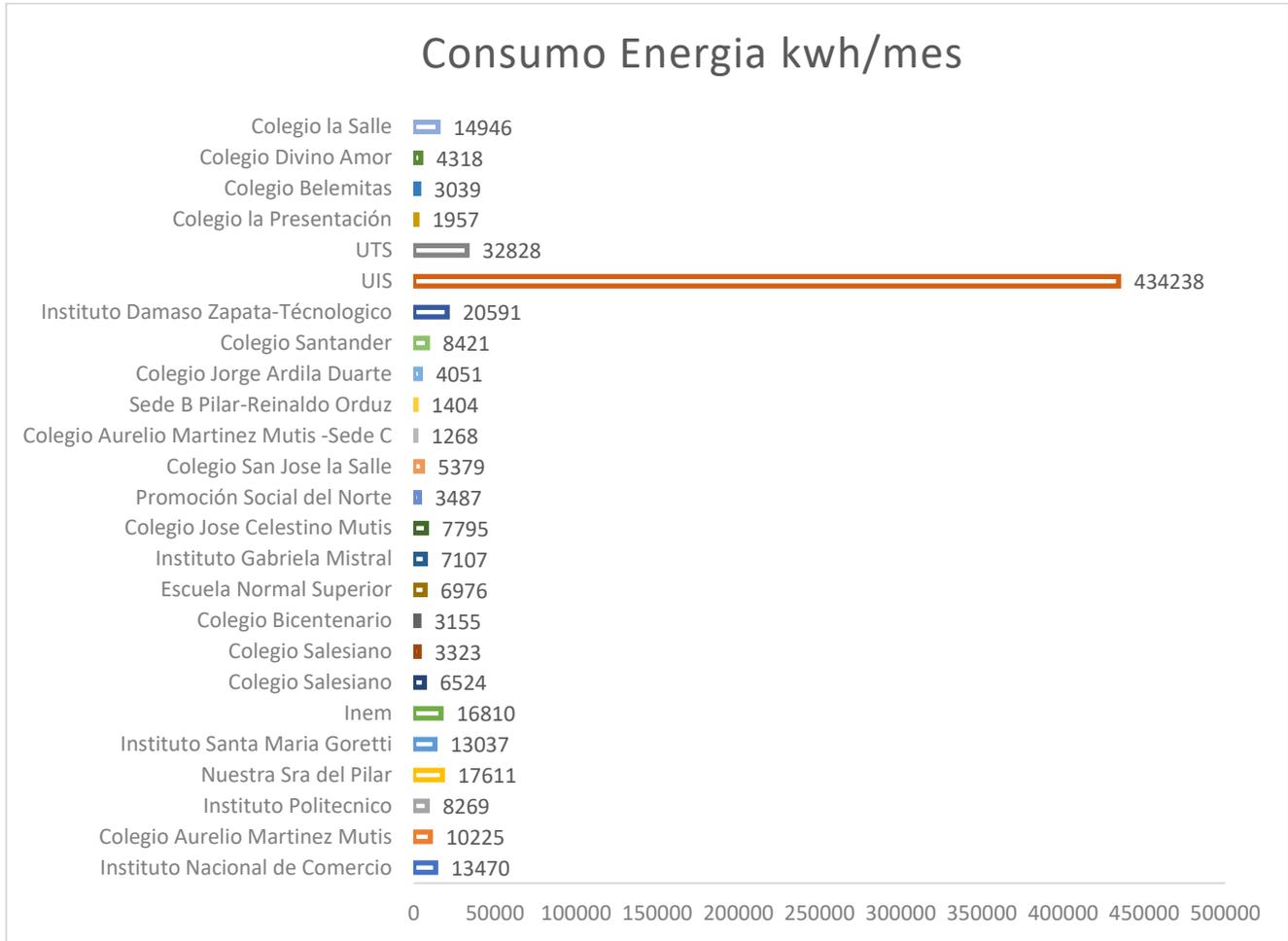
10.1.2 Demanda detallada de nodos

Se analiza con relación a la demanda de agua que el mayor consumo de energía y agua corresponde a la universidad Industrial de Santander como se muestra en la gráfica #26, y dentro de los colegios de Bucaramanga, el mayor consumo de agua corresponde a l colegio Normal Superior, mientras que en el gasto de energía el mayor consumidor es el Instituto técnico Damaso Zapata seguido del Pilar y el Inem, como se observa en el gráfico de consumos #27 y 28.

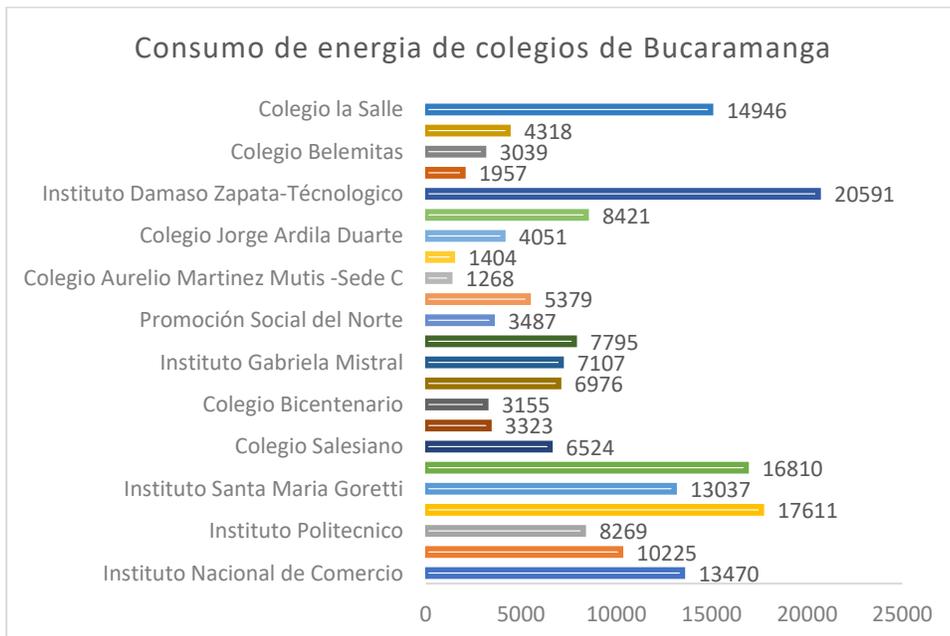
Gráfica 26. Consumos de agua de sedes educativas



Gráfica 27. Consumo de energía de sedes educativas

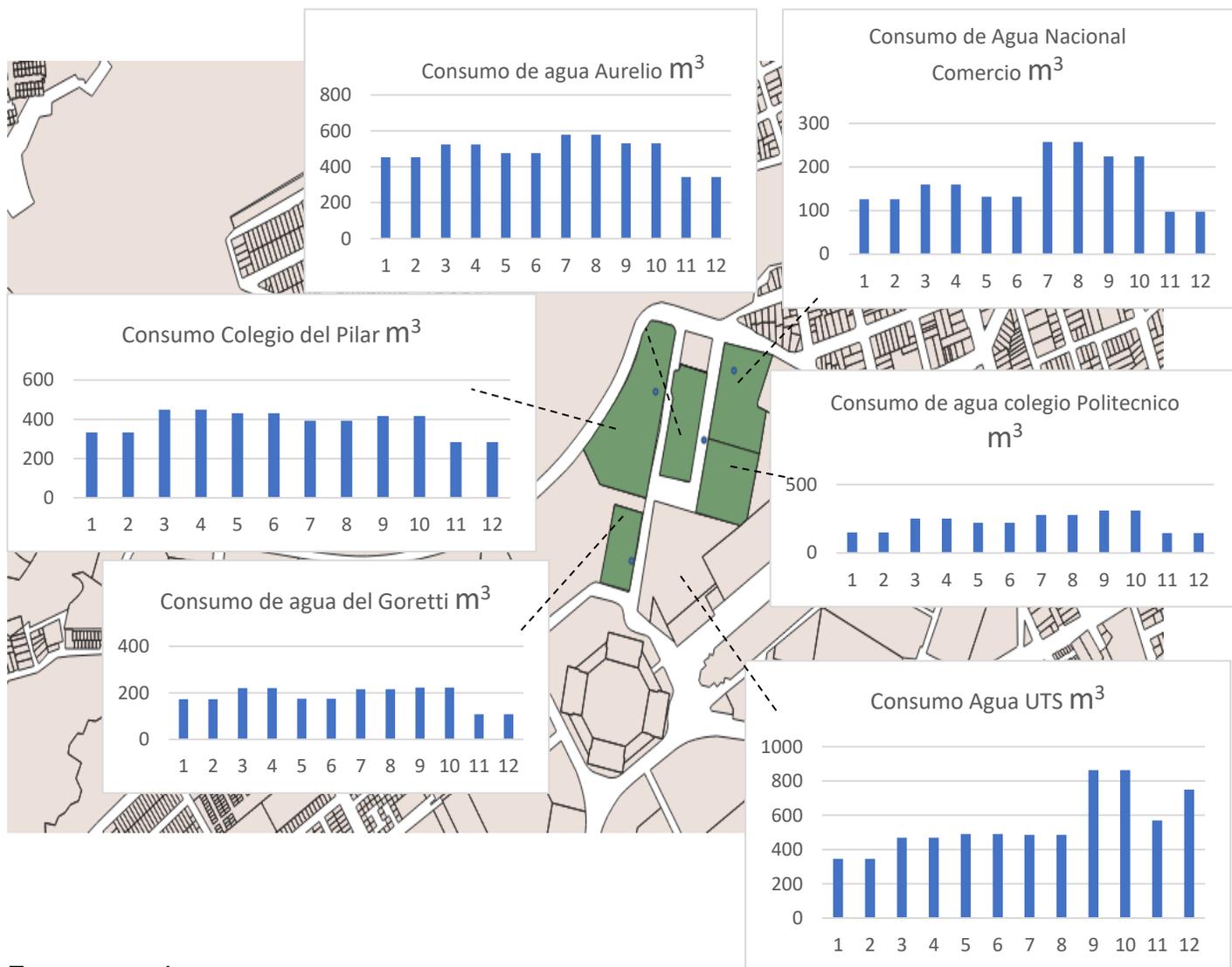


Gráfica 28. Consumo de energía de colegios de Bucaramanga kWh



En la gráfica 29 nos muestra la variación de la demanda en el sector ciudadela en sus diferentes nodos.

Gráfica 29. Demanda de nodos sector ciudadela



Fuente: propia

La tabla 26 nos muestra el registro que se realizó de la demanda institucional mensual y anual.

Tabla 26 Información de demanda UIS_ ejemplo de registro y cálculo de consumo de instituciones.

Nodo Preferencial														
Energía	UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER-KWh													
Estudiantes	Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sept	Octubre	Nov	Dic	
16.000,00	2014	467.817,00	645.697,00	682.760,00	579.370,00	639.538,00	573.917,00	660.546,00	625.849,00	598.059,00	617.482,00	566.398,00	470.822,00	
16.000,00	2015	446.950,00	573.923,00	570.328,00	564.022,00	576.617,00	591.997,00	548.107,00	637.765,00	668.089,00	589.044	597.188	504.836	
16.605,00	2016	471.498,00	696.613,00	615.272,00	529.629,00	564.960,00	621.600,00	594.240,00	599.720,00	560.600,00	615.848,00	540.952,00	470.160,00	
16.468,00	2017	514.280	617.080	513.120	635.580	543.100	683.580	543.100	683.760	620.480	643.200	629.680	620.440	
16.468,00	2018	644.720	600.880	462.720	688.652	663.027	659.040	694.040	602.520	561.120	710.167	665.699	648.898	
16.468,00	2019	587.981	468.136	548.560	683.280	752.320	587.960	760.360	605.240	771.440	672.680	675.880	635.600	
Fuente: Planeación UIS -Planta Física														
Una persona consume en promedio 38 kWh/mes														
Estudiantes	16.222,06	522.208	600.388	565.460	613.422	623.260	619.682	633.399	625.809	629.965	641.404	612.633	558.459	Promedio
Dotación	Kwh/persona	32,19	37,01	34,86	37,81	38,42	38,20	39,05	38,58	38,83	39,54	37,77	34,43	37,22
Agua UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER- m ³ /mes—Cuenta 5890														
Estudiantes	Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sept	Octubre	Nov	Dic	
16000	2012	6445	6445	6445	4829	4829	5500	5500	6409	6409	4592	4592	5500	
16000	2013	5500	5500	5500	6286	6286	6631	6631	6618	6618	6704	6704	6736	
16000	2014	6736	7709	7709	5893	5893	5913	5913	6988	6988	6363	6363	6927	
16000	2015	6927	7356	7356	6944	6944	7366	7366	9056	9056	6384	6384	6424	
16605	2016	6424	8400	8400	6321	6321	6786	6786	6484	6484	6421	6421	6224	
16468	2017	6224	8930	8930	7088	7088	6631	6631	7462	7462	7329	7329	5180	
16468	2018	5180	8229	8229	6885	6885	5976	5976	8669	8669	6939	6939	8726	
16468	2019	8726	8803	8803	15086	15086	15086							
Estudiantes	16.222,06	6.520	7.672	7.672	7.417	7.417	7.486	6.400	7.384	7.384	6.390	6.390	6.531	Promedio
Dotación	litro/persona-día	13,40	15,76	15,76	15,24	15,24	15,38	13,15	15,17	15,17	13,13	13,13	13,42	14,50

Fuente: Planeación y planta física de la UIS.

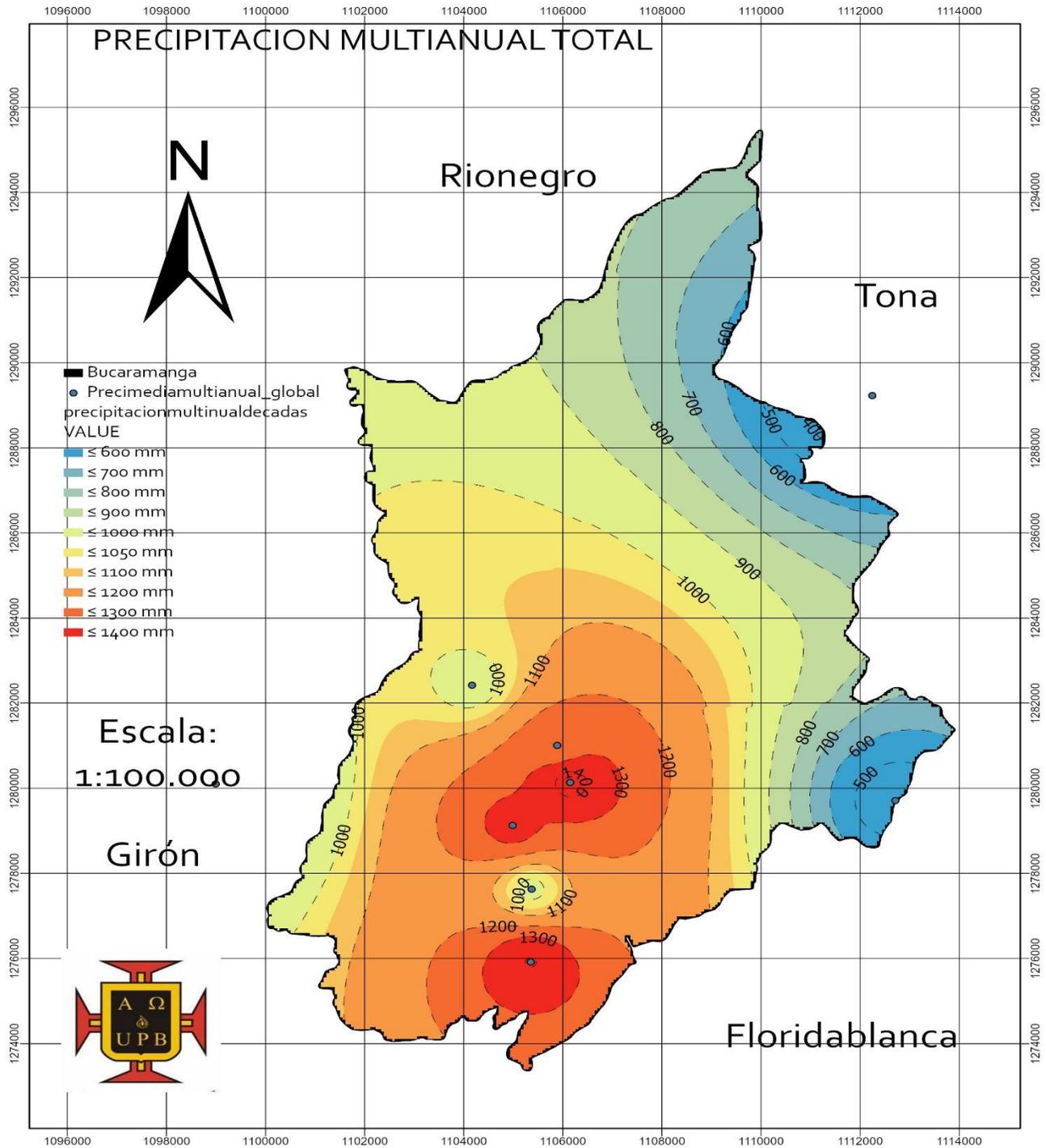
Elaborado en el proyecto de estudio

10.2 Oferta hídrica a través de los mapas de precipitación

10.2.1 Precipitación multianual

Mapa 8

Precipitación multianual

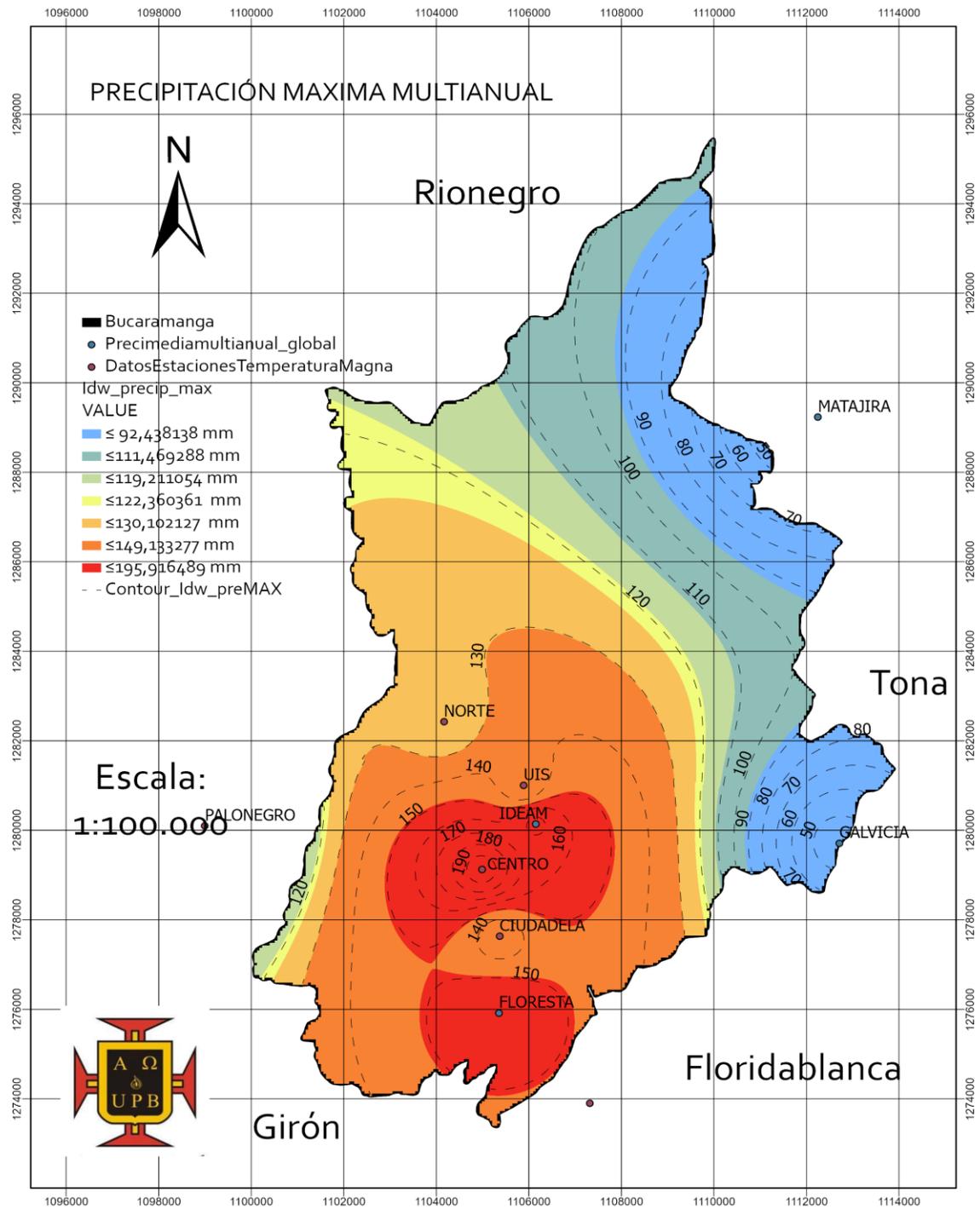


Fuente: elaborado en el estudio- Unidades: M³
Se aplicó validación cruzada con 1,93% de error con Idw.

10.2.2 Precipitación máxima multianual

Mapa 9

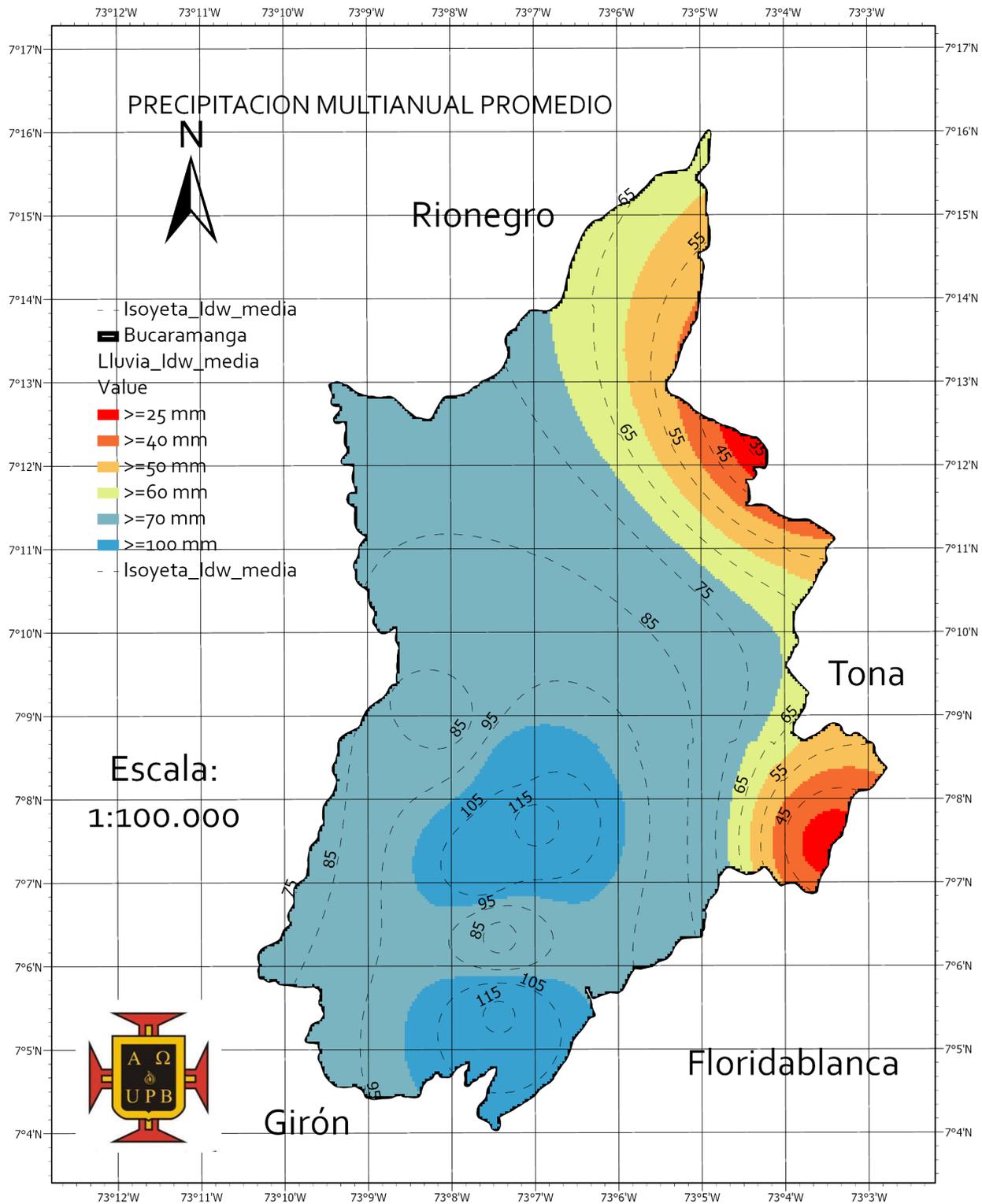
Precipitación máxima multianual



Fuente: elaborado en el estudio- Unidades: M³

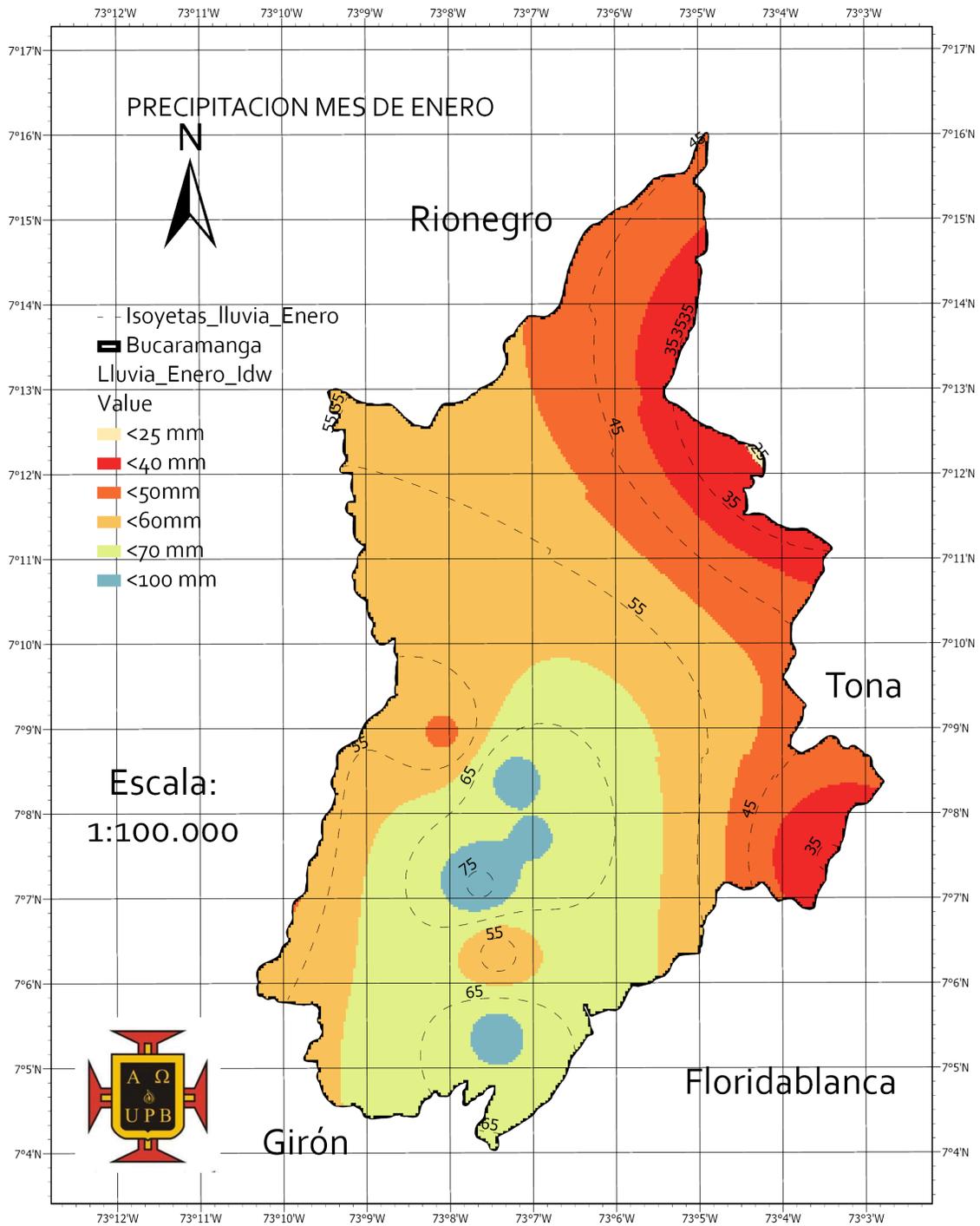
10.2.3 Precipitación media mensual multianual

Mapa 10 Precipitación mensual multianual



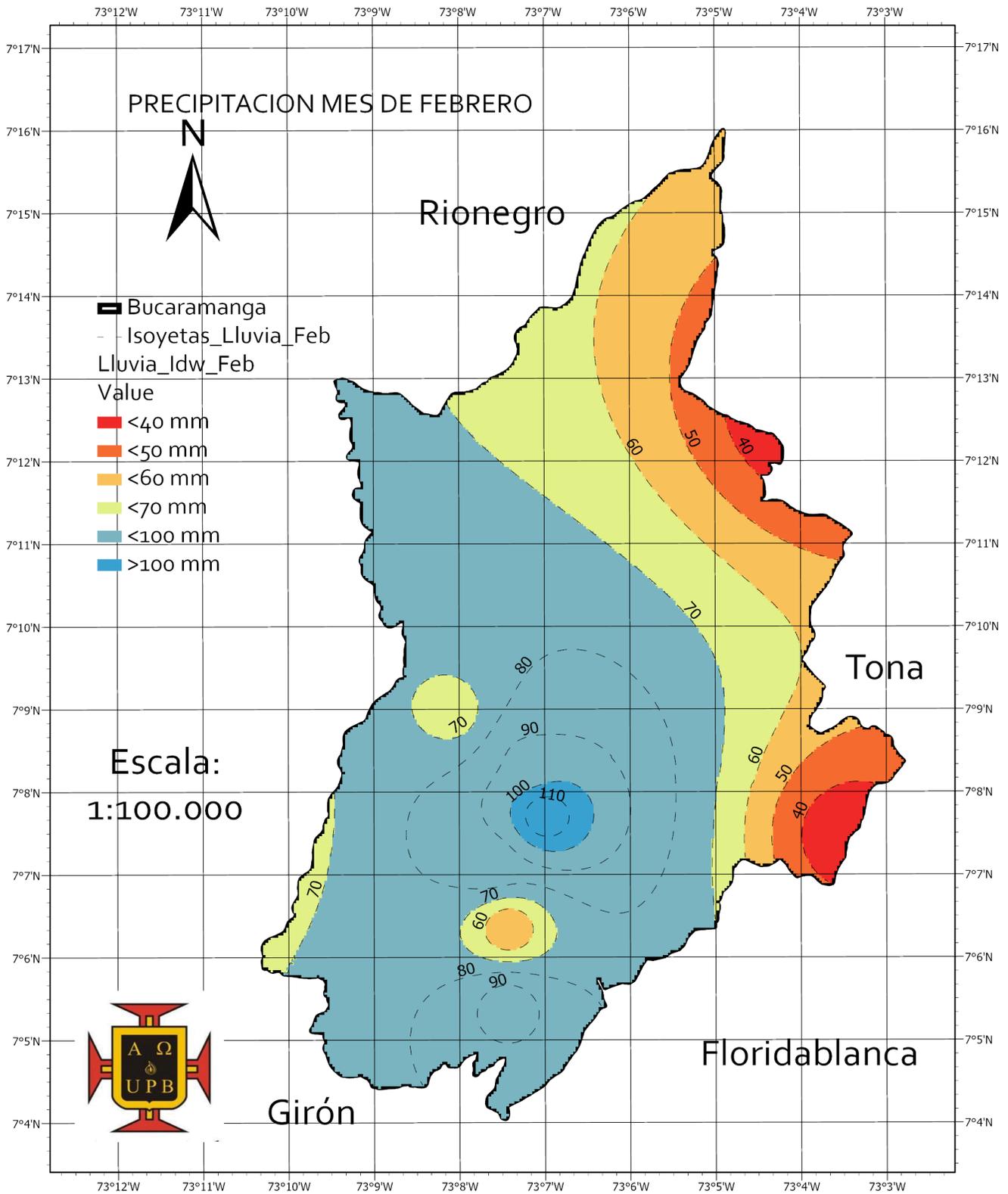
Fuente: elaborado en este estudio- Unidades: M³

Mapa 11
Precipitación mes de enero



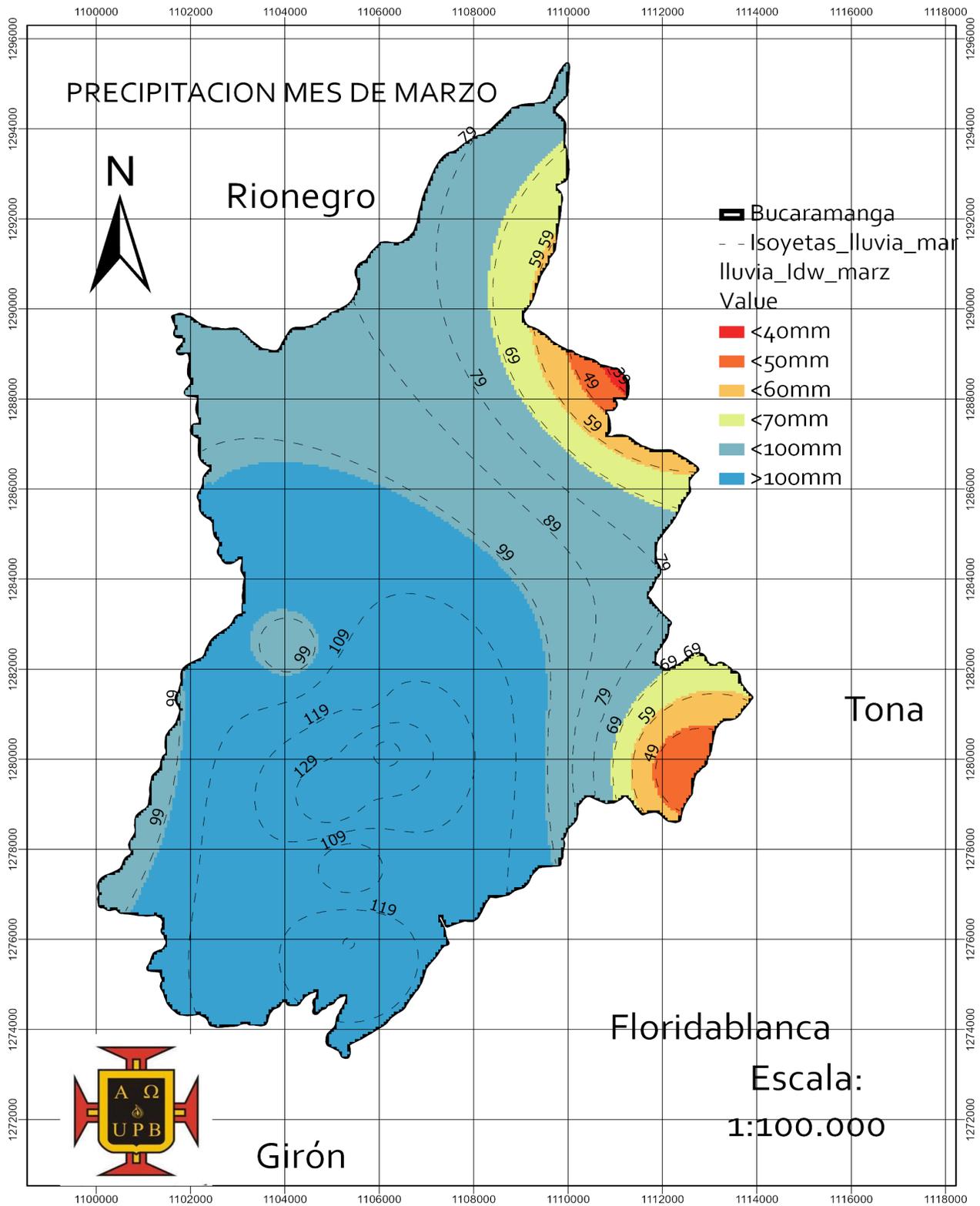
Fuente: propia

Mapa 12
Precipitación mes de febrero



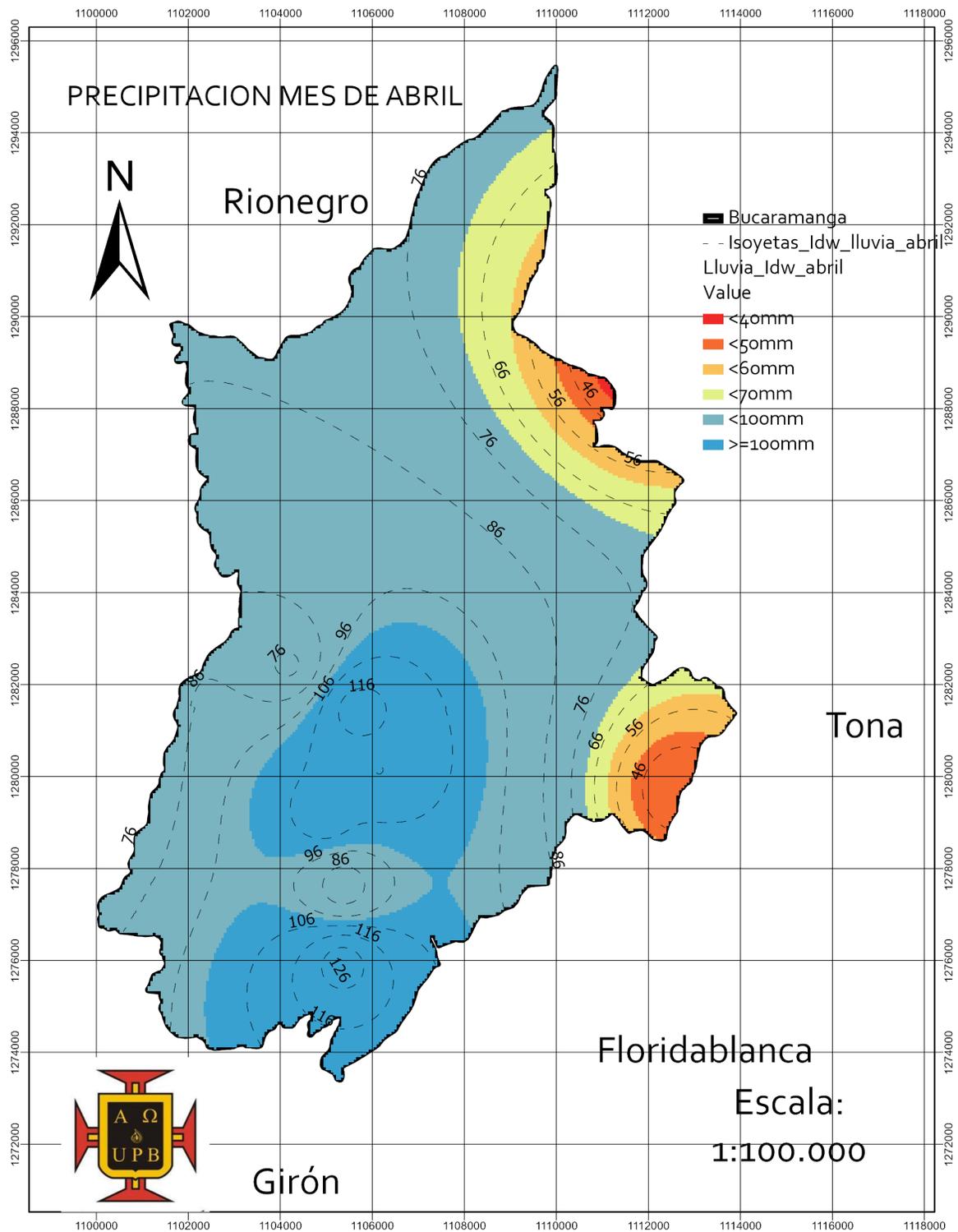
Fuente: propia

Mapa 13
precipitación mes de marzo



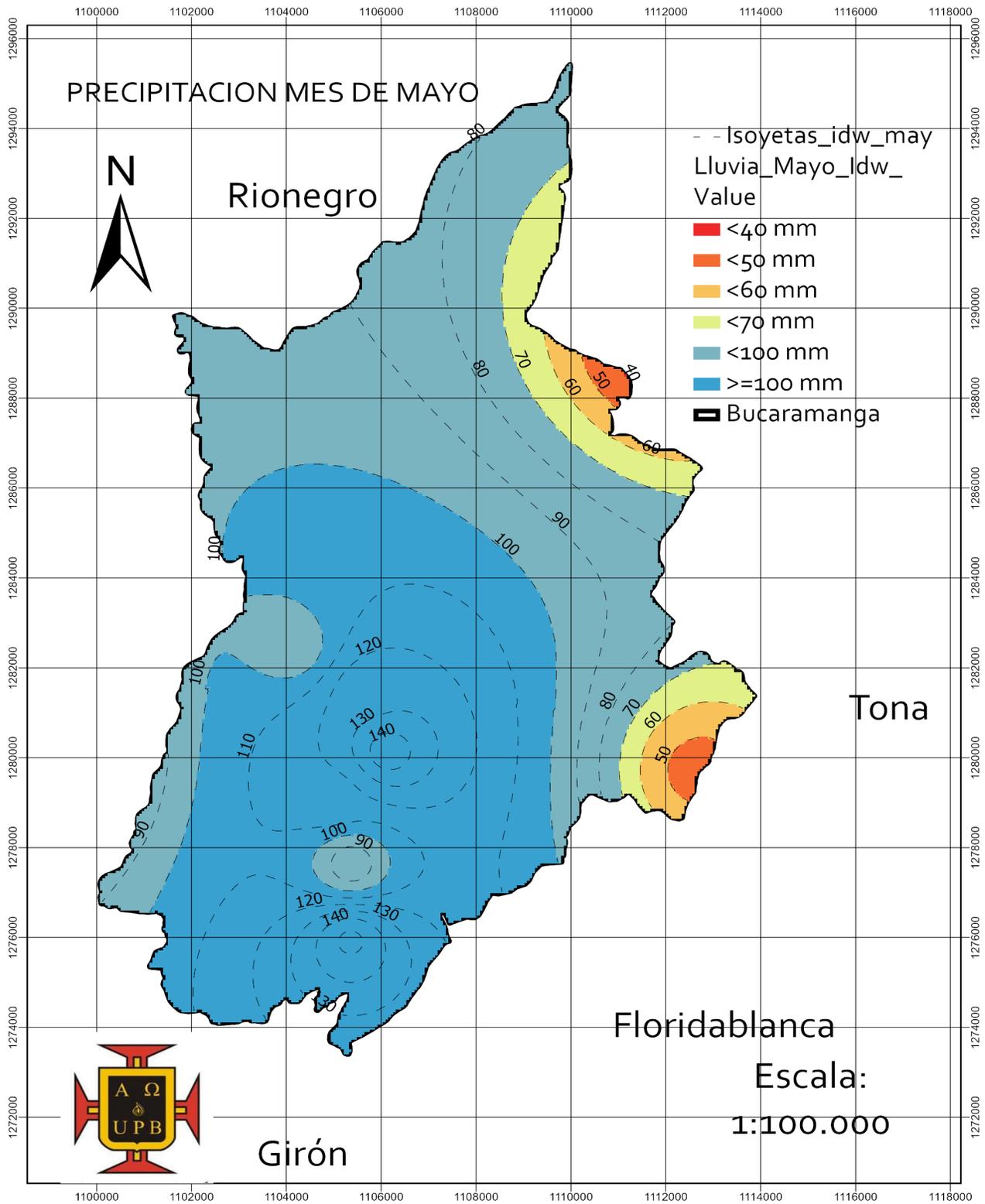
Fuente: propia

Mapa 14
Precipitación mes de Abril



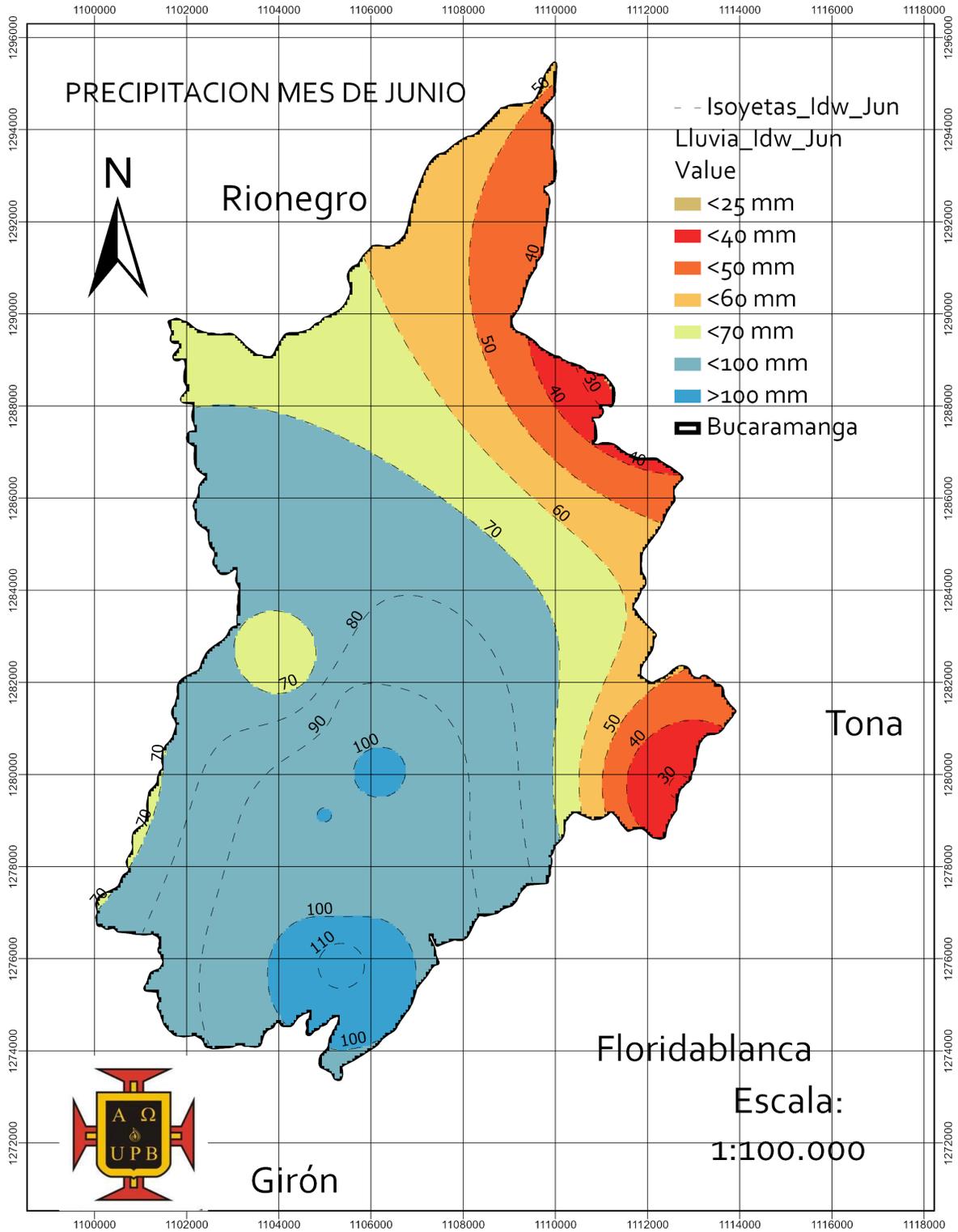
Fuente: propia

Mapa 15
Precipitación mes de Mayo



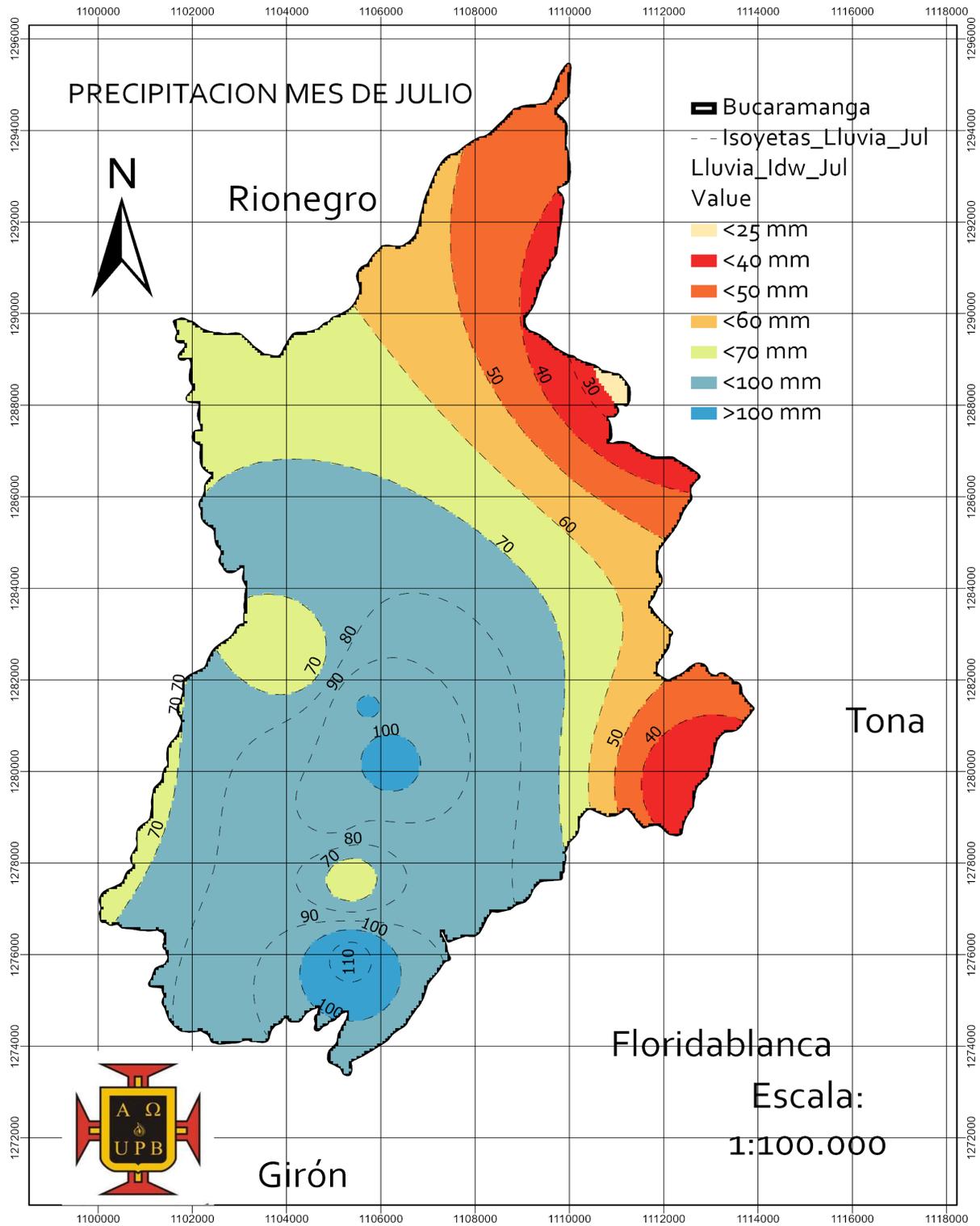
Fuente: propia

Mapa 16
Precipitación mes de Junio



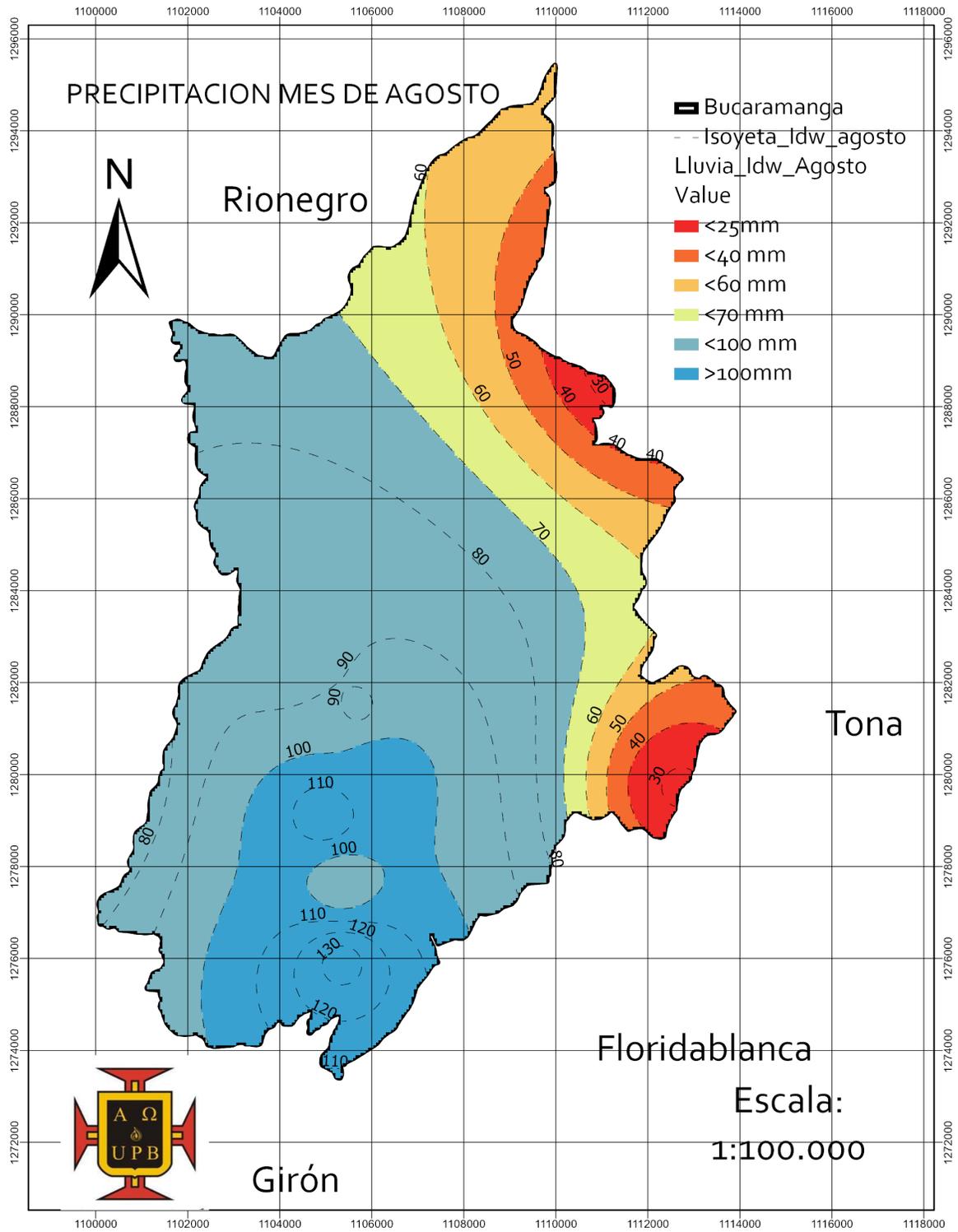
Fuente: propia

Mapa 17
Precipitación mes de Julio



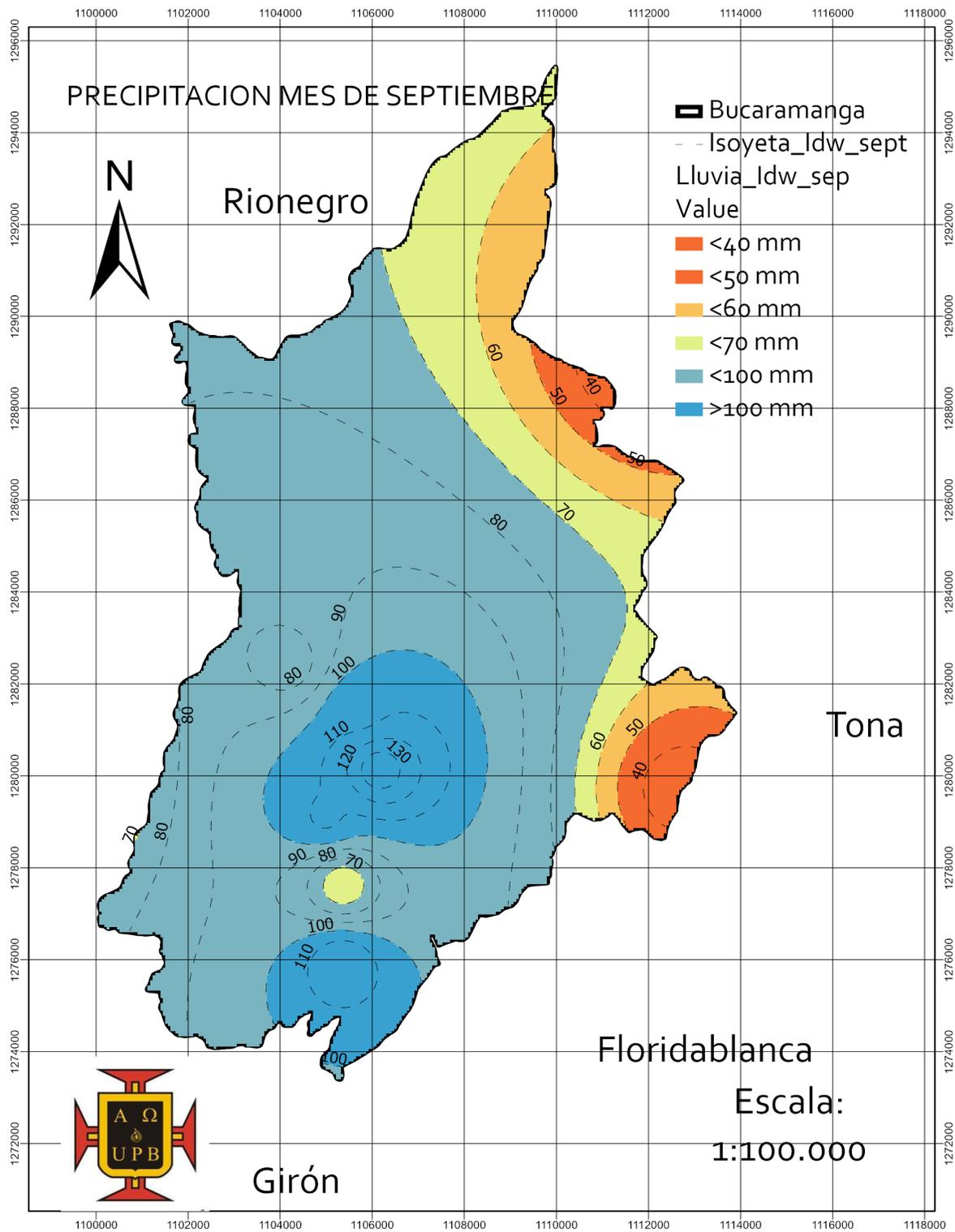
Fuente: propia

Mapa 18
Precipitación mes de Agosto



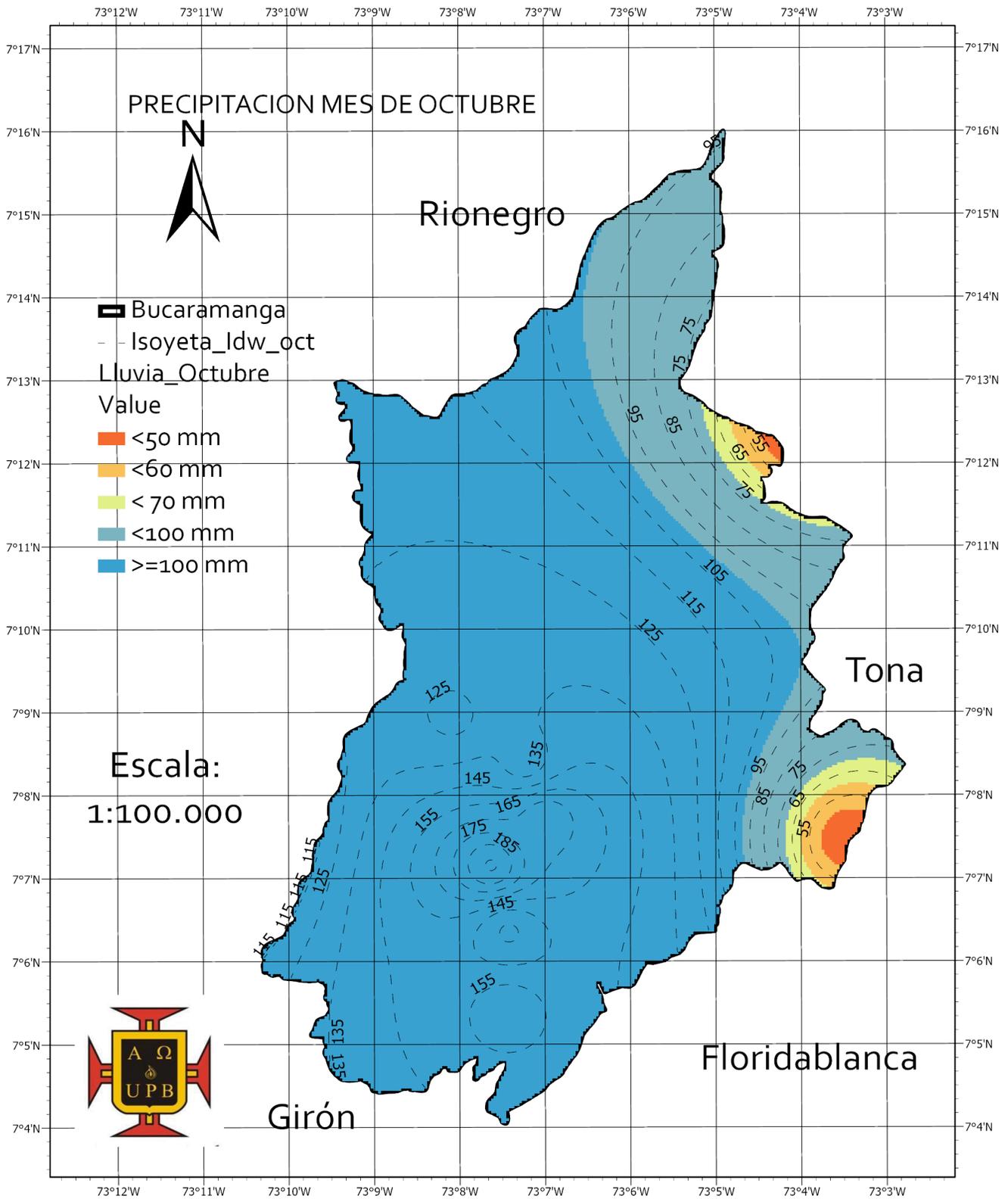
Fuente: propia

Mapa 19
Precipitación mes de Septiembre



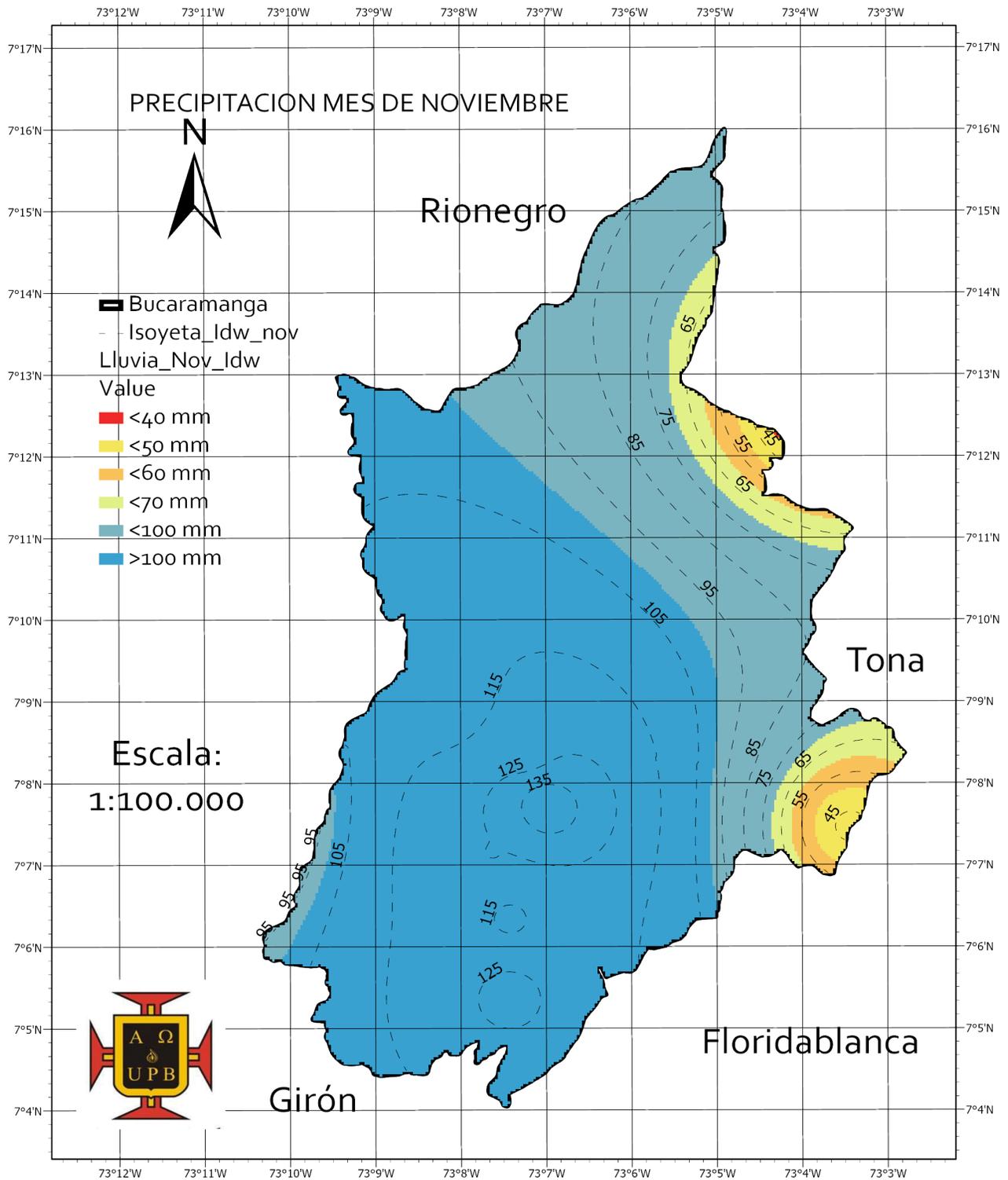
Fuente: propia

Mapa 20
Precipitación mes de Octubre



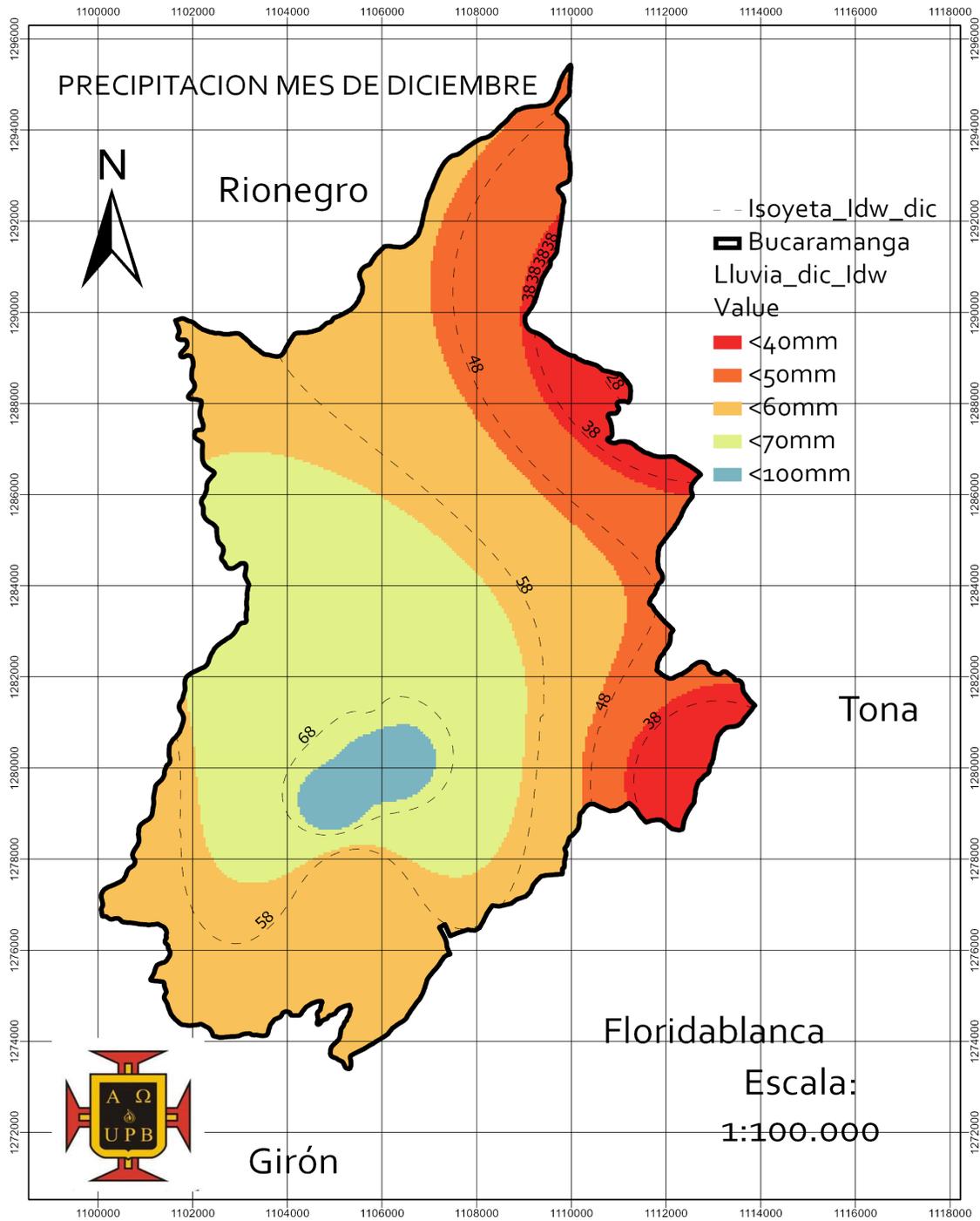
Fuente: propia

Mapa 21
Precipitación mes de Noviembre



Fuente: propia

Mapa 22
Precipitación mes de diciembre

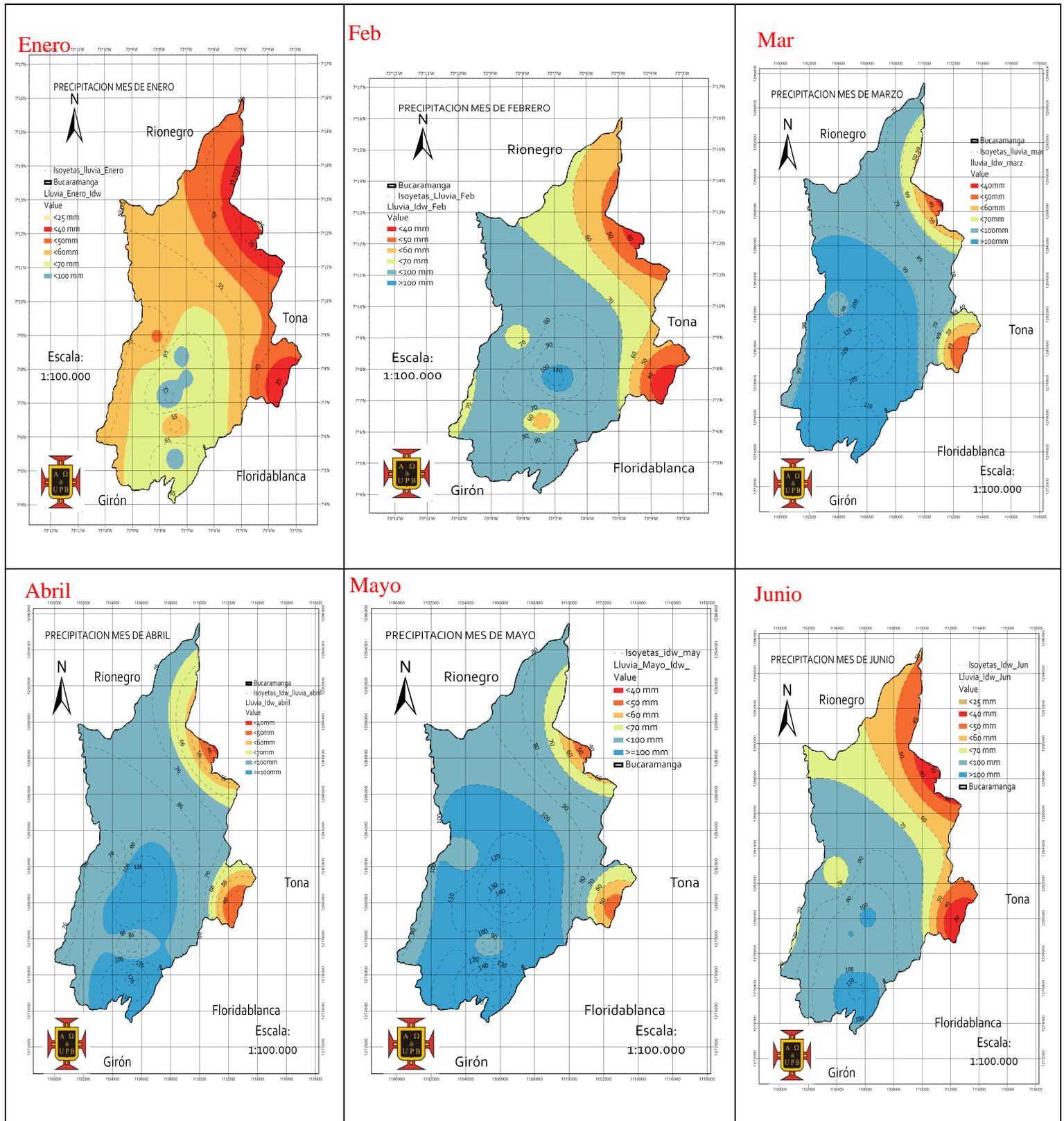


Fuente: elaboración del estudio

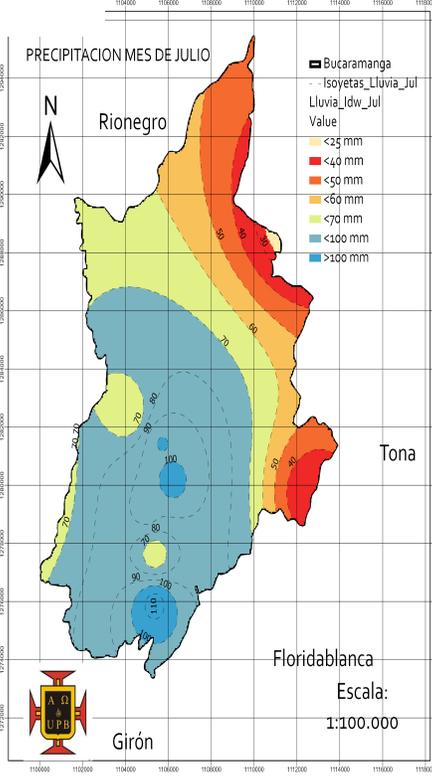
10.2.4 Precipitación mensual multianual

Mapa 23

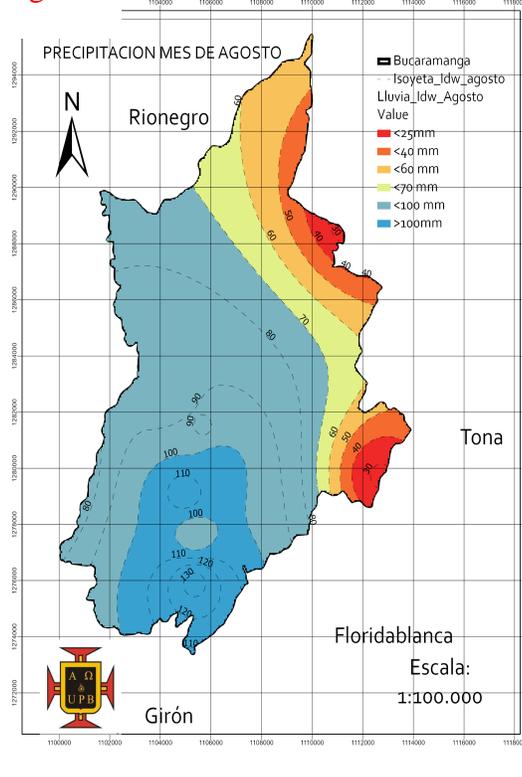
Precipitaciones mensuales multianuales



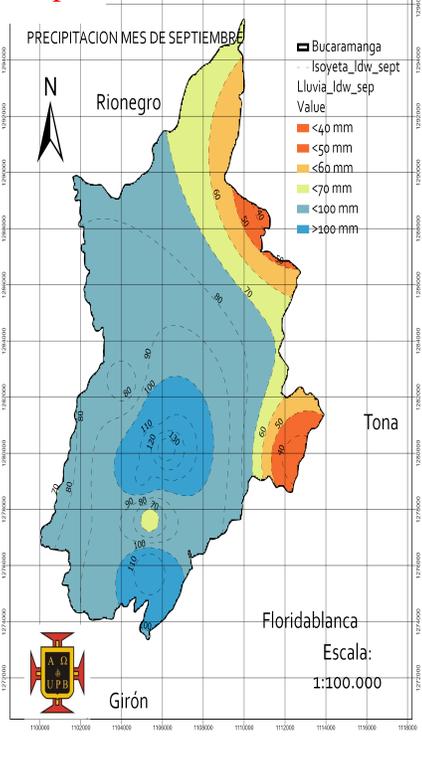
Julio



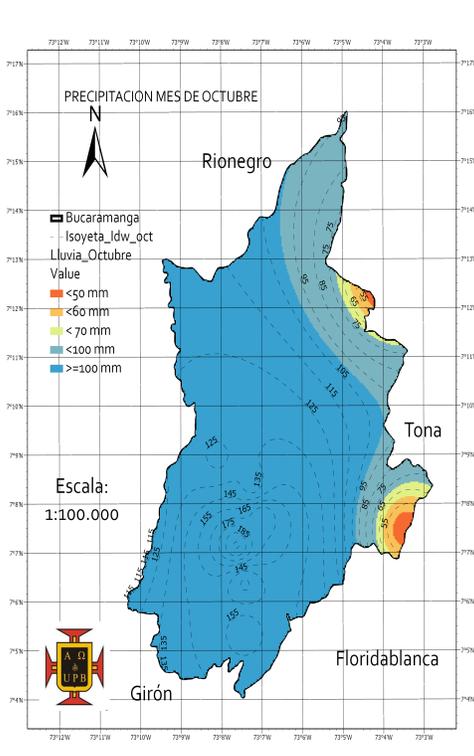
Agosto



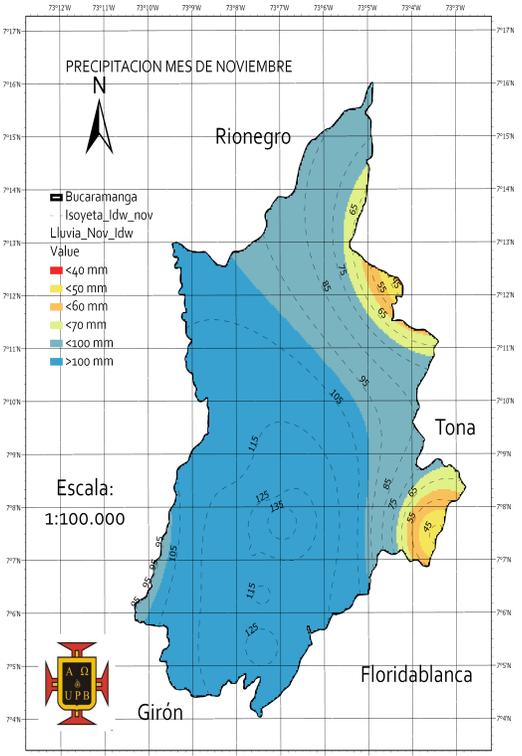
Sept



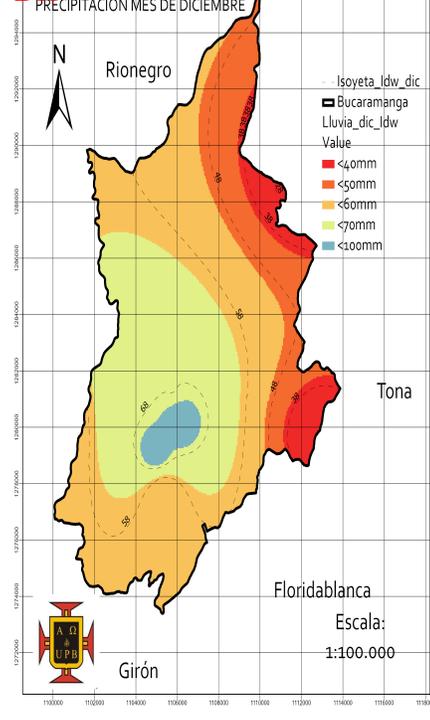
Oct



Nov



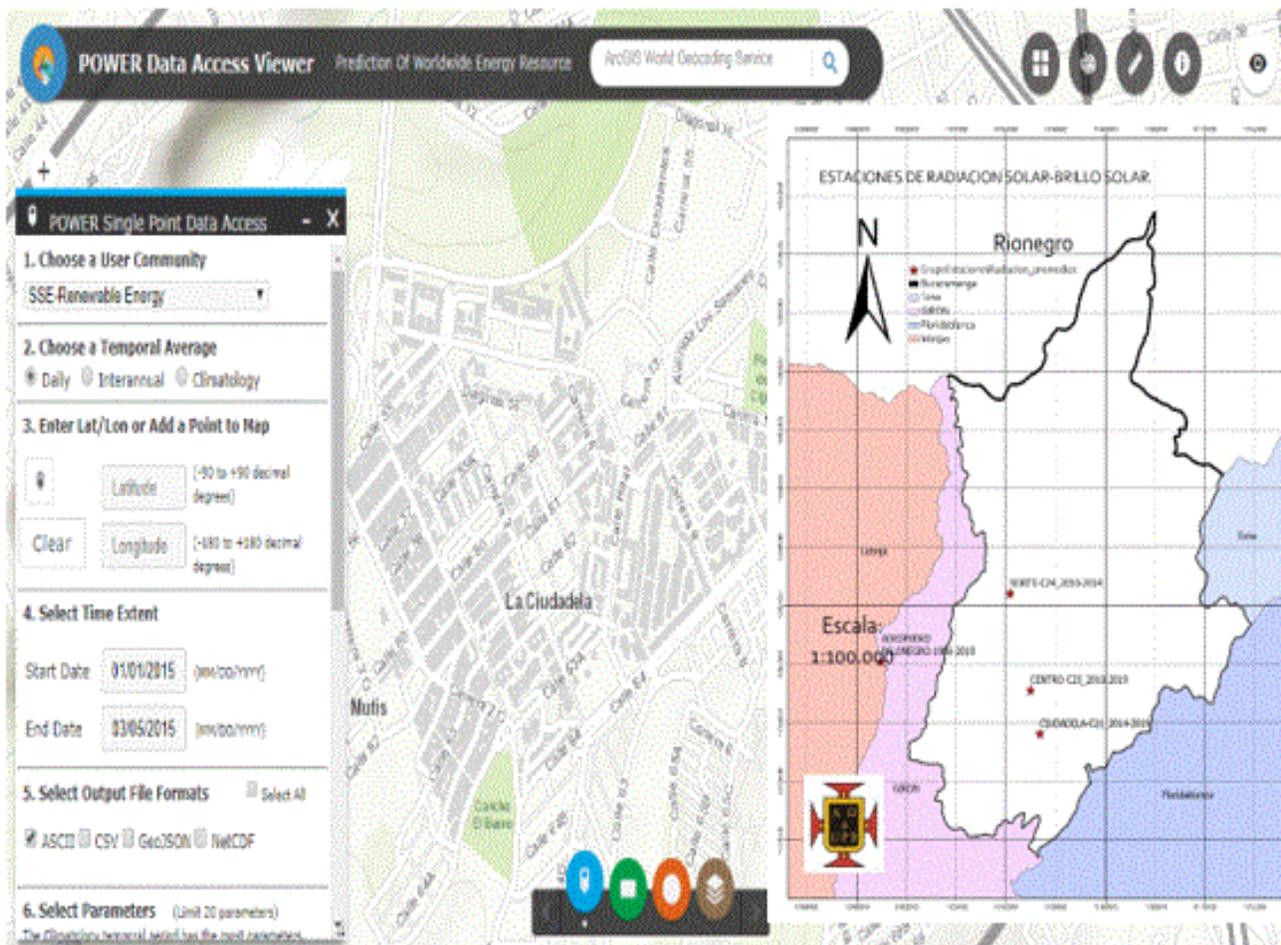
Dic



10.3 Oferta Energética

Mapa 24

Localización estaciones de radiación



Fuente: elaboración del proyecto

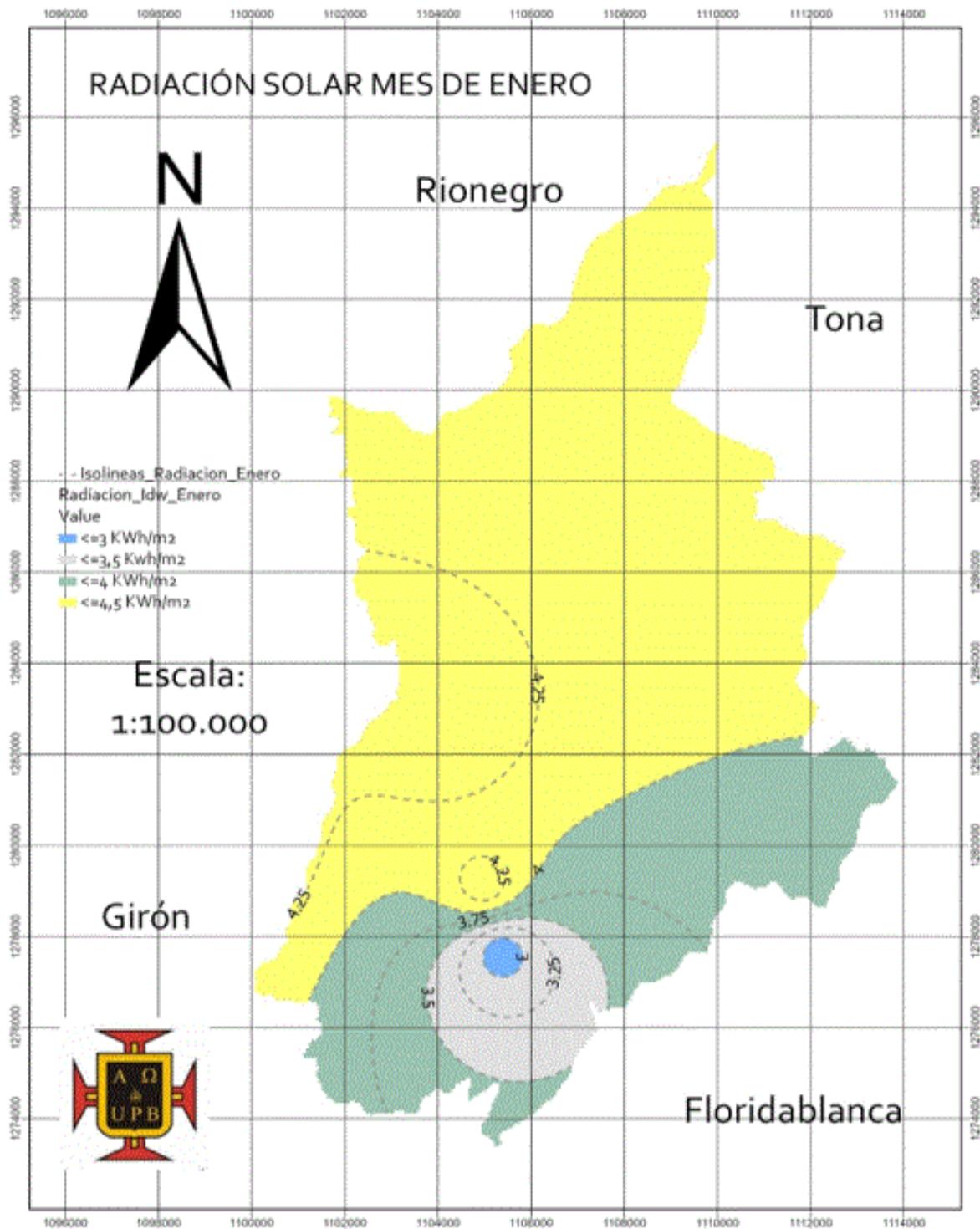
Tabla 27 Estaciones para suministro de información de Radiación Solar

ID	Estaciones_precip_mm	ESTE	NORTE	Z	ENERO
1	CIUADELA-C21_2014-2019	1277631,9	1105368,75	938	2891,73226
2	CENTRO-C23_2010-2019	1279123,3	1104987,38	955	4053,79228
3	NORTE-C24_2010-2014	1282422,9	1104165,39	790	4053,79228
4	AEROPUERO PALONEGRO-1986-2019	1280097,4	1098997,23	1189	4363,2671
5	CIUADELA NASA-1984-2018	1277579,75	1105372,17	938	3793
6	Mutis-Nasa	1277002,86	1104522,61	918	3966,82816
7	Palonegro-Nasa	1279978,2	1098992,55	1139	3792
8	UIS-Nasa	1281352,23	1105751,05	1018	3779,09652

Fuente: estudio del proyecto

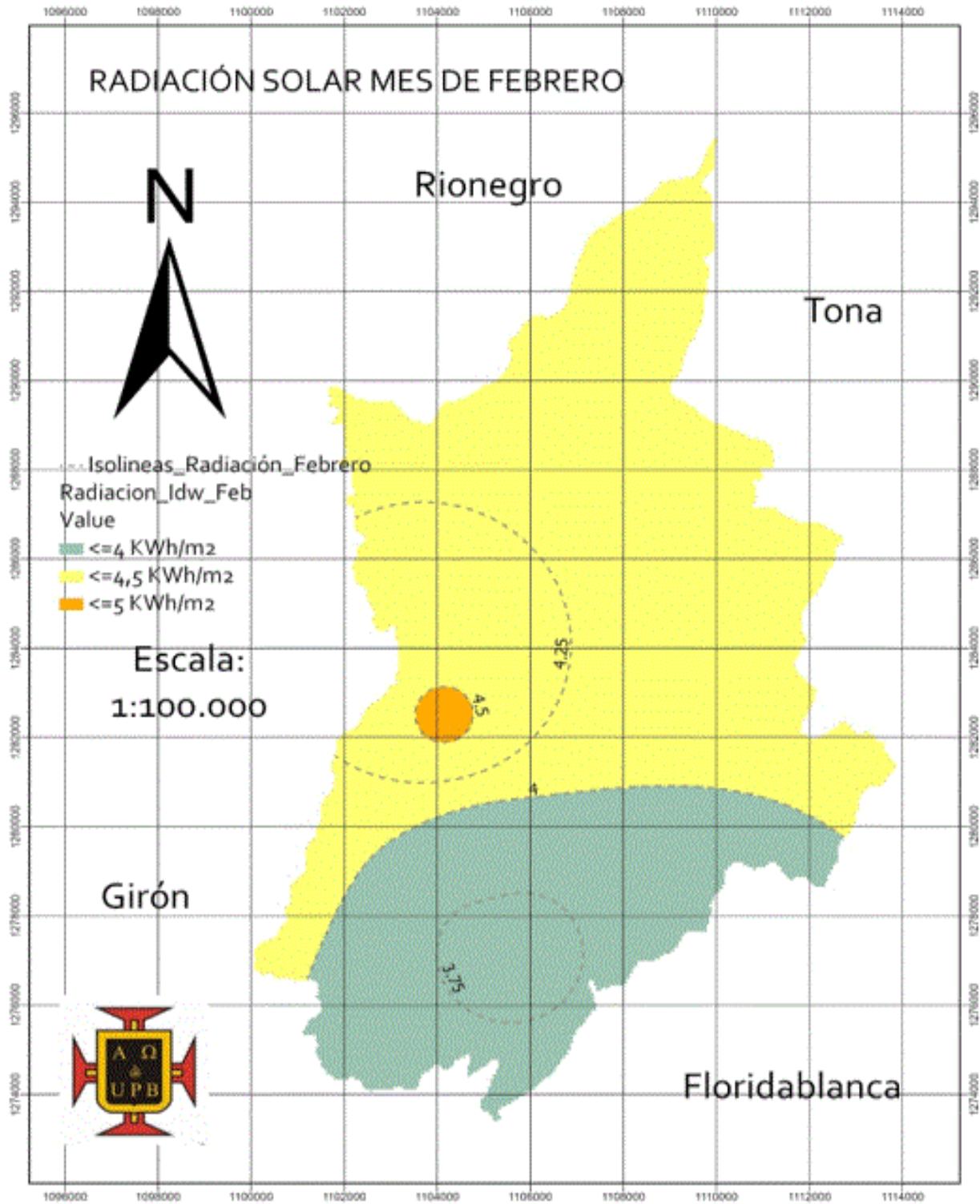
Mapa 25

Radiación mes de enero



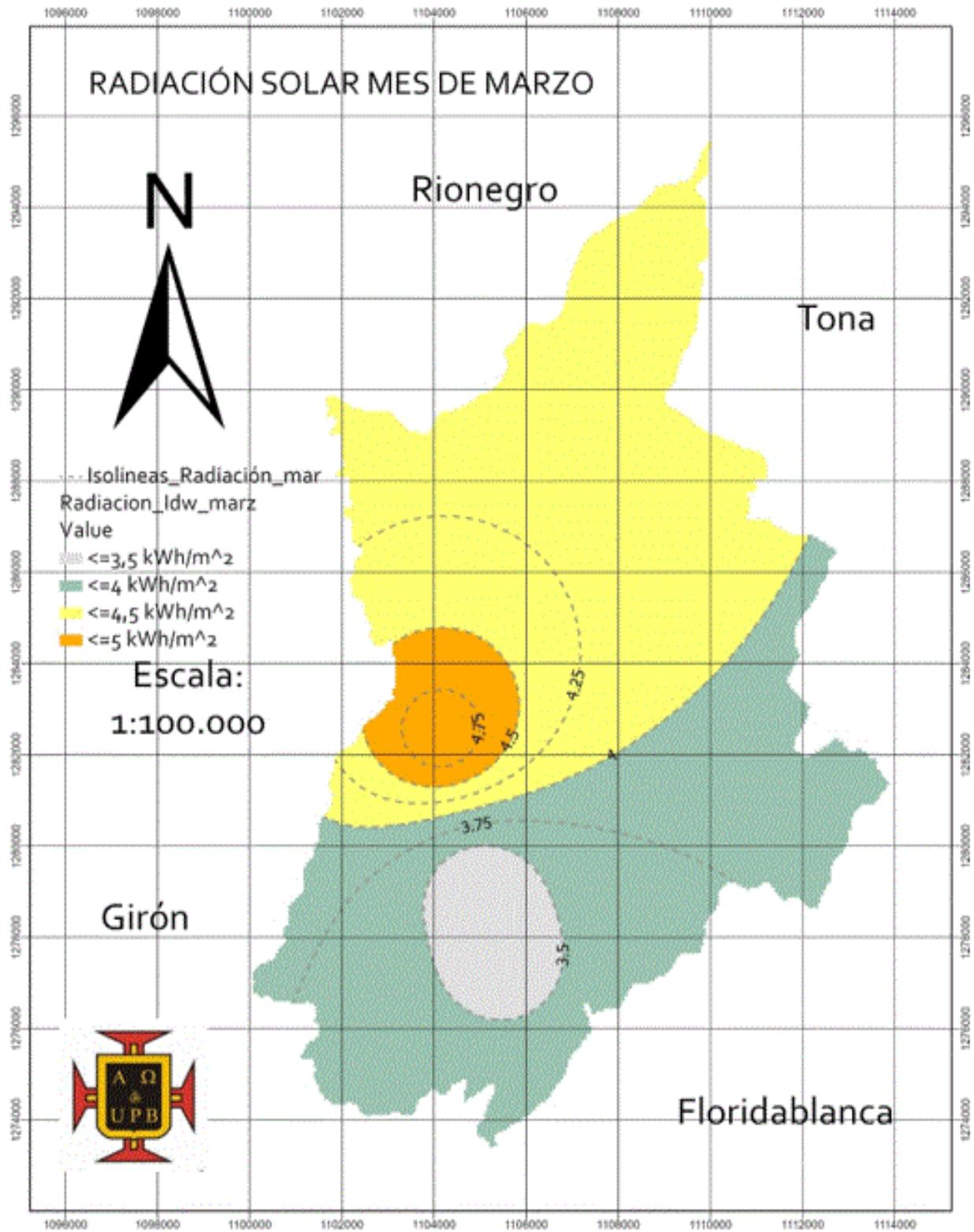
Unidades: KWh/m²
Fuente: elaborado en el estudio

Mapa 26
Radiación mes de Febrero



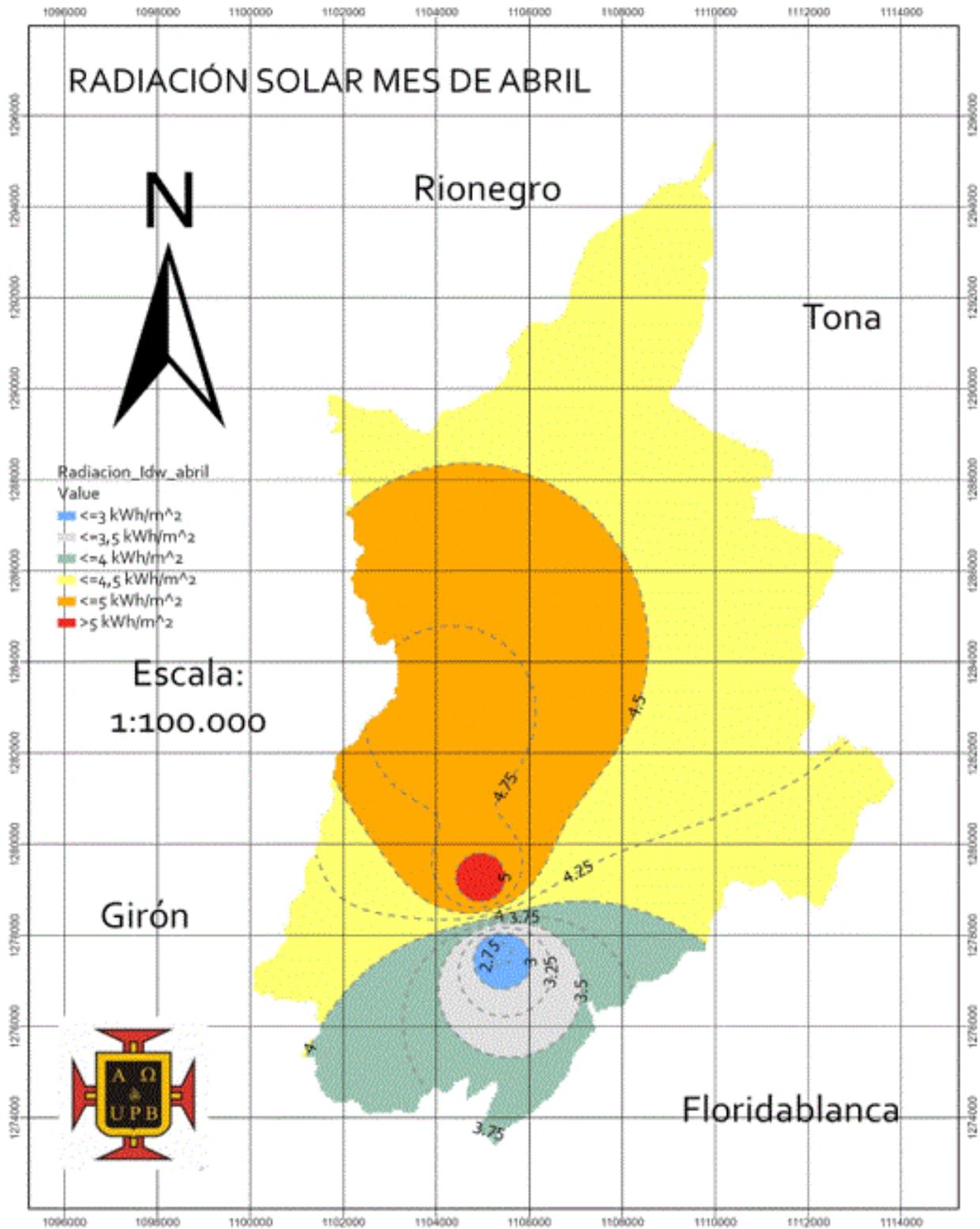
Unidades: KWh/m²
Fuente: elaborado en el estudio

Mapa 27
Radiación solar marzo



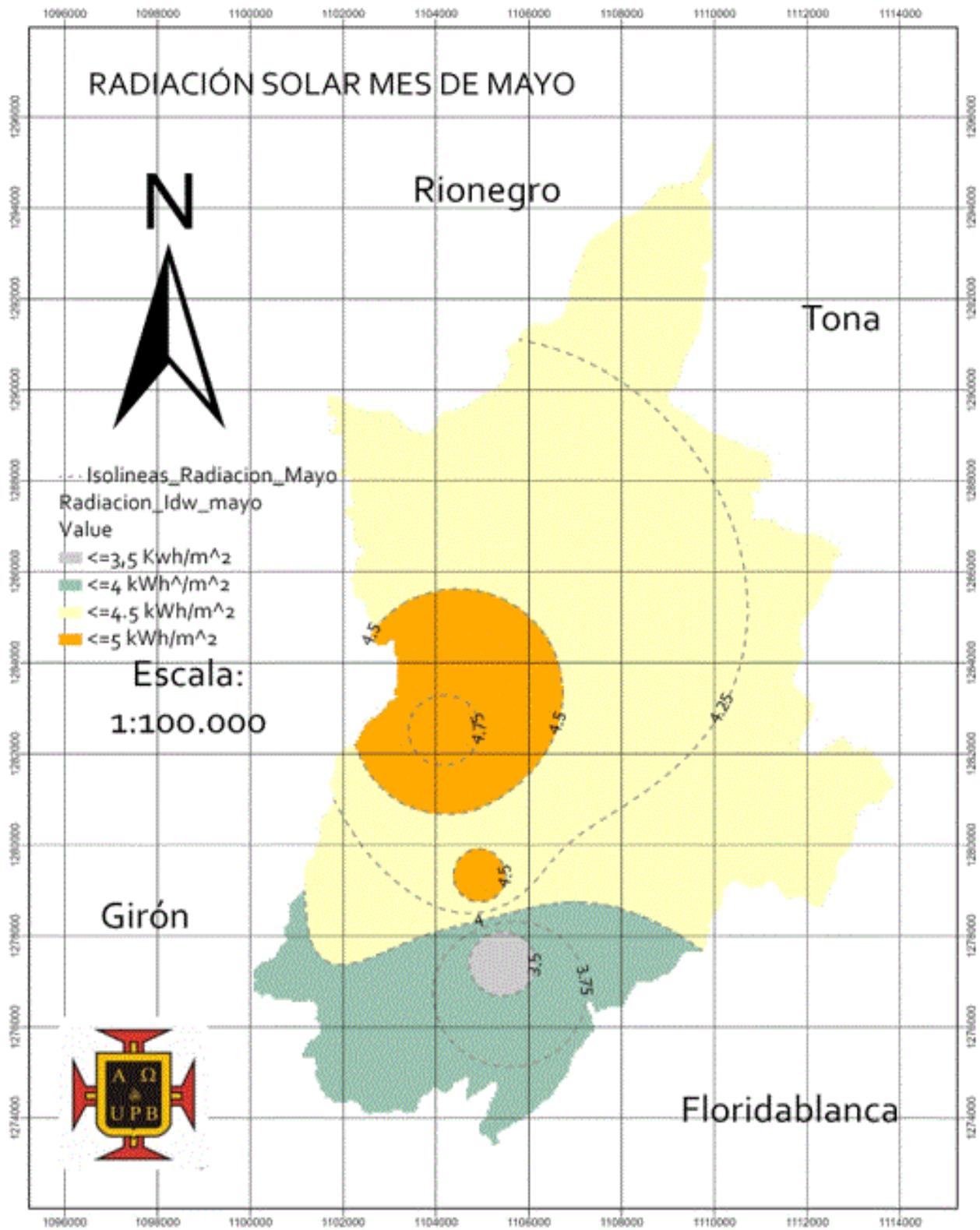
Unidades: kWh/m²
Fuente: elaborado en el estudio

Mapa 28
Radiación solar abril



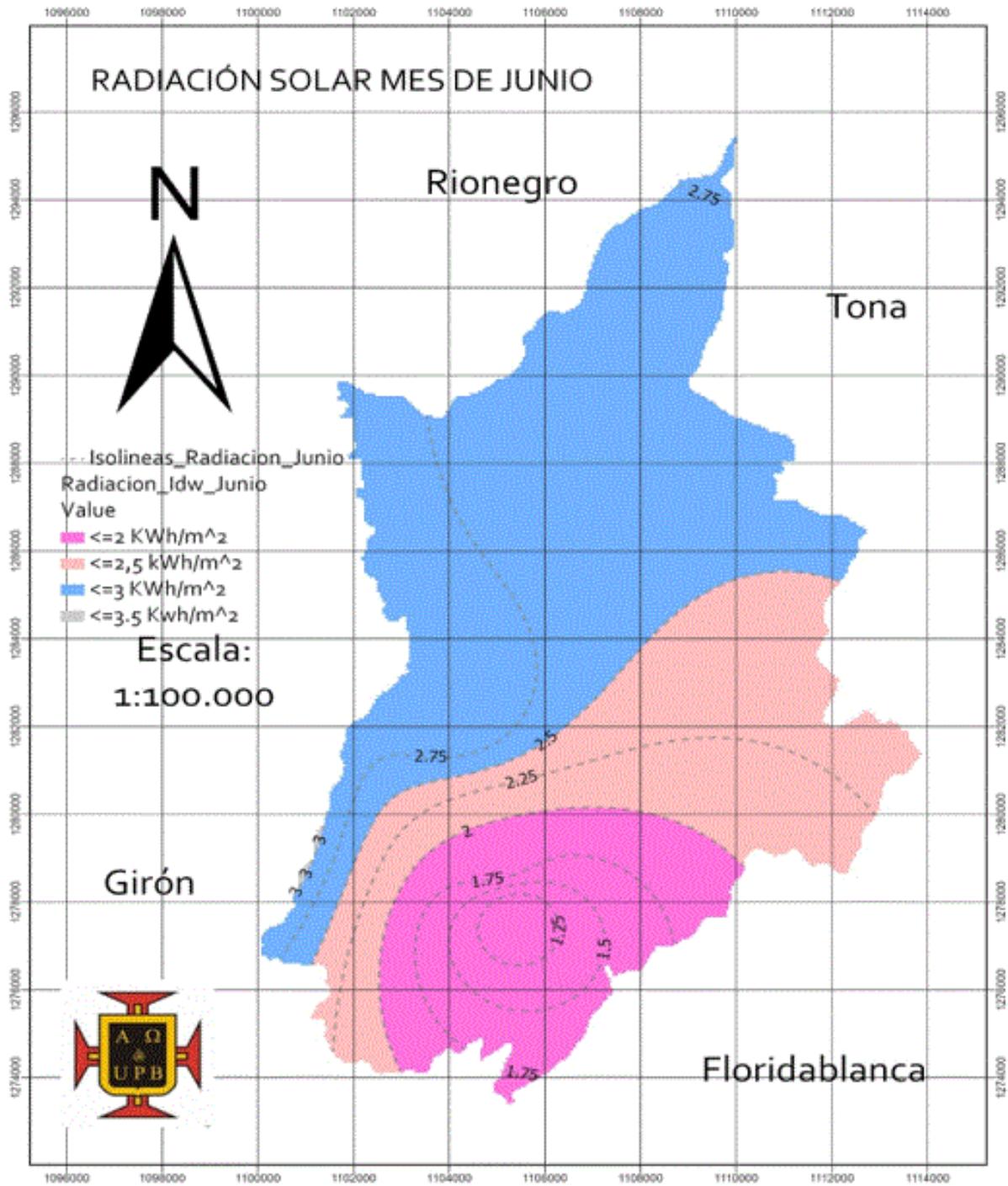
Unidades: kWh/m²
Fuente: elaborado en el estudio

Mapa 29
Radiación solar mayo



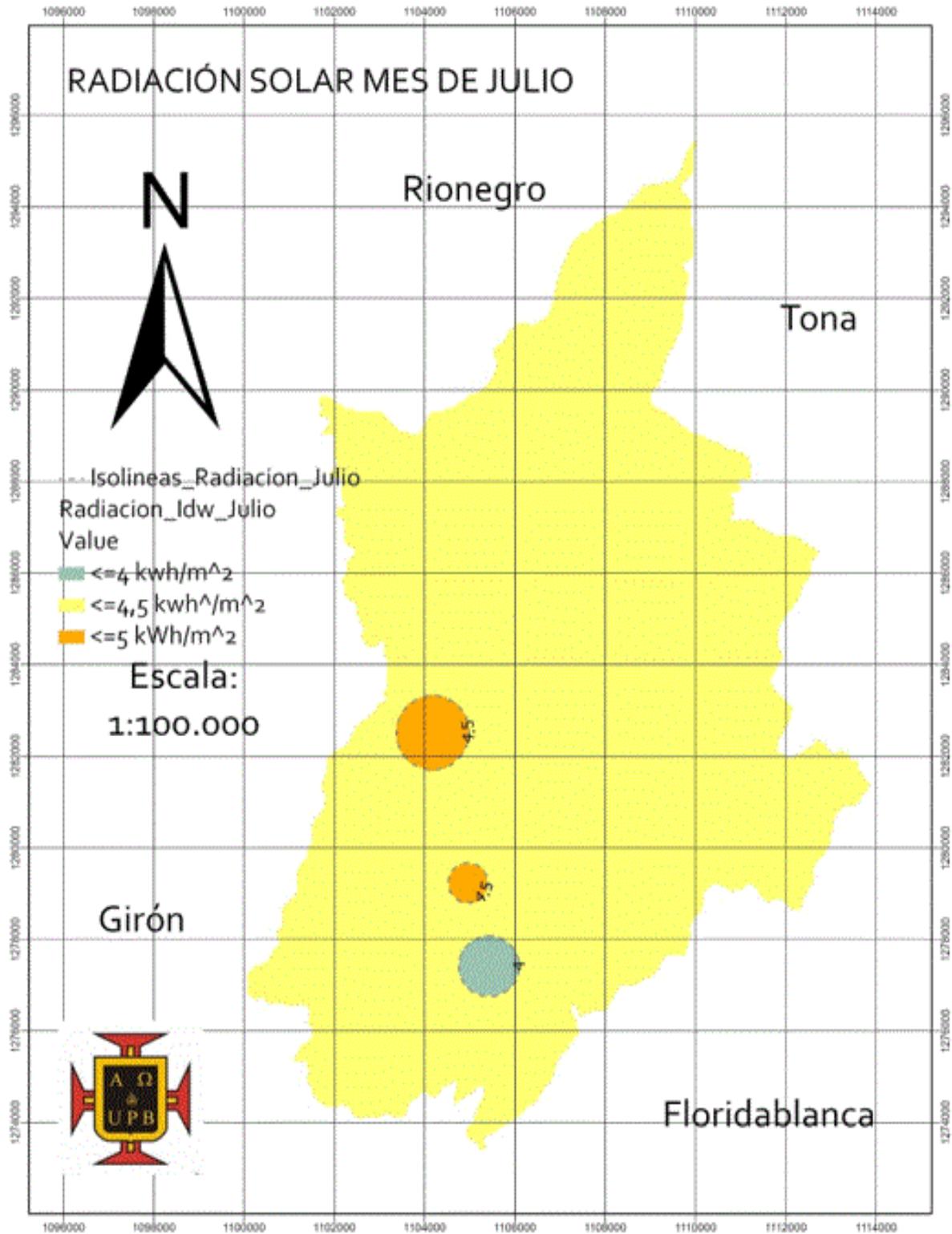
Unidades: kWh/m²
Fuente: elaborado en el estudi

Mapa 30
Radiación solar junio



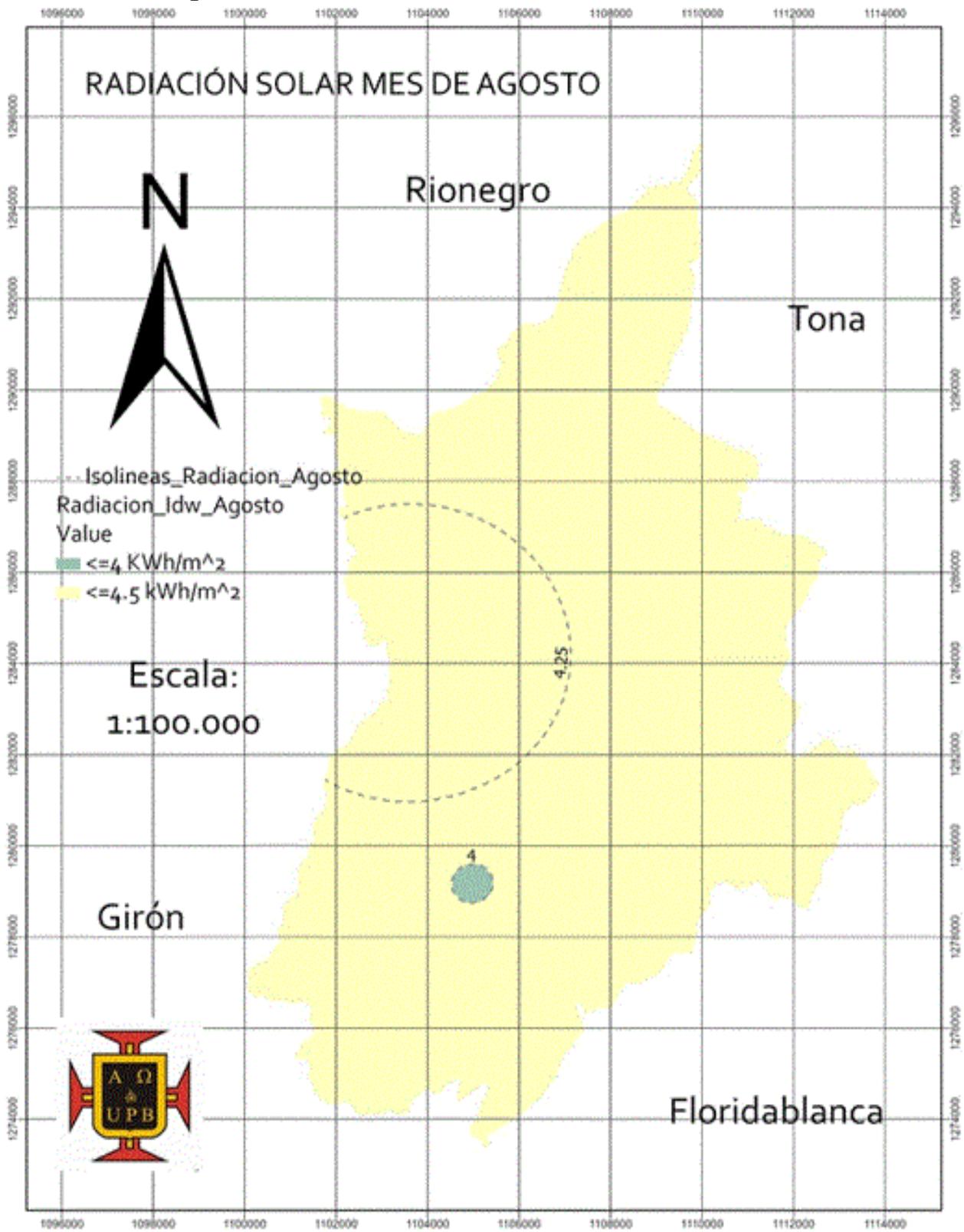
Unidades: KWh/m²
Fuente: elaborado en el estudio

Mapa 31
Radiación solar Julio



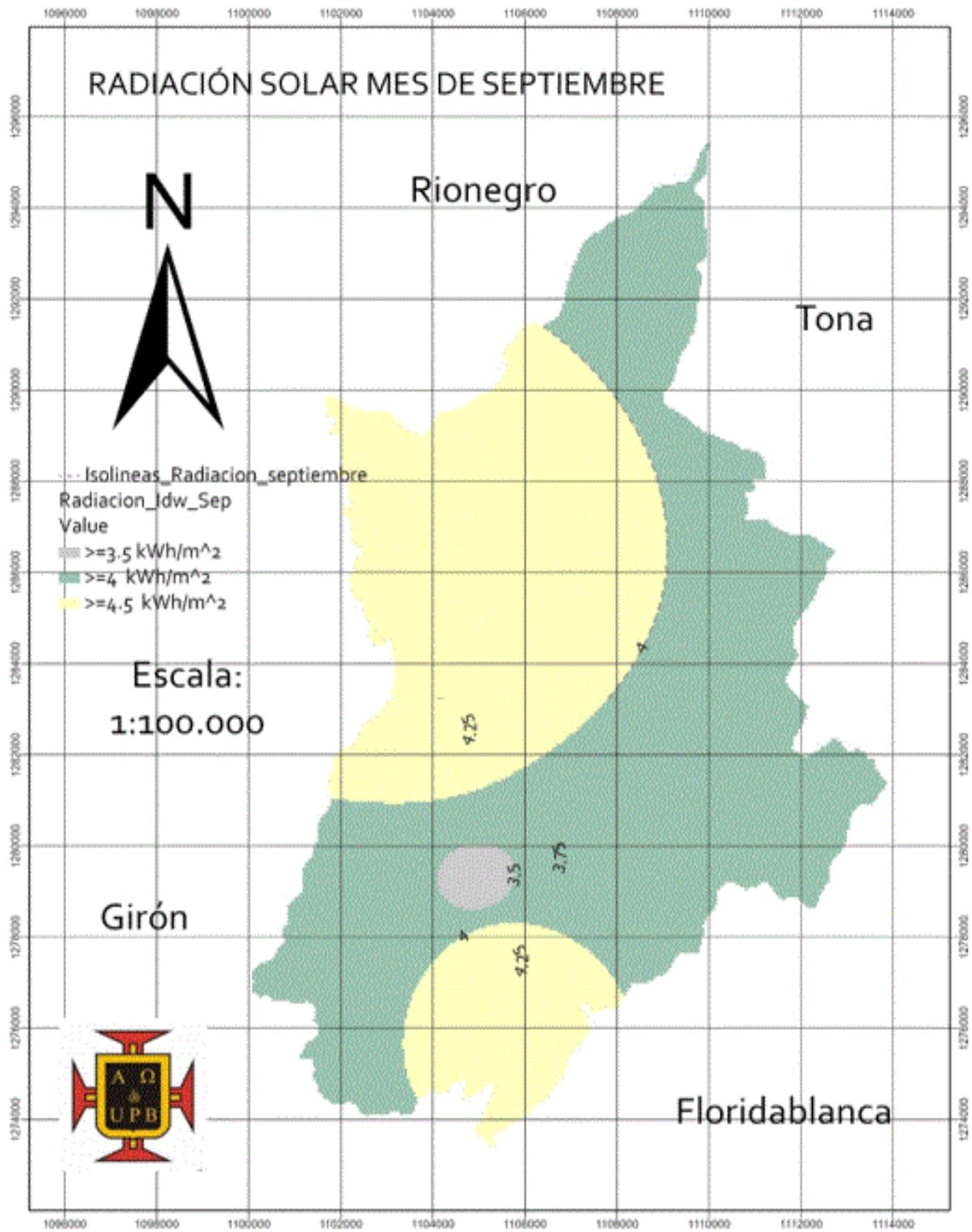
Unidades: KWh/m^2
Fuente: elaborado en el estudio

Mapa 32
Radiación solar Agosto



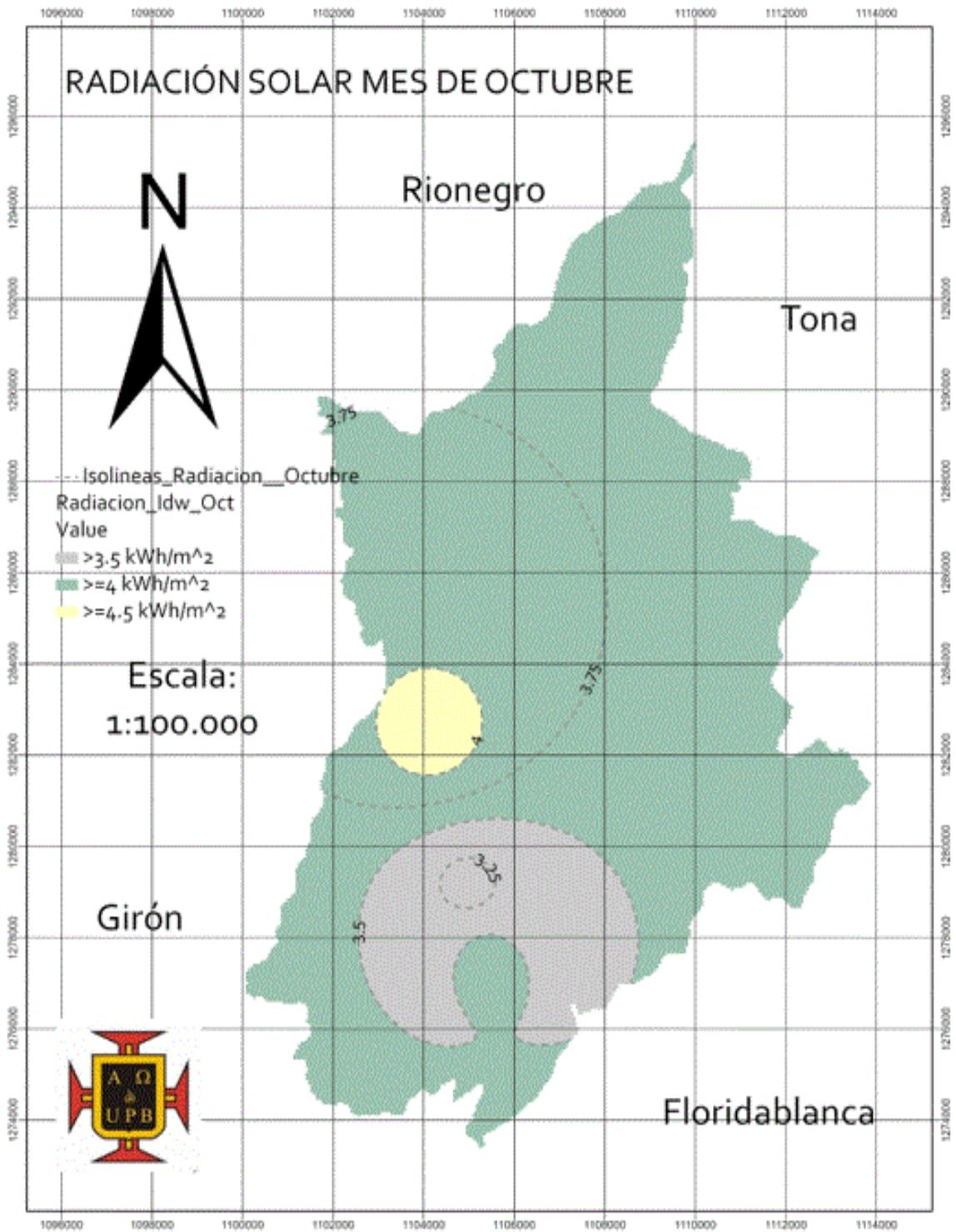
Unidades: KWh/m^2
Fuente: elaborado en el estudio

Mapa 33
Radiación solar septiembre



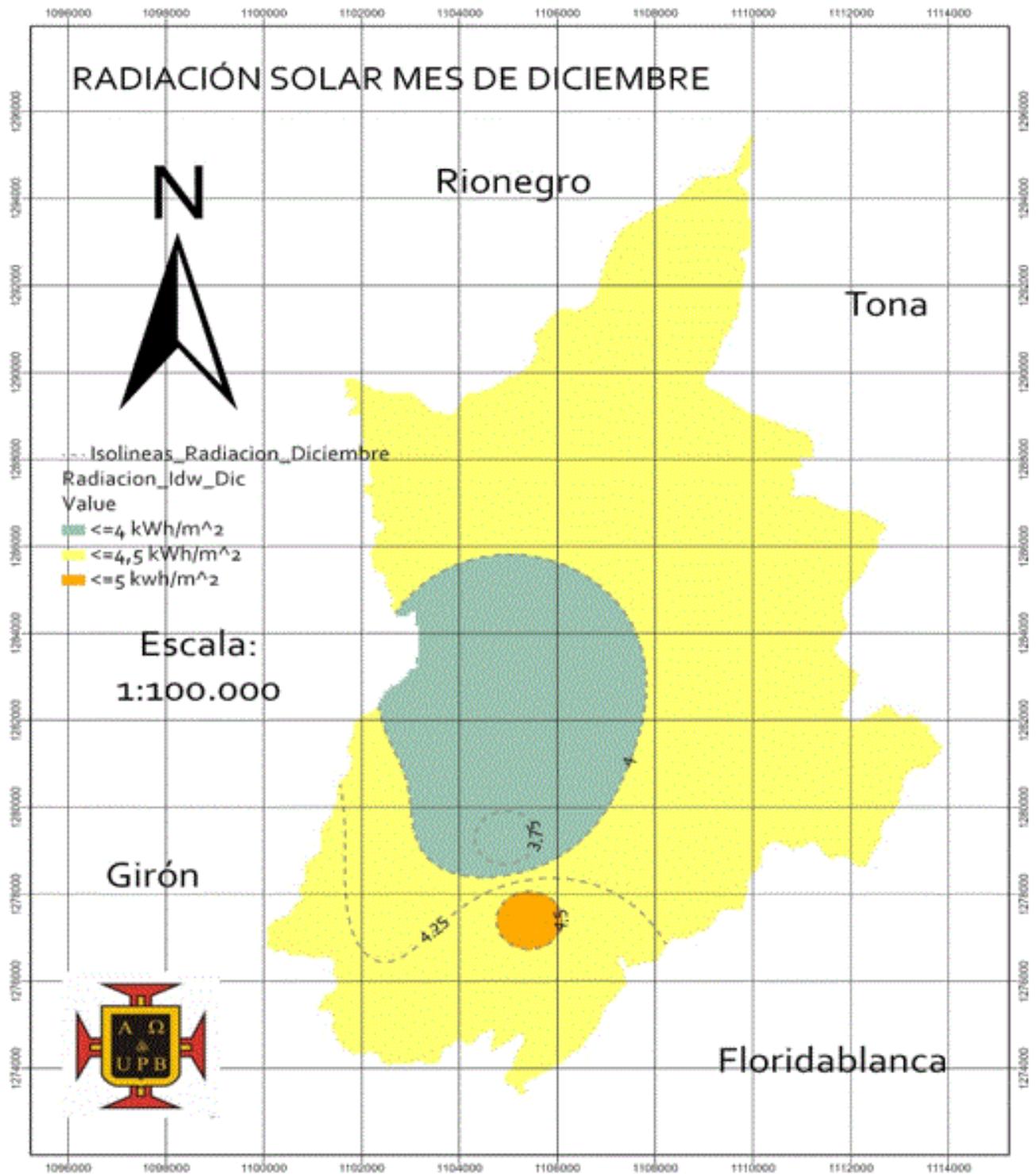
Unidades: KWh/m²
Fuente: elaborado en el estudio

Mapa 34
Radiación solar octubre



Unidades: KWh/m²
Fuente: elaborado en el estudio

Mapa 36
Radiación solar mes de diciembre

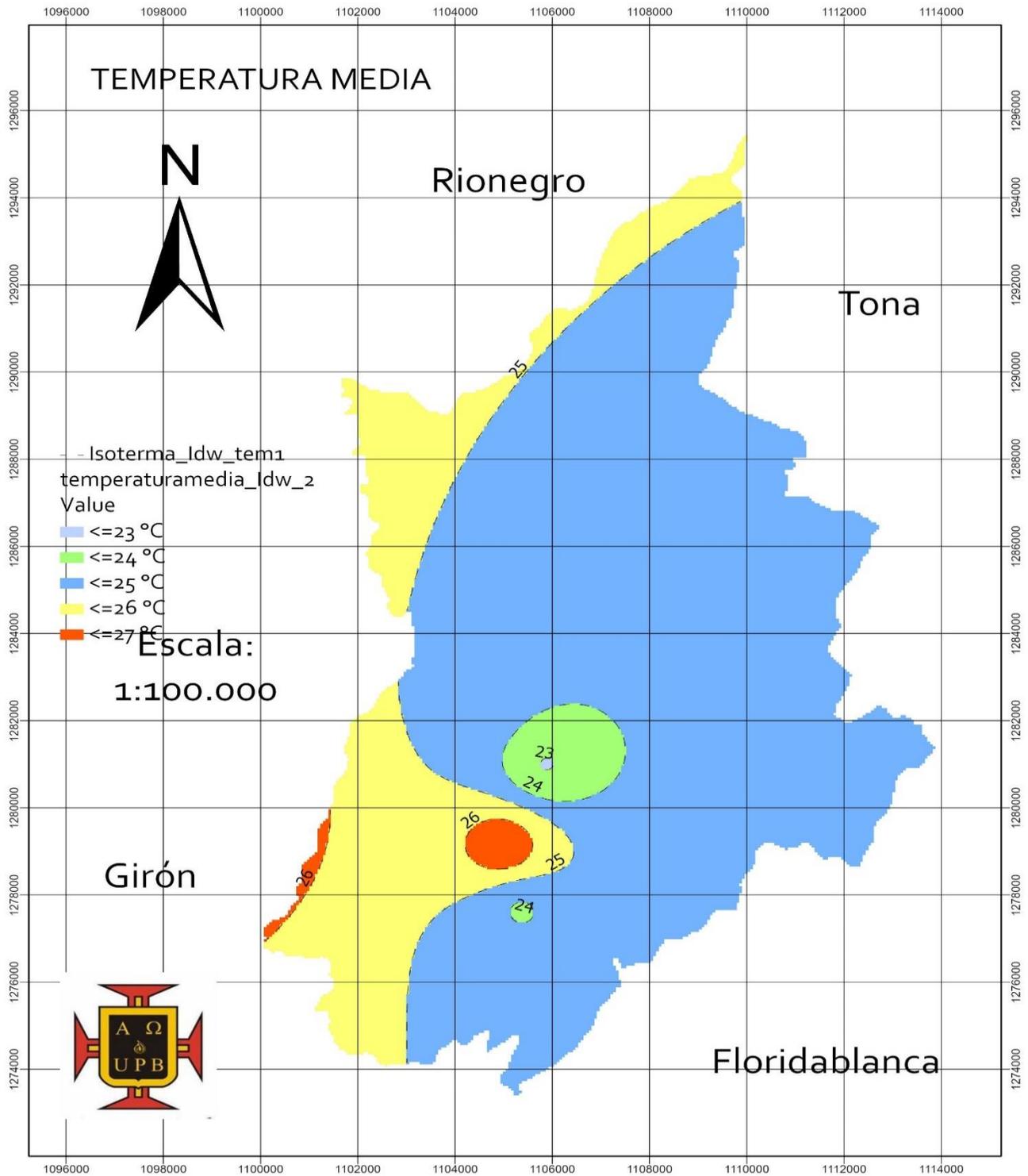


Unidades: kWh/m²
Fuente: elaborado en el estudio

10.4 Temperatura-Clima -Caldas- lang

Mapa 37

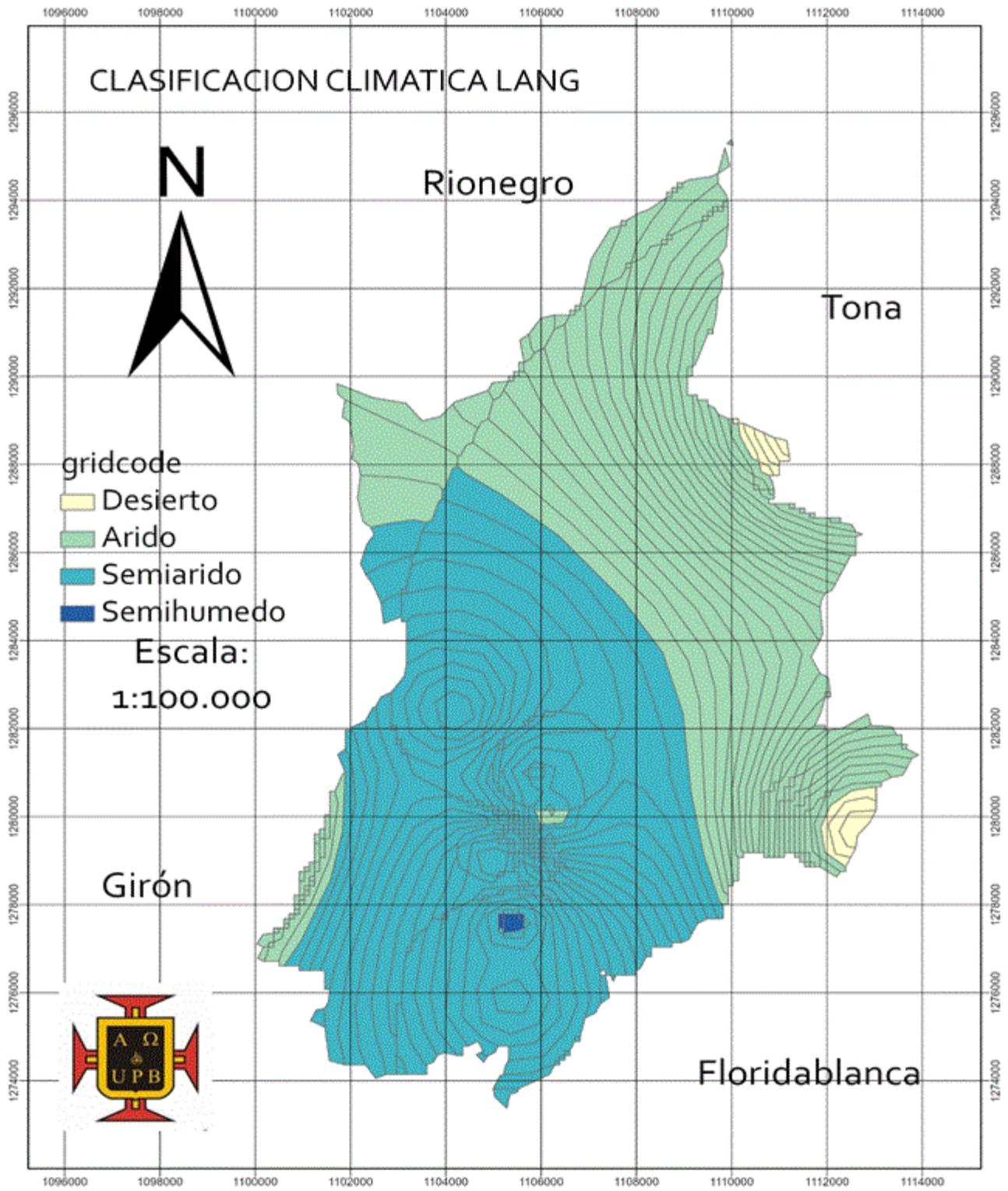
Temperatura media



Fuente: propia, unidad en °C

Mapa 38

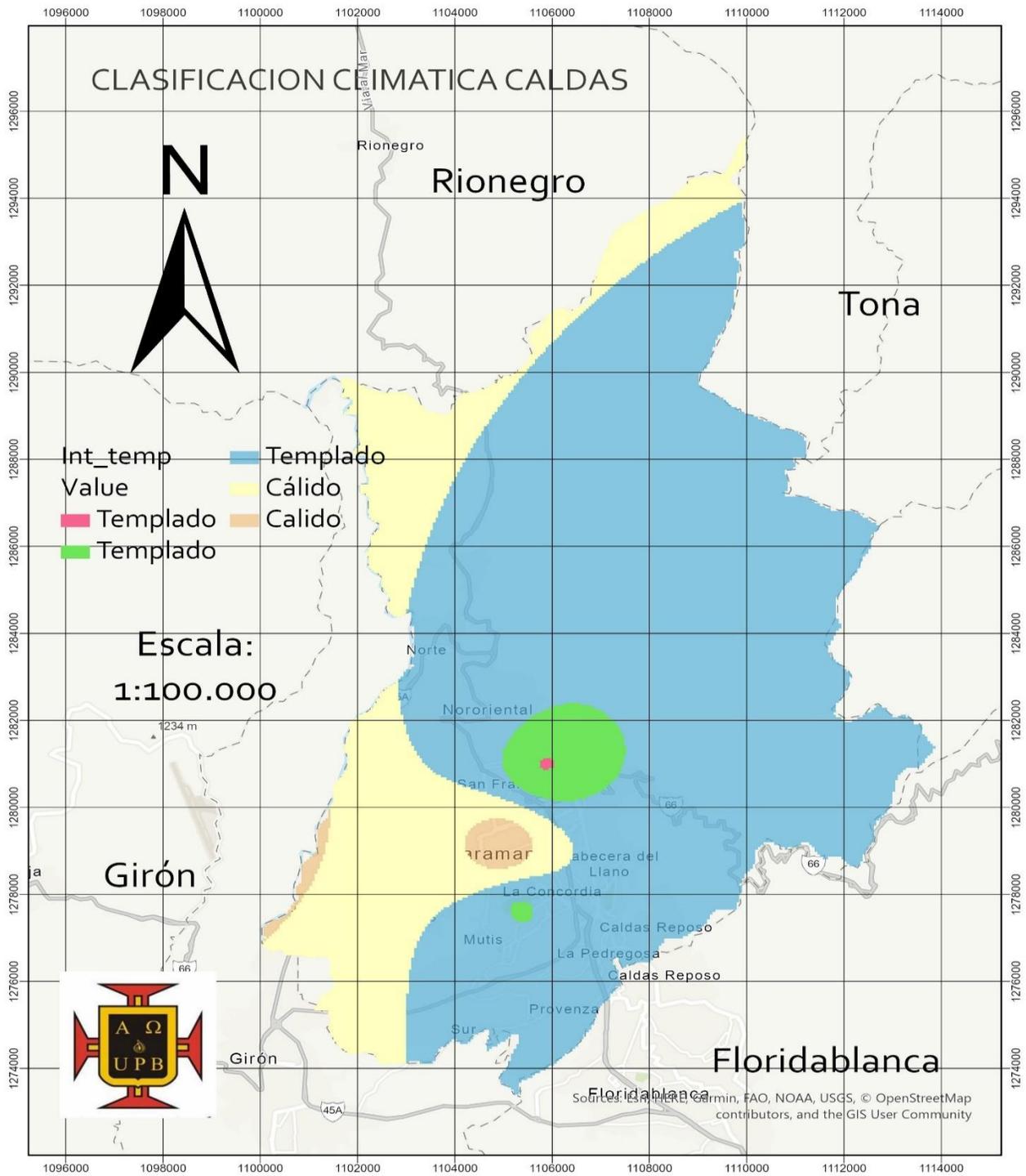
Clasificación climática Lang



Fuente: elaborado por el proyecto

Mapa 39

Clasificación climática Caldas



Fuente: Elaborado por el proyect

11. GLOSARIO

- Aleatoriedad: fluctuaciones irregulares ocurrida por sucesos impredecibles como fenómenos naturales, no se tiene claro el impacto sobre la serie de tiempo y no hay por lo tanto tendencias.
- Cambio climático: alteraciones de la atmósfera mundial atribuido a actividades humanas.
- Coeficiente de Variación (CV): Se utiliza para comparar la dispersión de dos conjuntos de datos que tienen unidades diferentes, ya que representa una medida relativa de dispersión.

$$\text{Coeficiente de variación} = CV = \frac{s}{\bar{X}} (100)$$

- Curtosis: En la distribución normal si no es acampanada y es más picuda o aplanada de lo normal se dice que tiene una Curtosis diferente de cero que es lo normal, si es mayor es más picuda o plana al revés.
- Espectro electromagnético: rango de bandas de radiación solar en términos de longitud de onda que emite el sol a la tierra, en la cual solo vemos la banda de luz visible que transporta una cantidad de energía.
- Efecto fotoeléctrico: proceso que convierte la luz solar en electricidad. La luz solar está compuesta por fotones, o partículas energéticas que tienen diferentes energías, correspondientes a las diferentes longitudes de onda del espectro solar.
- Estacionalidad: cuando se tiene patrones repetitivos en la serie de tiempos por temporadas.
- Estacionariedad: condición de la serie tiempo que mantiene su media y varianza.
- Exactitud (Accuracy): El valor medido coincide con el verdadero valor de la magnitud medida.
- Desviación estándar: Es la raíz cuadrada de la varianza:

$$s = \sqrt{\sum \frac{(xi - \bar{x})^2}{n-1}}$$

Para el caso de una muestra

- Heliógrafo: Es un instrumento que se utiliza para medir las horas de sol en un período de un día.
- Homocedasticidad= presentan varianzas iguales.
- Homogeneidad: Serie que no tiene cambios bruscos en su medida u observación.
- Hora Solar Pico (HSP): Mayor Insolación en un área o ciudad y en un tiempo o período de tiempo conocido.
- Irradiancia solar: Término que se usa para determinar la cantidad de potencia que se capta en un área y tiempo, la cantidad de radiación solar que cae en una superficie terrestre.

- Irradiación solar: Energía incidente por unidad de superficie sobre un plano dado obtenida por integración de la irradiancia durante un periodo de tiempo.
- Isolínea: Línea recta o curva que tiene el mismo valor de su variable. Por ejemplo, Isoyetas que significa igual valor de precipitación o Isohelias, que significa igual valor de radiación solar e Isotermas que son líneas con igual valor de temperatura.
- Media: (\bar{x}) Es el promedio aritmético de todos los valores que componen el conjunto de datos. Se calcula mediante la siguiente fórmula:
Para una muestra y para una población se tiene respectivamente:

$$\bar{x} = \sum \frac{x_i}{n} \qquad \mu = \sum \frac{x_i}{n}$$

- Mediana: (\tilde{x}) Los datos de "n" observaciones son ordenados del más pequeño al más grande, Si el tamaño de la muestra es "non" la mediana es el valor ordenado en la posición (n+1)/2, Se puede calcular mediante:

$$\frac{(n/2) + ([n/2] + 1)}{2}$$

- Piranómetros: instrumento para medir la radiación solar a una superficie plana, en otras palabras, es un sensor diseñado para medir la densidad del flujo de radiación solar en un cuerpo de 180°.
- Pluviómetro: conformado por un vaso cilíndrico que recibe la lluvia tiene un aro de bronce., un embudo profundo y un recipiente colector estrecho que conserva el agua de precipitación. Esta protegido para la evaporación y radiación solar.
- pluviógrafo: Registra la cantidad de agua caída y el tiempo durante el que ha caído mediante una pluma inscriptora.
- POT: documento técnico y normativo para ordenar el territorio municipal o distrital llamado plan de ordenamiento territorial.
- Potencia: Relación de energía de un flujo por unidad de tiempo cuyas unidades son kWh
- Precisión: Poca variabilidad o dispersión en torno a un valor medio. Es la variación observada al medir el mismo elemento de forma repetida y utilizando el mismo método de medición.
- Sesgo: Es la diferencia entre el valor medido y el verdadero valor de la magnitud medida.
- SIG: Conjunto de elementos que tienen atributos cuantitativos y cualitativos, relacionados entre sí conforman un sistema en una distribución espacial
- Test U Mann Whitney: Prueba no Paramétrica para determinar si dos muestras son homogéneas.
- Test Kolmogorov smirnov: Prueba de normalidad para muestras grandes mayores a 50 datos
- Test Shapiro Wilk: Prueba de normalidad para muestras pequeñas, menore a 50 datos.

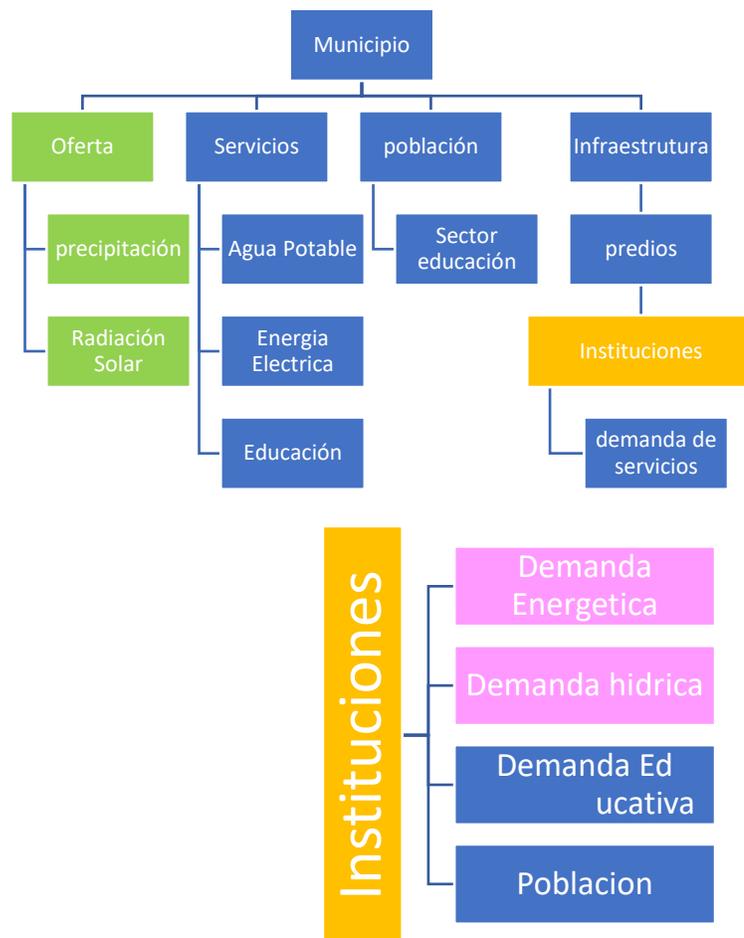
- Variabilidad climática: alteraciones de la atmósfera mundial atribuido a causas naturales. Ejemplos: Fenómeno de Niño y Niña cuya ocurrencia se restringe a algunos años y duración de 1 a 3 años.
- Varianza: medida de dispersión de los datos frente a su media.

12.RESULTADOS

12.1 Análisis espacial mediante el sistema de información geográfico piloto.

La base del SIG piloto que se construye atiende el siguiente modelado de objetos:

Gráfica 30. Estructura SIG



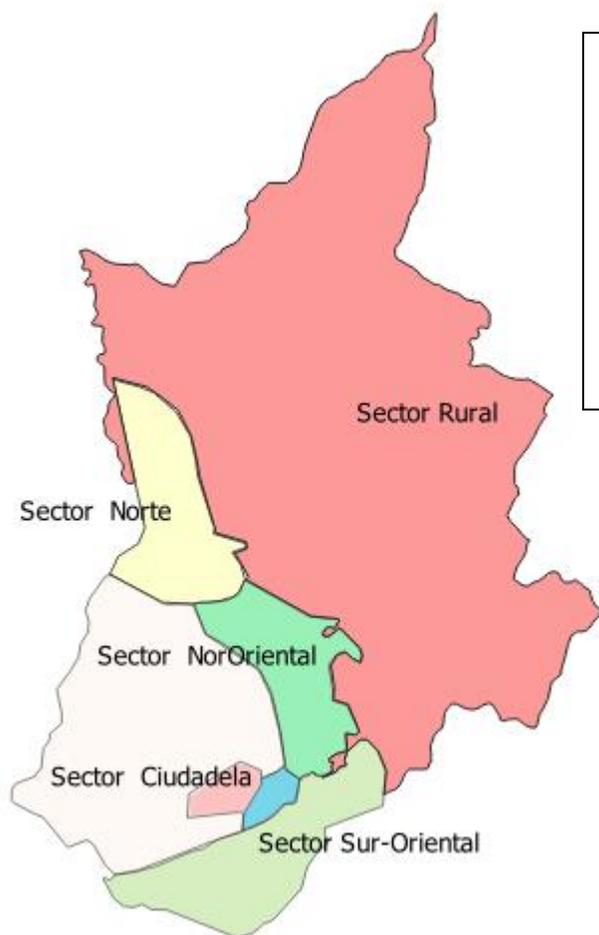
Fuente Propia

Las instituciones están organizadas en sectores con nodos o puntos espaciales en las cuales hay un balance entre oferta y demanda promedio y mínimo, para lo cual se han aplicado geoprocesos.

La gráfica 30 muestra los elementos del sistema de información geográfico construido.

12.2. Potencial energético e hídrico por sectores.

Gráfica 31. Potenciales energéticos e hídricos de sectores



Sector	Potencial Energético kwh	Potencial Hídrico m ³
Norte	641.643	14.114.398
Ciudadela	12.385	390.650
Cento-Sur	6.809	205.527
Nororiental	497.263	11.239.934
Sur-Oriental	670.864	18.720.773
Sur-occidental	4.708.033	117.227.455

Fuente: propia

Tabla 28 Resultados de precipitación sobre el potencial hídrico

Nombre	ZONE_	COUNT	AREA	MIN	MAX	RANGE	MEAN	STD	SUM
Sector Norte	1	650	9062567,926589	85,161697	103,269859	18,108162	94,812106	4,899715	61627,868835
Sector Ciudadela	2	98	1366356,395086	110,978104	119,54937	8,571266	115,441932	2,354537	11313,309288
Sector Centro-Sur	3	72	1003853,678022	107,541206	115,924255	8,383049	112,520592	2,133256	8101,48259
Sector NorOriental	4	597	8323620,080267	79,911133	108,898232	28,987099	89,50416	6,774945	53433,983757
Sector Sur-Oriental	5	704	9815458,185105	91,633926	116,874008	25,240082	107,202914	6,127991	75470,851295
Sector Sur-Occidental	6	1836	25598268,789564	77,164146	118,573273	41,409126	98,698855	8,894194	181211,097542

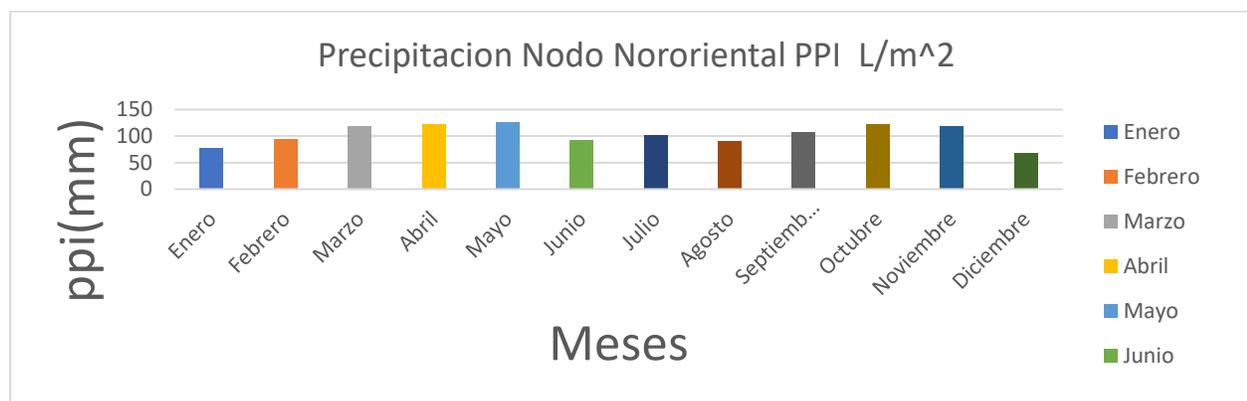
Tabla 29 Resultados de radiación solar sobre el potencial Energético

Nombre	ZONE_CODE	COUNT	AREA	MIN	MAX	RANGE	MEAN	STD	SUM
Sector Norte	1	6880	9005463,473055	4,163312	4,424762	0,261449	4,310172	0,072093	29653,980901
Sector Ciudadela	2	69	90316,421459	3,654491	3,678189	0,023698	3,659879	0,005176	252,531641
Sector Centro-Sur	3	10	13089,336443	3,72005	3,735187	0,015136	3,727695	0,004247	37,276947
Sector NorOriental	4	6249	8179526,343477	3,736335	4,328326	0,591991	3,959734	0,131246	24744,375052
Sector Sur-Oriental	5	415	543207,462401	3,80963	3,858161	0,048531	3,841643	0,010964	1594,281821
Sector Sur-Occidental	6	13512	17686311,402313	3,660058	4,332531	0,672472	3,963896	0,136939	53560,168648

12.3 Análisis de Potencial hídrico por instituciones

El gráfico 32 y 33 corresponde a la precipitación calculada a partir de los raster de interpolación.

Gráfica 32. Precipitación nodo sector nororiental

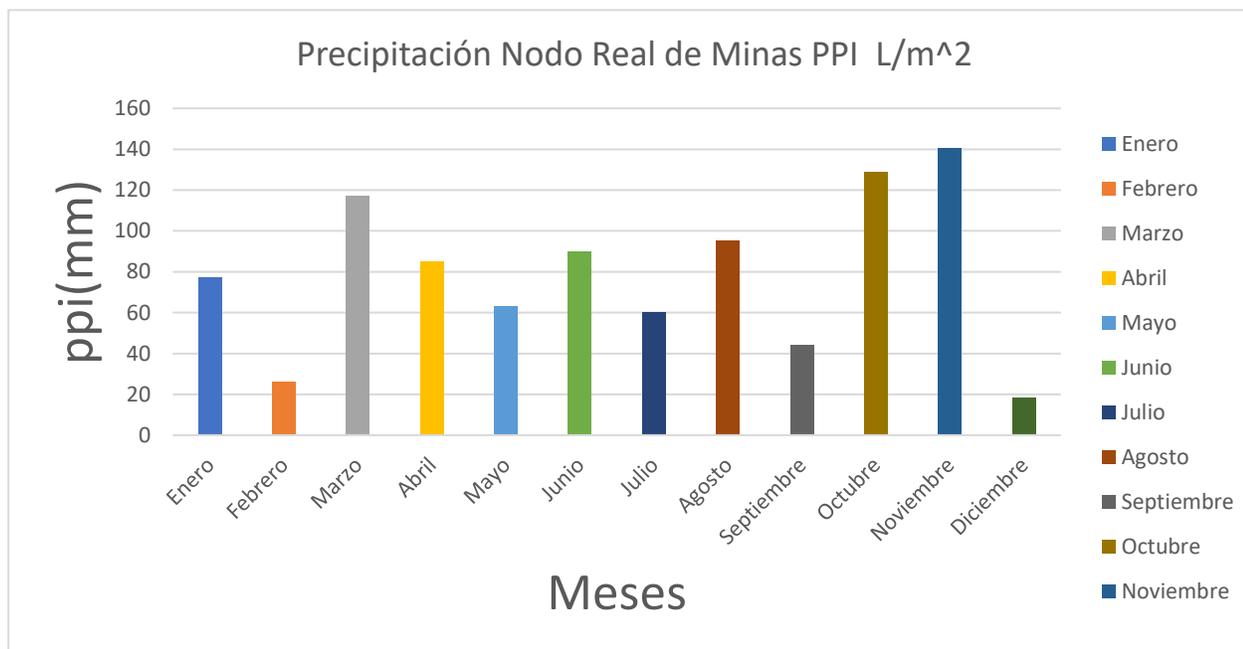


Fuente: elaborado en el estudio

Tabla 30 Cálculo de Volumen de almacenamiento y potencial de agua sector nororiental

Mes	PPI L/m^2	Días mes	Demanda, Di (m^3/mes)	Dai (m3/mes)	Oferta, Ai (m3/mes)	Aai (m3/mes)	Volumen, Vi (m3/mes)	PPWS (%) (m3/mes)
Mayo	127	31	244,5806	244,5806	287,3315733	287,3315733	42,7509733	117,4792986
Junio	92	31	244,5806	489,1612	208,1457067	495,47728	6,31608	85,10311393
Julio	102	30	244,5806	733,7418	230,77024	726,24752	-7,49428	94,3534524
Agosto	90	31	244,5806	978,3224	203,6208	929,86832	-48,45408	83,25304624
Septiembre	108	30	244,5806	1222,903	244,34496	1174,21328	-48,68972	99,90365548
Octubre	123	30	244,5806	1467,4836	278,28176	1452,49504	-14,98856	113,7791632
Noviembre	119	31	244,5806	1712,0642	269,2319467	1721,726987	9,66278667	110,0790278
Diciembre	68,3	28	77,8211	1789,8853	154,5255627	1876,252549	86,3672493	198,5651227
Enero	77	30	166,7595	1956,6448	174,2089067	2050,461456	93,816656	104,4671558
Febrero	95	31	222,346	2178,9908	214,9330667	2265,394523	86,4037227	96,66603702
Marzo	119	31	244,5806	2423,5714	269,2319467	2534,626469	111,055069	110,0790278
Abril	122	31	244,5806	2668,152	276,0193067	2810,645776	142,493776	112,8541293
							promedio	110,5485192
Usuarios:	2140							
Area Captación:	2876	(6,5% Area abierta)		m2				
dotacion:	20,78							
PPWS (%) (m3/mes)		Potencial de Ahorro						
Volumen del tanque:		142,493776						

Gráfica 33. Precipitación nodo sector Ciudadela



Fuente: elaborado en el estudio

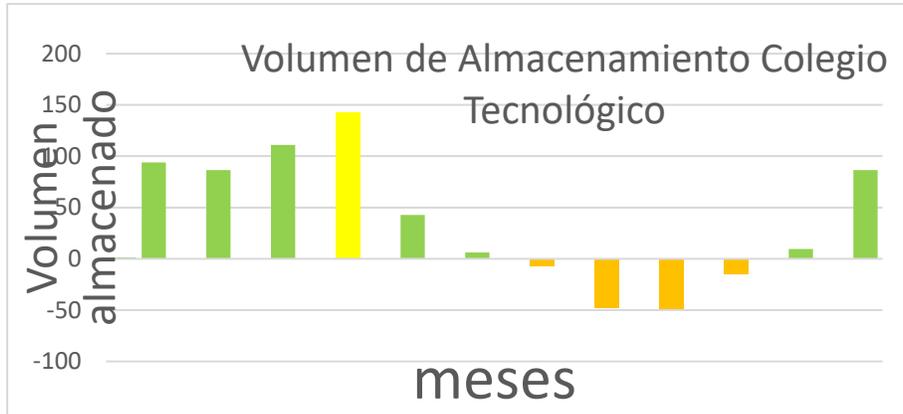
Tabla 31 Cálculo de Volumen de almacenamiento y potencial de agua sector Real de Minas

Mes	PPI L/m ²	Días mes	Demanda, Di (m ³ /mes)	Dai (m ³ /mes)	Oferta, Ai (m ³ /mes)	Aai (m ³ /mes)	Volumen, Vi (m ³ /mes)	PPWS (%) (m ³ /mes)
Noviembre	140,4	30	166,00353	166,00353	281,6865792	281,6865792	115,683049	169,687102
Diciembre	18,4	31	52,819305	218,822835	36,91618987	318,6027691	99,7799341	69,89147219
Enero	44	31	113,184225	332,00706	88,27784533	406,8806144	74,8735544	77,99483129
Febrero	26	31	150,9123	482,91936	52,16418133	459,0447957	-23,8745643	34,56589114
marzo	117	30	166,00353	648,92289	234,738816	693,7836117	44,8607217	141,4059183
abril	85	30	166,00353	814,92642	170,5367467	864,3203584	49,3939384	102,7307953
Mayo	63	31	166,00353	980,92995	126,397824	990,7181824	9,7882324	76,14164831
junio	90	31	113,184225	1094,114175	180,56832	1171,286502	77,1723274	159,5348822
julio	60	30	113,184225	1207,2984	120,37888	1291,665382	84,3669824	106,3565881
agosto	95	31	166,00353	1373,30193	190,5998933	1482,265276	108,963346	114,8167713
septiembre	44	28	166,00353	1539,30546	88,27784533	1570,543121	31,2376611	53,17829406
Octubre	129	31	435,123744	1974,429204	258,814592	1829,357713	-145,071491	59,48068695
Usuarios:	973						promedio	90,55434356
Area Captación:	2550,4	(20% Area abierta)						
dotacion:	31,02							
PPWS (%) (m ³ /mes)		Potencial de Ahorro						
Volumen del tanque:		115,683049						

La precipitación se distribuye en la fila superior el mes de mayor lluvia del promedio de años evaluado y se continua con el orden de los meses que le preceden. La oferta de agua lluvia se calcula tomando en consideración un área de captación acorde a la infraestructura actual,

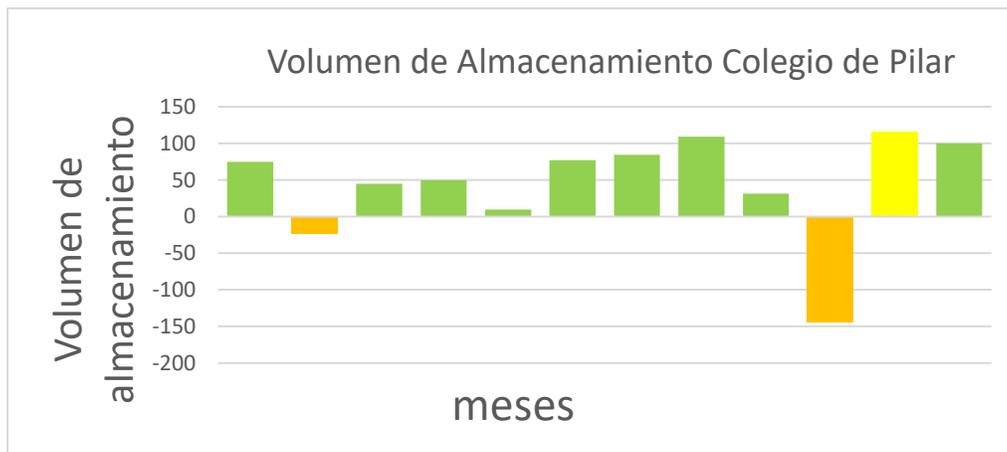
tanteando un volumen pequeño de almacenamiento, pero suficiente para aprovechar su disponibilidad. como se observa en las gráficas 33,34.

Gráfica 34. Volumen de almacenamiento colegio Tecnológico



Fuente: elaborado en el estudio

Gráfica 35. Volumen de almacenamiento colegio del Pilar



Fuente: elaborado en el estudio

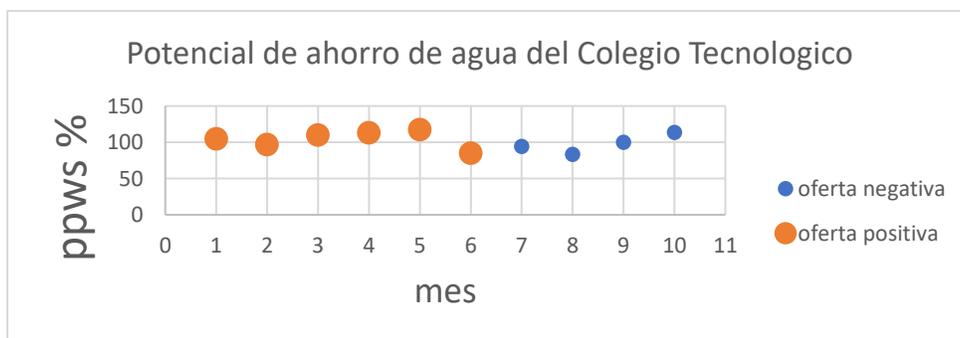
La gráfica 33 y 34 muestra los diferentes volúmenes para cada mes en los dos nodos estudiados. Los colores verdes son los volúmenes remanentes luego de la captación y del consumo, el color amarillo es el volumen más alto de todos los meses y el que indica el tamaño del tanque de almacenamiento, y los colores naranjas son los meses en los que la demanda es mayor al agua lluvia captada. Esos valores son los volúmenes que se deben cubrir con agua potable, se observa un mejor comportamiento

en el nodo Real de Minas que el nodo preferencial, siempre y cuando las condiciones hidrológicas continúen similares a las reportadas en la Tabla 5, en donde se observa que en la mayoría de los años se presenta fenómeno de pocas lluvias (El Niño), pero en caso de haber una mayor precipitación debida al fenómeno de La Niña, estos volúmenes podrían recolectarse sin necesidad de cubrir la demanda faltante con agua potable, lo cual daría una mayor viabilidad a la implementación del sistema de aguas lluvias.

12.3.1 Potencial Hídrico

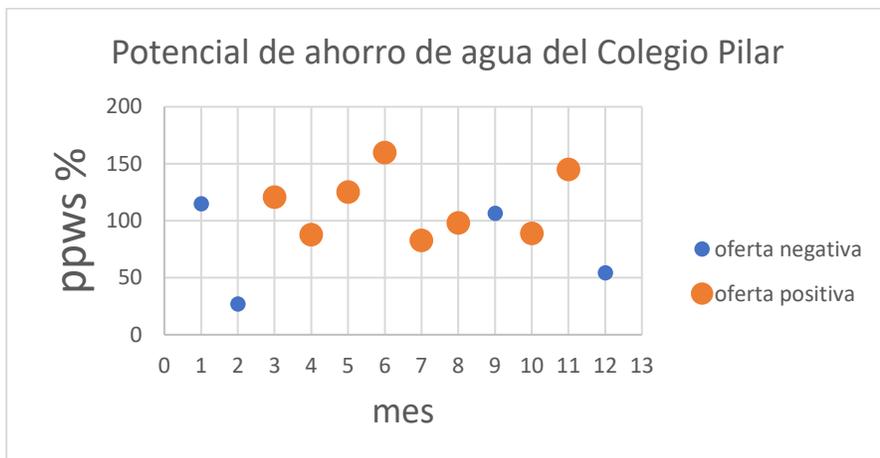
EL ppws es el parámetro que indica qué porcentaje de la demanda será cubierto con el agua lluvia, y en cuáles meses será necesario complementar el consumo con agua potable. Según los resultados de la tabla 34 y 35, las gráficas 35.36, en el colegio Tecnológico durante seis (6) meses del año la demanda estará totalmente cubierta por el agua lluvia (coincidiendo con los resultados del volumen de almacenamiento mientras que en el colegio del Pilar ocho (8) meses del año la demanda estará totalmente cubierta por el agua lluvia (coincidiendo con los resultados del volumen de almacenamiento) , inclusive con valores mucho mayores a los de la demanda, esos “excesos” son los que quedarán acumulados para ser utilizados en meses siguientes para este situación a fin de año en el colegio del Pilar es posible suplicar los primeros mees del siguiente año . En cuanto a la situación del colegio Tecnológico los primeros cinco meses pueden ser surtidos por agua lluvia y los siguiente siete meses por agua potable para la descarga de los sanitarios.

Gráfica 36. Potencial de ahorro de agua del colegio Tecnológico



Fuente: elaborado en el estudio

Gráfica 37. Potencial de ahorro de agua del colegio Pilar



Fuente: elaborado en el estudio

12.3.2 Potencial Energético.

La utilización de los rayos solares para la generación de energía eléctrica es cada vez mayor, pero el potencial energético varía de un sitio a otro, por lo tanto, se debe calcular el potencial energético en Bucaramanga por edificaciones. Para su cálculo se tomó en cuenta lo descrito por el IDEAM y otros autores. [42] [43] [44] [38]

Para determinar el potencial en zonas abiertas con varios edificios se tomó la base de cálculo de potencial energético por edificación.

Tanto el nodo preferencial y Real de Minas arrojan un ahorro significativo del consumo mensual de energía, si la luz solar es tomada por un sistema fotovoltaico conectado a la red eléctrica para suministrar energía eléctrica para las luminarias y los computadores de los edificios, no obstante, en instituciones grandes el área de los paneles es muy grande en la medida que se tenga unas eficiencias muy bajas aun el cual es compensado en parte con una radiación solar de 4 kWh/m².

El análisis financiero se hace para 15 años de vida de los paneles y se tomó en cuenta un panel comercial de 330 W y eficiencia mínima de 20%.

El nodo real de Minas presenta mayores beneficios dado que la radiación solar es mayor que la del nodo preferencial y los edificios presentan mayor concentración de personas en áreas de techo que pueden ser aprovechadas.

Tabla 32 Potencial Energético nodo ciudadela

Oferta kWh/m2 Nodo Real de Minas	2,8917	3,617	3,454	2,680	3,989	3,579	2,605	4,161	4,353	3,539	3,504	4,633
HSP	2,9	3,6	3,5	2,7	4,0	3,6	2,6	4,2	4,4	3,5	3,5	4,6
Egenerada kwh (mes)/panel	7,83	9,77	9,34	7,24	10,77	9,67	7,05	11,26	11,77	9,56	9,48	12,53
Egenerada kwh (mes)/panel promedio:		9,69										
Area Panel (m2)	1,94											
PILAR												
	Enero	Feb	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
CONSUMO (Kwh) x edificio	1885,333333	3047,333333	5353,333333	5026,66667	5140	3053,333333	1873,333333	2866,666667	3880	3686,6667	3593,333333	3153,333333
Numero Paneles -Celula	531,00											
Area requerida (m2)	1.030											
Inversion	51.500.000											
Consumo ahorrado mensual	1.012.424	1.636.418	2.874.740	2.699.320	2.760.180	1.639.640	1.005.980	1.539.400	2.083.560	1.979.740	1.929.620	1.693.340
Consumo ahorrado 20 años	457.087.240											
GORETTI	Enero	Feb	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
numero edificios	20											
CONSUMO (Kwh) x edificio	1.072	2.938	5.911	5.231	4.867	2.969	1.351	3.316	4.302	3.542	3.333	3.178
Numero Paneles -Celula	610											
Area requerida (m2)	1.184											
Inversion	59.200.000											
Consumo ahorrado mensual	575.664	1.577.527	3.174.267	2.809.107	2.613.400	1.594.293	725.547	1.780.453	2.310.293	1.902.173	1.790.000	1.706.467
Consumo ahorrado 20 años	451.183.820											

Fotografía 2. Sector Ciudadela



Fuente: Google earth

Tabla 33 Potencial energético nodo nororiental

Oferta kWh/m2 Nodo Preferencial	3,7791	4,0330	4,2065	4,0060	3,9126	3,8946	4,0749	4,1878	4,1392	3,8445	3,5516	3,5248
HSP	3,80	4,10	4,30	4,10	4,00	3,90	4,10	4,20	4,20	3,90	3,60	3,60
Egenerada kwh (mes)/panel	10,26	11,07	11,61	11,07	10,80	10,53	11,07	11,34	11,34	10,53	9,72	9,72
Egenerada kwh (mes)/panel promedio:	10,76											
Area Panel (m2)	1,94											
TECNOLOGICO												
	Enero	Feb	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
CONSUMO (Kwh) x edificio	1.623	1.908,50	2.800	2.783	2.904	1.353	1.034	1.716	2.002	1.760	1.859	1.650
Numero Paneles -Celula	270,00											
Area requerida (m2)	523,90											
Inversion	145.200.000											
Consumo ahorrado mensual	871.283	1.024.865	1.503.332	1.494.471	1.559.448	726.561	555.258	921.492	1.075.074	945.120	998.283	886.050
Consumo ahorrado 20 años	251.224.710											
UIS	Enero	Feb	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
numero edificios	20											
CONSUMO (Kwh) x edificio	25.085	28.686	26.846	29.335	29.743	29.667	30.260	29.853	30.101	31.382	29.972	27.391
Numero Paneles -Celula	2.918											
Area requerida (m2)	5.662											
Inversion	283.100.000											
Consumo ahorrado mensual	13.470.761	15.404.400	14.416.051	15.752.993	15.971.969	15.931.197	16.249.432	16.031.182	16.164.438	16.852.004	16.095.201	14.709.079
Consumo ahorrado 20 años	3.740.974.163											

Fotografía 3 Colegio Tecnológico -UIS



Fuente: Google earth

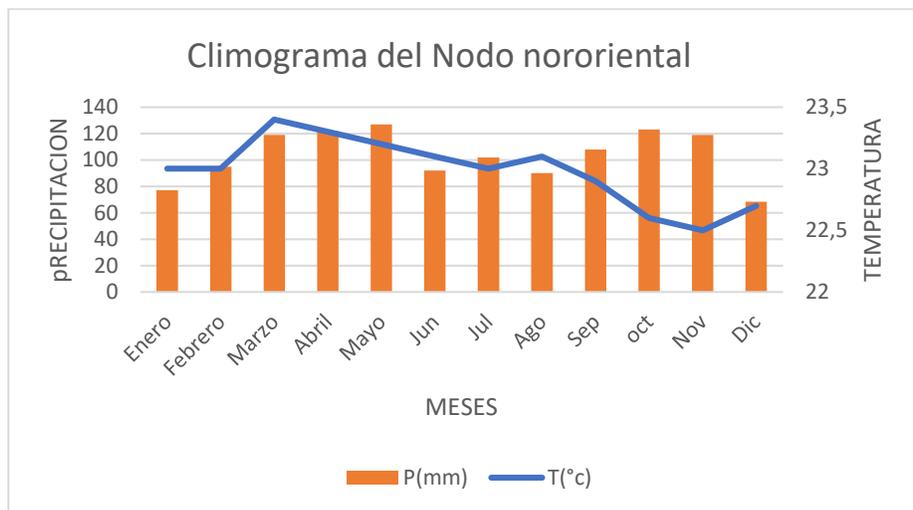
12.4 Climograma (relación de radiación solar, precipitación y temperatura)

La lectura del climograma nororiental estima que el máximo absoluto de precipitación del nodo nororiental es abril y mayo, y el máximo secundario es octubre y noviembre. El mínimo absoluto es diciembre y el mínimo secundario es enero.

El máximo absoluto de temperatura es el mes de marzo y el mínimo absoluto noviembre. Por otro lado, el máximo secundario es agosto y el mínimo secundario es octubre.

Los meses más secos son enero, junio y agosto. El verano que empieza en diciembre y enero en el nodo nororiental (carrera 27- calle 9-12), es caluroso 23° C que con las ultimas series encontradas llegara a 26°C y es árido en enero por que se sitúa debajo de la línea de temperatura la precipitación. Mientras que en marzo y mayo se registran mayores temperaturas es muy húmedo, teniendo días de lluvia y secos de manera alterna. El mes de marzo a pesar de ser el que registro las mayores temperaturas medias, es un mes muy húmedo.

Gráfica 38. Climograma del sector nororiental



Fuente: elaboración del proyecto

12.4.1 Índice de Gaussien

Usado para determinar si mes es seco o lluvioso el cual se corrobora en un periodo de tiempo de niño y niña y ver la afectación del recurso en máximos o mínimos. A partir de la evaluación del índice para el nodo, ciudadela, Norte y centro-cabecera tendremos:

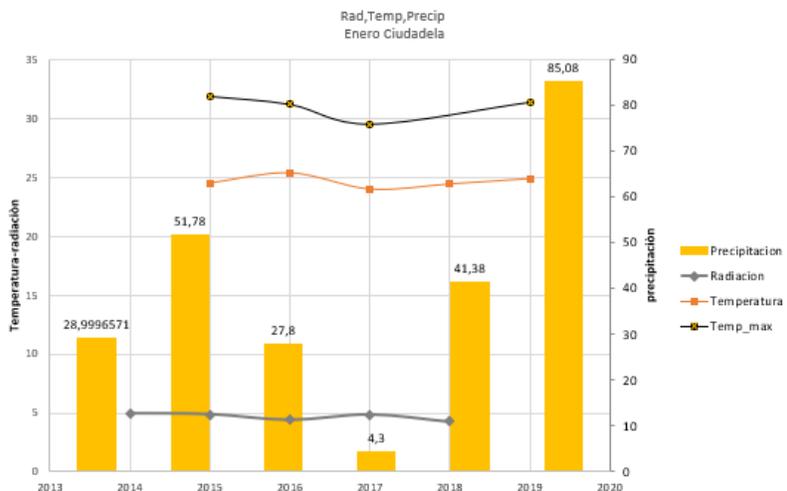
Tabla 34 Índice de Gausson en nodos

	Enero	Feb	Mar	Abr	Mayo	Jun	Jul	Ago	sep	oct	nov	dic
°C Temp Máx	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28
2*Temp	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56
ciudadela	52,511	51,696	101,016	80,226	82,951	95,787	62,039	92,521	61,892	133,62	113,924	51,038
	mes seco	mes seco	mes lluvioso	mes seco								
norte	48,741	65,442	95,571	74,637	93,296	62,607	60,378	85,579	74,197	122,82	110,39	65,112
	mes seco											
centro-cabecera	76,45148084	86,71194495	137,4892099	110,3972316	117,139794	100,1906407	94,33451805	116,770841	111,816368	195,9698193	125,085746	74,7246836
	mes lluvioso											

En la medida que se utilice la radiación solar como fuente de energía será menor la contaminación y el clima proyectado podría mantenerse fresco con el rango de precipitaciones promedio máximas.

En el análisis de las variables de precipitación, radiación solar y temperatura en el sector Ciudadela que se observa en la gráfica 39, la radiación solar no evidencia relación con temperatura y precipitación esta es calculada por una posición espacial.

Gráfica 39. Climograma del sector ciudadela



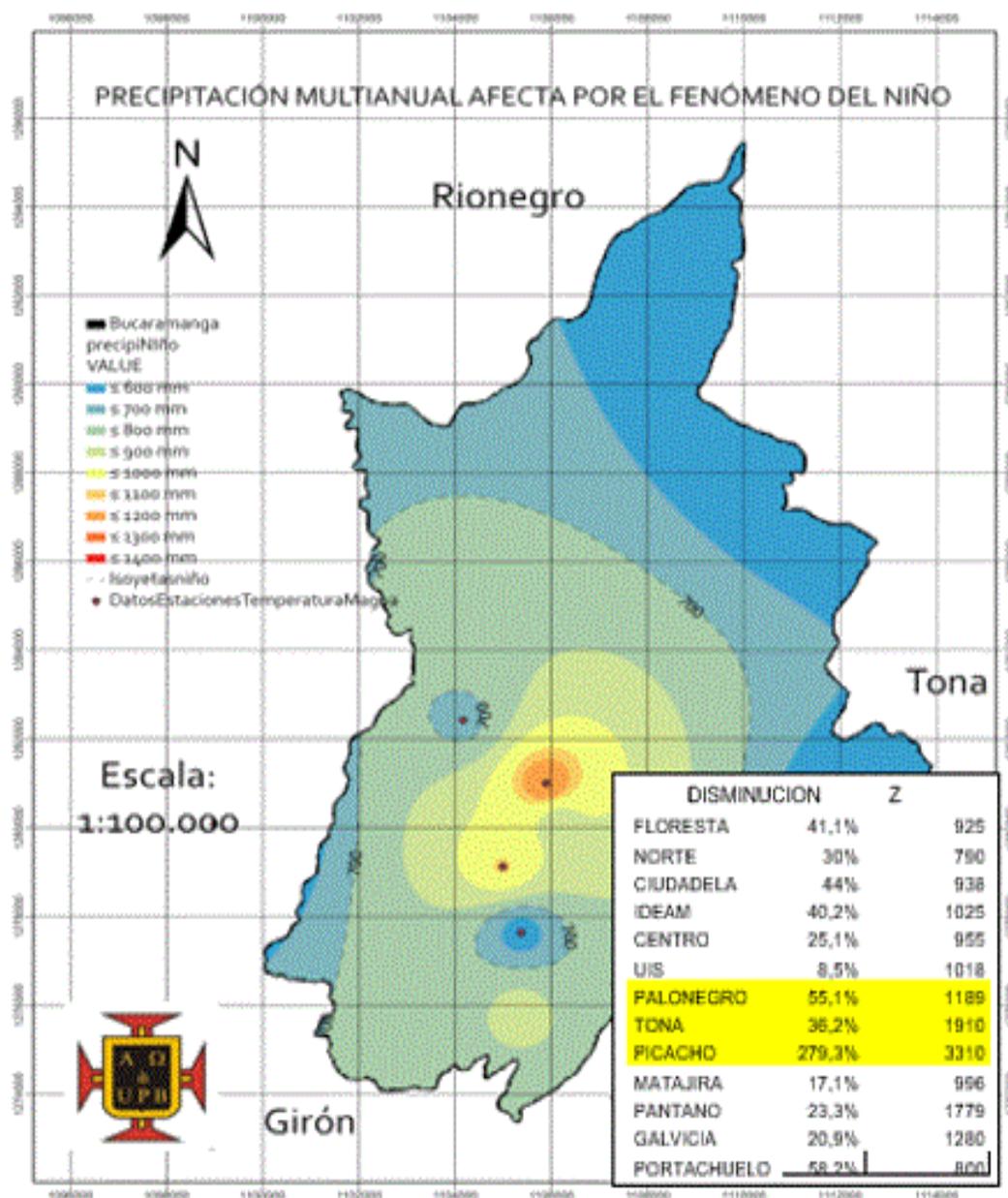
Notas: La temperatura máxima se registró en abril de 2016 de 32,9°C y en ese mismo mes y año la mínima de 18°C, La mayor precipitación se ha registrado en Junio de 2019, octubre de 2014 y noviembre de 2015. En diciembre 2018 se ha encontrado valores de 5,5 HSP en la Ciudadela. El año 2015 ha sido el de meno lluviosidad.

12.5 Relaciones del clima, oferta y demanda de recursos.

El fenómeno del niño influye en mayor proporción en la precipitación de Bucaramanga que la niña, como se observa en los mapas 40 y 41 pero su partición es muy discreta al potencial hídrico en ambos casos.

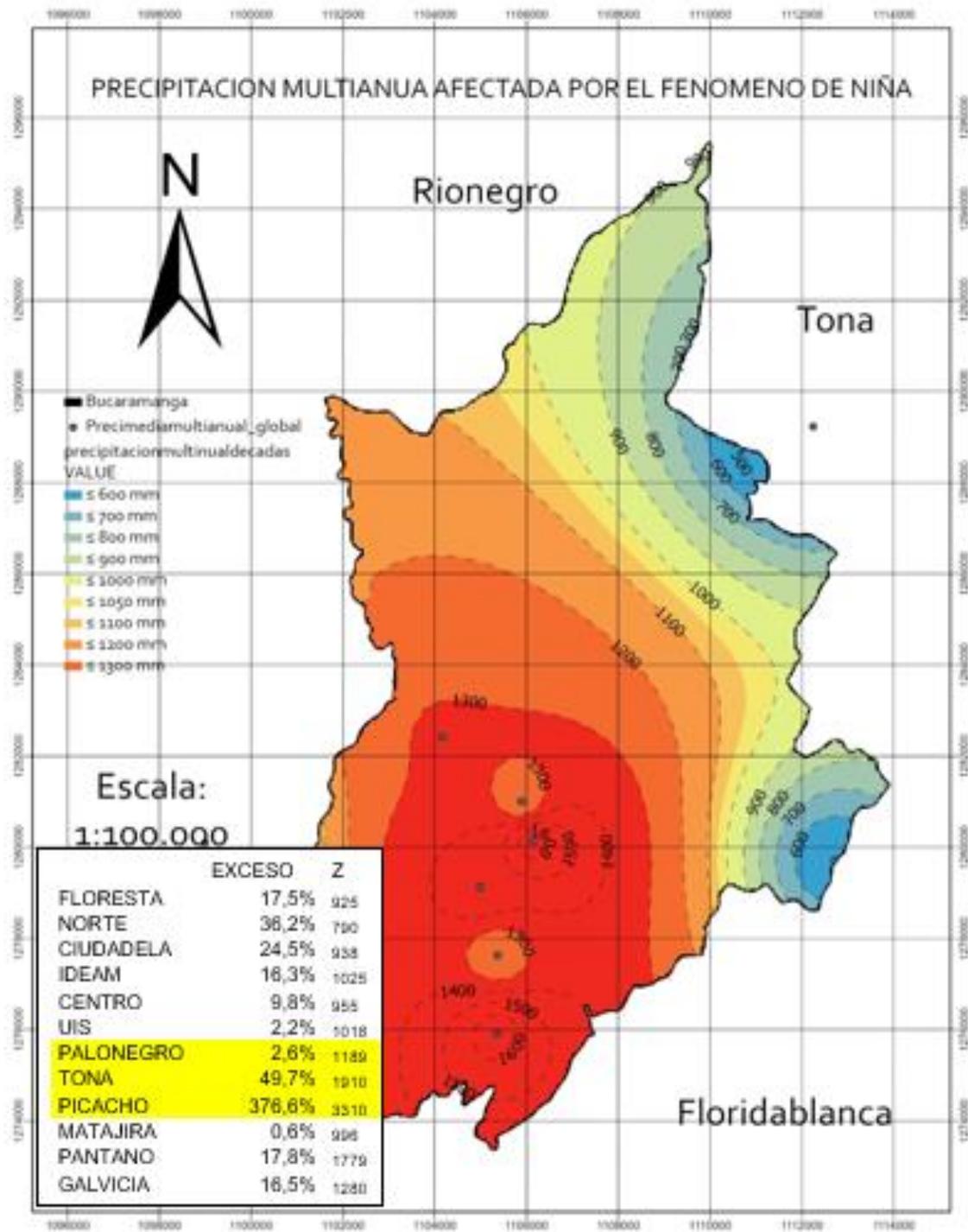
Mapa 40

Precipitación multianual afectada por Niño



Fuente: propia

Mapa 41
Precipitación multianual afectada por la Niña



Fuente: propia

12.6 Análisis de la viabilidad de aprovechamiento energética e hídrica por nodos mediante el uso de la herramienta computacional.

Gráfica 40. Esquema de análisis de viabilidad energética e hídrica

INSTITUCIÓN	Norte	Este	Nodo
Nuestra Señora del Pilar	1277730,58	1105358,35	Ciudadela

OFERTA ENERGETICA	kwh/m ²	HSP	Egenerada kwh (mes)/panel	CONSUMO X Módulo
Enero	4,11	4,1	8,5239	377,0666667
Febrero	4,44	4	8,316	609,4666667
Marzo	4,3	4	8,316	1070,666667
Abril	4,43	4	8,316	1005,333333
Mayo	4,38	4	8,316	1026
Junio	2,35	2	4,158	610,6666667
Julio	4,65	5	10,395	374,6666667
Agosto	4,63	5	10,395	573,3333333
Septiembre	4,7	5	10,395	776
Octubre	4,02	4	8,316	737,3333333
Noviembre	3,999	4	8,316	718,6666667
Diciembre	5,13	5	10,395	630,6666667
Egenerpromedio:			8,679625	

Panel de referencia 330 W -(1,956*0,992) eficiencia	1,940352	m ²	21%
Conexión directa a la red eléctrica			
Numero de edificaciones-módulos:	20		
		Número de paneles:	123
		Area de Cubierta requerida:	238,66 m ²

INVERSION	unidad	cantidad	precio unitario	valor
Descripcion KIT Panel 330 W	un	123	579,320	\$ 71.256.360

AHORRO	Valor kwh a Enero 2020
\$	537

FACTURACION	Enero	Feb	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Valor mensual	\$ 202.485	\$ 327.284	\$ 574.948	\$ 539.864	\$ 552.036	\$ 327.928	\$ 201.196	\$ 307.880	\$ 416.712	\$ 395.948	\$ 385.924	\$ 338.668

ANALISIS FINANCIERO	AÑOS															
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
inversion y gastos mantenimiento	71.256.360										1425.127					
Ingresos		\$ 4.570.872	\$ 4.789.416	\$ 5.009.381	\$ 5.291.056	\$ 5.555.924	\$ 5.803.720	\$ 6.125.406	\$ 6.431.676	\$ 6.753.260	\$ 7.090.923	\$ 7.445.469	\$ 7.817.743	\$ 8.208.630	\$ 8.619.062	\$ 9.050.015
FLUJO NETO EFECTIVO	- 71.256.360	\$ 4.570.872	\$ 4.789.416	\$ 5.009.381	\$ 5.291.056	\$ 4.100.191	\$ 5.803.720	\$ 6.125.406	\$ 6.431.676	\$ 6.753.260	\$ 7.090.923	\$ 7.445.469	\$ 7.817.743	\$ 8.208.630	\$ 8.619.062	\$ 9.050.015
COSTO DE CAPITAL	3%															
Ajuste inflacionario: 8% Anual																

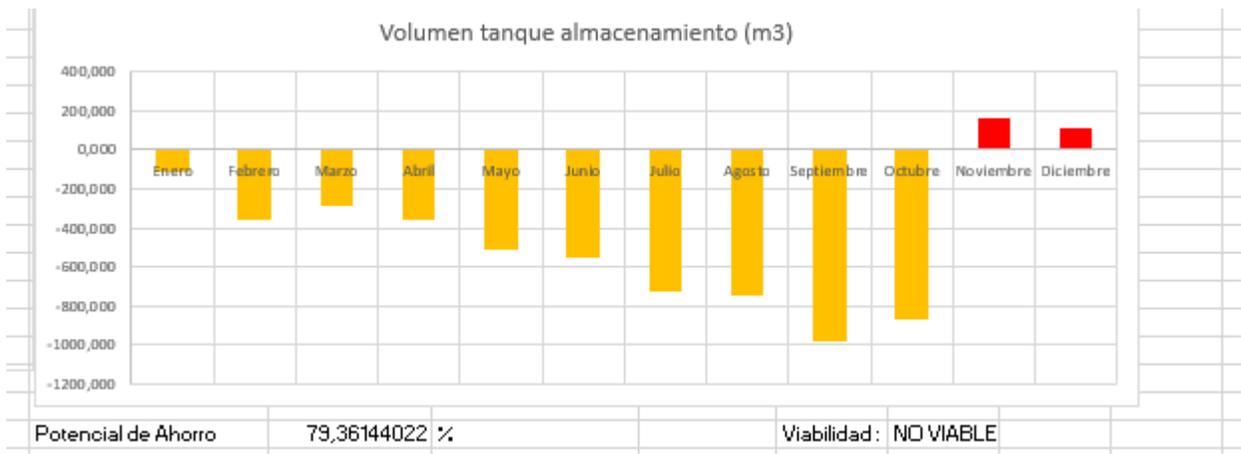
VPN= \$ 3.935.846 VIABLE
TIR= 3,7% VIABLE

Localización	y	x	NODO	Area	Usuarios	dotación
Nuestra Señora del Pilar	1277730,58	1105358,35	Ciudadela	12752	2214	31,02

OFERTA HIDRICA	mm	Vol almacenamiento	Potencial Ahorro Promedio
Enero	140,4	-116,773	43,5722813
Febrero	18,4	-354,087	30,8967085
Marzo	44	-288,702118	115,862657
Abril	26	-353,917398	84,1737252
Mayo	117	-508,906758	62,3875845
Junio	85	-553,719	89,1251208
Julio	63	-720,950118	59,4167472
Agosto	90	-745,358998	94,0765164
Septiembre	60	-977,880518	43,5722813
Octubre	35	-863,547638	127,746006
Noviembre	44	160,852176	139,035188
Diciembre	129	115,748962	62,4724656

MAYOR CONSUMO	140,4	meses oferta=meses demanda
OFERTA PARA ALIMENTAR SANITARIOS Y RIEGO DE JARDIN	25%	
Volumen tanque almacenamiento (m3)	161,00	acondicionamiento por edificio

Gráfica 41. Interfaz de volumen tanque de almacenamiento (m³)



Fuente: propia

Se elaboró un balance entre los consumos actuales y el potencial alternativo disponible en los diferentes nodos educativos de Bucaramanga, donde se muestran zonas de mayor y menor impacto de uso de las alternativas estudiadas.

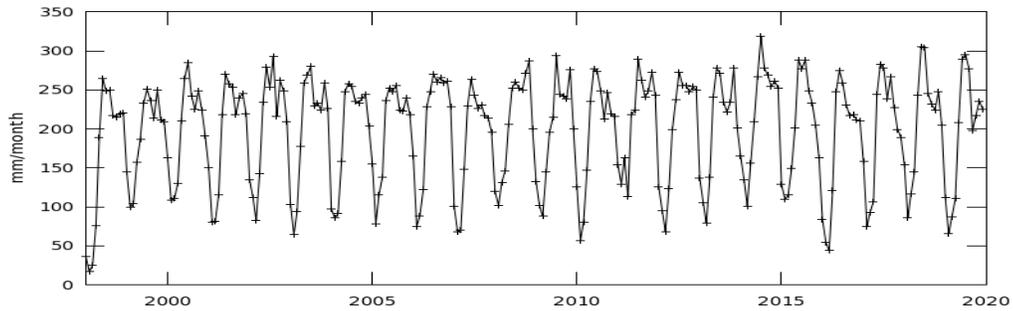
Sitio web: <https://yazminnev2020.github.io/educacion/>

12.7 Potencial hídrico con datos satelitales TRMM

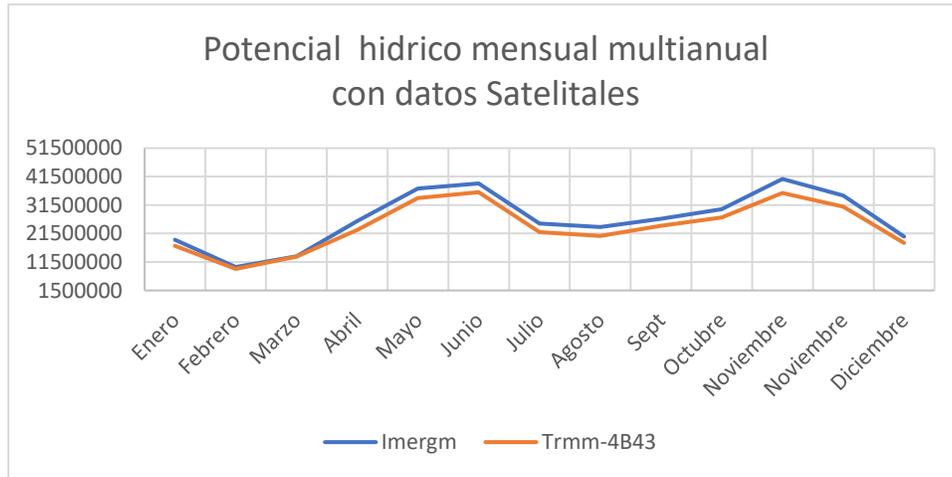
Se usaron los datos del servidor Giovanni de la NASA, datos satelitales Merged y Trmm 3B43 para la zona de estudio en la cual se descargaron la serie de tiempo promedio del 2000 al 2019. Los datos no fueron tomados para llenado de series de campo, sino para ver las tendencias dado que como lo indica la investigadora Lia Ramos en su documento que estudia error en la lluvia estimada de satélite y su utilidad. [53]. Hay error en los registros satelitales. Se descargaron datos del servidor Giovanni en el área correspondiente a Bucaramanga, donde se proyectó la gráfica 42 que refleja la serie de tiempo de precipitación y en la gráfica 43 el potencial hídrico regional que cubriría los 7 sectores referenciados.

Gráfica 42. Series de tiempo, TRMM 3b43

Time Series, Area-Averaged of Precipitation Rate monthly 0.25 deg. [TRMM TRMM_3B43 v7] mm/month over 1998-Jan - 2019-Dec, Region 73.1192W, 7.1185N, 73.1203W, 7.1191N



Gráfica 43. Potencial hídrico mensual con datos satelitales



Fuente: elaborada en el estudio

Se encontró un mayor valor de potencial hídrico mediante el uso de imágenes satelitales que los datos procesados de las estaciones, conservando las proporciones o tendencias de la serie de precipitación.

12.8 Balance hídrico y energético de nodos.

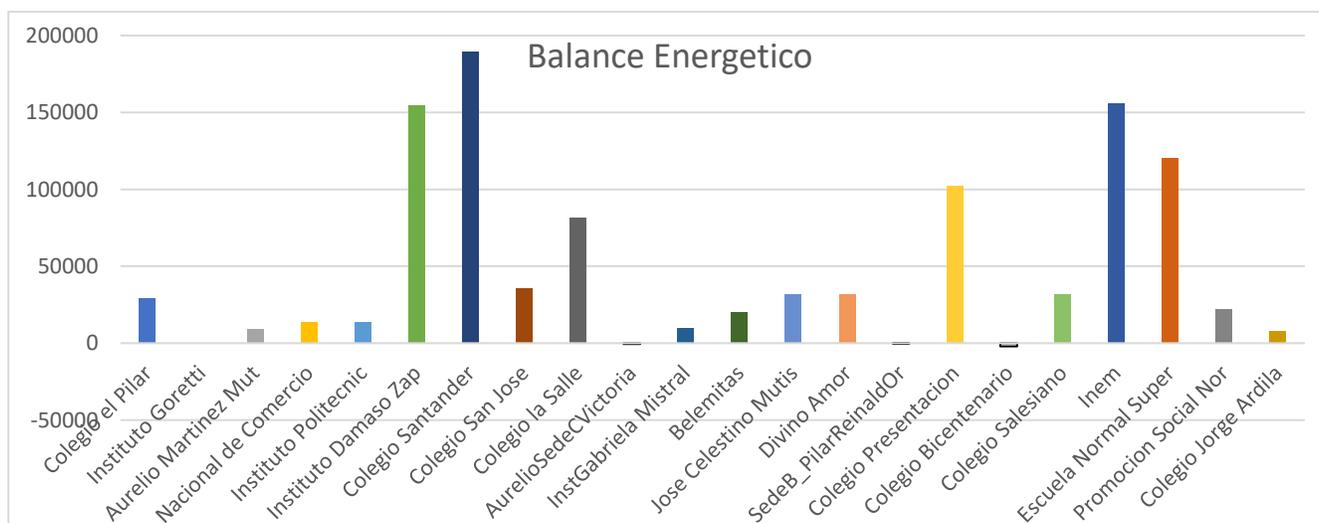
Se hizo un análisis basado en las áreas de cada institución con eficiencia del 100% y los resultados se muestran en la tabla 35, mientras que en la tabla 36 se hizo cálculo de potenciales máximos. En cuanto a los resultados de Balance energético la gráfica 44 nos muestra el resultado de los colegios con mayor beneficio energético.

Tabla 35. Balance hídrico y energético promedio

id	Nombre	Area (m ²)	Consumo energético promedio (kWh)	Consumo hídrica promedio(m ³)	precipitacion_oferta Sector	radiacion (kWh/m ²)	oferta Energética	oferta Hídrica	Balance Hidrico	Balance Energetico
1	Colegio el Pilar	12752	17611	382,44	115,44	3,65	46544,8	1472,0909	1089,6509	28933,8
2	Instituto Goretti	3655	13037	190,71	115,44	3,65	13340,75	421,9332	231,2232	303,75
3	Aurelio Martinez Mut	5393	10225	477,77	115,44	3,65	19684,45	622,56792	144,79792	9459,45
4	Nacional de Comercio	7465	13470	170,57	115,44	3,65	27247,25	861,7596	691,1896	13777,25
5	Instituto Politecnico	6039	8269	224,02	115,44	3,65	22042,35	697,14216	473,12216	13773,35
6	Instituto Damaso Zap	44241	20.591	488,81	89,50	3,959	175150,119	3959,5695	3470,7595	154559,119
7	Colegio Santander	49977	8.421	608,37	89,50	3,959	197858,943	4472,9415	3864,5755	189437,943
8	Universidad UIS	210186	434.238	7.075,72	89,50	3,959	832126,374	18811,647	11735,925	397888,374
9	Colegio San Jose	11072	5.379	211,33	112,52	3,72	41187,84	1245,8214	1034,4914	35808,84
10	Colegio la Salle	26494	14.946	557,61	112,52	3,65	96703,1	2981,1049	2423,4939	81757,1
11	AurelioSedeCVictoria	190	1268	238,82	112,52	3,65	693,5	21,3788	-217,4432	-574,5
12	InstGabriela Mistral	4589	7107	516,24	112,52	3,65	16749,85	516,35428	0,11428	9642,85
13	UTS	10919	32.828	1.463,089	115,44	3,640	39745,16	1260,4894	-202,59954	6917,16
14	Belemitas	5827	3.039	437,644	89,500	3,950	23016,65	521,5165	83,8725	19977,65
15	Jose Celestino Mutis	10799	7.795	231,24	115,44	3,65	39416,35	1246,6366	1015,3966	31621,35
16	Divino Amor	9834	4.318	346,37	115,44	3,65	35894,1	1135,237	788,86696	31576,1
17	SedeB_PilarReinaldOr	337	1.404	51,11	115,44	3,65	1230,05	38,90328	-12,20672	-173,95
18	Colegio Presentacion	26455	1.957	695,33	89,50	3,95	104497,25	2367,8283	1672,4983	102540,25
19	Colegio Bicentenario	273	3.155	131,355	89,500	3,950	1078,35	24,4335	-106,9215	-2076,65
20	Colegio Salesiano	10436	9.847	506	98,69	3,96	41326,56	1029,9288	524,22884	31479,56
21	Inem	45023	16810	407,766	107,2	3,84	172888,32	4826,4656	4418,6996	156078,32
22	Escuela Normal Super	32091	6976	764,13	112,52	3,96	127080,36	3610,8793	2846,7493	120104,36
23	Promocion Social Nor	5970	3487	145,966	94,81	4,31	25730,7	566,0157	420,0497	22243,7
24	Colegio Jorge Ardila	2988	4051	250,977	89,504	3,959	11829,492	267,43795	16,460952	7778,492

Fuente.: Elaboración del proyecto

Gráfica 44. Balance Energético



Fuente: elaborado en el estudio

Tabla 36 Balance hídrico y energético con potenciales máximos

id	Nombre	Area (m ²)	Consumo energético promedio (kWh)	Consumo hídrico promedio(m ³)	precipitacion_oferta Sector	radiacion (kWh/m ²)	oferta Energética	oferta Hídrica	Balance Hídrico	Balance Energetico
1	Colegio el Pilar	12752	17611	382,44	119,54	3,67	46799,84	1524,37	1141,93	29188,84
2	Instituto Goretti	3655	13037	190,71	119,54	3,67	13413,85	436,919	246,209	376,85
3	Aurelio Martinez Mut	5393	10225	477,77	119,54	3,67	19792,31	644,679	166,909	9567,31
4	Nacional de Comercio	7465	13470	170,57	119,54	3,67	27396,55	892,366	721,796	13926,55
5	Instituto Politecnico	6039	8269	224,02	119,54	3,67	22163,13	721,902	497,882	13894,13
6	Instituto Damaso Zap	44241	20.591	488,81	108,89	4,320	191121,1	4817,4	4328,59	170530,12
7	Colegio Santander	49977	8.421	608,37	108,89	4,320	215900,6	5442	4833,63	207479,64
8	Universidad UIS	210186	434.238	7.075,72	108,89	4,320	908003,5	22887,2	15811,4	473765,52
9	Colegio San Jose	11072	5.379	211,33	112,52	3,72	41187,84	1245,82	1034,49	35808,84
10	Colegio la Salle	26494	14.946	557,61	112,52	3,72	98557,68	2981,1	2423,49	83611,68
11	AurelioSedeCVictoria	190	1268	238,82	112,52	3,72	706,8	21,3788	-217,443	-561,2
12	InstGabriela Mistral	4589	7107	516,24	112,52	3,72	17071,08	516,354	0,11428	9964,08
13	UTS	10919	32.828	1.463,089	115,44	3,670	40072,73	1260,49	-202,6	7244,73
14	Belemitas	5827	3.039	437,644	108,890	4,320	25172,64	634,502	196,858	22133,64
15	Jose Celestino Mutis	10799	7.795	231,24	119,54	3,67	39632,33	1290,91	1059,67	31837,33
16	Divino Amor	9834	4.318	346,37	119,54	3,67	36090,78	1175,56	829,186	31772,78
17	SedeB_PilarReinaldOr	337	1.404	51,11	119,54	3,67	1236,79	40,285	-10,825	-167,21
18	Colegio Presentacion	26455	1.957	695,33	89,50	3,95	104497,3	2367,83	1672,5	102540,25
19	Colegio Bicentenario	273	3.155	131,355	89,500	3,950	1078,35	24,4335	-106,922	-2076,65
20	Colegio Salesiano	10436	9.847	506	118,57	3,96	41326,56	1237,43	731,728	31479,56
21	Inem	45023	16810	407,766	116,87	3,84	172888,3	5261,84	4854,07	156078,32
22	Escuela Normal Super	32091	6976	764,13	115,92	3,96	127080,4	3719,99	2955,86	120104,36
23	Promocion Social Nor	5970	3487	145,966	103,26	4,42	26387,4	616,462	470,496	22900,4
24	Colegio Jorge Ardila	2988	4051	250,977	108,89	4,32	12908,16	325,363	74,3863	8857,16

13. ANALISIS DE RESULTADOS

Mediante la aplicación de la metodología del método científico, evaluamos nuestras hipótesis obteniendo los siguientes discernimientos:

Ho: El potencial energético de Bucaramanga es suficiente como se observa en la tabla 38 para suplir la demanda de las instituciones educativas con un costo menor que el facturado por el sistema **eléctrico convencional**, con un condicional, puesto que la eficiencia del panel solar es un indicador que puede dar o no viable económica a la inversión y ejecución de un proyecto de paneles fotovoltaicos.

Tabla 37. Balance Energético de sectores con eficiencias 15%.

	Nodo	Demanda energética	Oferta energética	Balance
1	Norte-Promoción social del norte	3.487	4119,3	+632,3
2	Nororiental-Tecnológico	20.591	26710,50375	+6119,50375
3	Suroccidente-Salesiano	9.847	6574,68	-3272,32
4	Suroriental: Inem	16.810	30390,525	+13580,525

5	Centro-Sur: Gabriela Mistral	7.107	2615,73	-4491,27
6	Ciudadela-Pilar	17.611	6120,96	-11490,04

Ho: El potencial hídrico de Bucaramanga es suficiente como se observa en la tabla 39 para almacenar aguas lluvias y descargar los sanitarios y lavado de zonas comunes con un costo menor que el costo de agua potable y está condicionado a un menor porcentaje de aprovechamiento, en la medida de que las instituciones son grandes y hay muchos edificios es mayor la viabilidad calculada por módulos.

Tabla 38. Potencial hídrico de sectores con aplicación de la metodología OMS

	Nodo	Demanda hídrica	Oferta hídrica ²	Balance-Ahorro
1	Norte: Promoción social del norte	145.96	44,377	- (30,40%) ok
2	Nororiental: Tecnológico	488.81	108,54	- (64,56%) ok
3	Suroccidente: Salesiano	505.7	132,5	-(26,20%) ok
4	SurOriental: Inem	407.76	208,6	- (51,16%) ok
5	Centro-Sur: Gabriela Mistral	516.24	375,57	-(72,75%) ok

SEGUIMIENTO A LA EJECUCIÓN DE LOS OBJETIVOS

Tabla 39 Seguimiento al Proyecto

OBJETIVOS ESPECIFICOS	SOPORTE	EVALUACION
Estudiar los consumos multianuales de energía y agua en instituciones educativas de sectores estratégicos de Bucaramanga, mediante el registro reportado en facturas mensuales, para determinar la variación temporal de su demanda energética e hídrica.	Se recoleto facturas de servicios de agua del acueducto de Bucaramanga y de energía de la ESSA. La alcaldía de Bucaramanga suministro el listado de todas las instituciones a su cargo. Se tienen datos tabulados	Ejecutado
Analizar la distribución y disponibilidad de la densidad de la radiación solar anual para la meseta de Bucaramanga, utilizando los reportes de estaciones meteorológicas suministrados por diferentes entidades, para determinar la oferta alternativa aprovechable de energía en las zonas de estudio.	MAPAS DE RADIACION SOLAR	Ejecutado
Inferir la cantidad disponible de aguas lluvias para los sectores de estudio, usando métodos de Interpolación espacial, para generar mapas de isolíneas que caractericen su distribución a lo largo de los meses y los años.	MAPAS DE PRECIPITACION	Ejecutado
Elaborar el balance entre los consumos actuales y el potencial alternativo disponible, mediante la conformación de una aplicación computacional que incluya nodos educativos de Bucaramanga, donde se muestre zonas de mayor y menor impacto de uso de las alternativas estudiadas	Herramientas computacionales SIG	Ejecutado

Fuente: Propia

14.CONCLUSIONES

Como resultado del análisis de facturación multianual mensual de las instituciones educativas se puede establecer que la dotación es heterogénea pero dentro de un rango de 14 a 32 litros /estudiante. Se encontró que la dotación promedio de agua en las instituciones de muestreo es de 26,57 litros estudiante-día por encima del valor de diseño estipulado en 25 litros/estudiante-día en el RAS, con un valor de 19,43 el sector Nororiental, 32,67 litros estudiante-día en el sector Centro Sur y 27,62 litros estudiante-día en el sector Ciudadela.

En cuanto a la dotación eléctrica promedio se encontró un valor promedio de 9,47 kwh/estudiante/mes, en la cual la institución de educación superior UIS presenta el valor más elevado de consumo con 35,71 kWh/estudiante/mes por encima del valor reportado en el estudio de *“Caracterización del consumo de energía final en los sectores terciario, grandes establecimientos comerciales, centros comerciales y determinación de consumos para sus respectivos equipos de uso de energía final”* con un valor de 26,75 kwh/persona/mes para la Universidad de la Sabana. En cuanto al consumo eléctrico de los colegios se reporta un valor promedio de 7,46 KWh/estudiante-mes por encima del valor de las instituciones de Medellín Álvaro Marín de 4,20 kwh/estudiante/mes y Normal Superior de 4,51 Kwh/mes. Se concluye un mayor rango de valores de consumos para la dotación eléctrica y que no es correcto un valor generalizado del consumo eléctrico por estudiante.

De la lluvia inferida se estableció que hay una tendencia a denominarse mes seco y lluvioso basado en los mapas de lluvia promedio mensual de múltiples estaciones elaborados en este proyecto y el reporte por décadas de la estación más antigua de Bucaramanga que cuenta con registros desde 1957-2003.

Para el municipio de Bucaramanga el aprovechamiento de las aguas lluvias, lograría disminuir los consumos de agua potable en algunas sedes educativas según ubicación espacial, con atención especial de los centros de alta demanda del recurso hídrico, permitiendo disminuir los costos de funcionamiento y se daría un uso eficiente al recurso al aprovisionar el agua lluvia en la descarga de sanitarios, riego de jardines y lavados de zonas comunes y patios donde no es necesario el uso de agua potable y cuyos tiempos de mantenimiento del sistema hidráulico estarían previstos para sus infraestructuras por parte de los entes que las tiene a su cargo, lo

cual nos permite ver la viabilidad del uso de recursos de agua y energía alternativos a las formas convencionales.

EL aprovechamiento de la radiación solar en sedes educativas lograría disminuir los consumos de energía eléctrica en algunas sedes educativas, permitiendo disminuir los costos de funcionamiento y se daría un uso eficiente al recurso energético para uso de luminarias y computadores en las aulas, dejando el uso de energía eléctrica convencional para actividades que requieran mayor potencia.

Mediante el presente estudio se da un soporte técnico a la alcaldía de Bucaramanga para que pueda implementar el decreto 1285 de 2015 del Ministerio de Vivienda, ciudad y territorio en la cual se solicita sistemas de ahorro en agua y energía de las edificaciones como medidas tendientes a lograr construcciones sostenibles en la ciudad. [3]

El método científico con el análisis geoespacial resultada apropiado para hacer análisis de recursos naturales hidrometeorológicos de forma cuantitativa y cualitativa en la cual se hacen simulaciones por computador para estudiar el fenómeno físico ,permite evaluar modelos, determinar variables y plantear escenarios futuros viables que permitan determinar la sostenibilidad de una ciudad que para este caso es Bucaramanga en el cual hay entidades educativas donde debe garantizarse la sustentabilidad de los recursos energéticos e hídricos.

Se generan beneficios por el consumo de energía solar y agua lluvia, en la cual disminuye la huella azul y aumenta la huella verde, así como la huella de carbono disminuye al utilizar radiación solar menos contaminante al ambiente y con un gasto menor de agua como lo pudiera ser la energía de las hidroeléctricas. Con la información desarrollada en los mapas de radiación solar y precipitación es posible elaborar el cálculo de la huella hídrica y de carbono de las instituciones para hacer un monitoreo de los impactos ambientales positivos que generar las fuentes alternativas de agua y energía. Como resultado del proyecto es posible supervisar el consumo de recursos energéticos e hídricos lo cual permitiría calcular la huella hídrica y de carbono de cada uno de las instituciones educativas lo cual servirá como indicador de impacto al medio ambiente.

15.RECOMENDACIONES

Se recomienda desarrollar una extensión de este proyecto con otras fuentes de energía alternativa como la eólica, con énfasis en la zona veredal con presencia de múltiples orografías.

Se recomienda el uso de los mapas de radiación solar y temperatura generados en este proyecto para determinar la posible incidencia en el cambio climático y determinar la proyección del clima en todo el territorio de Bucaramanga con énfasis en la zona veredal.

Se recomienda a la alcaldía de Bucaramanga que las construcciones proyectadas de infraestructura educativas de Bucaramanga tomen en consideración las fuentes alternativas de la radiación solar y aguas lluvias en la etapa de operación y funcionamiento y que las sedes educativas actuales tengan proyectos futuros de mejoramiento con implementación de fuentes alternativas de radiación solar basado en su posición geoespacial y su área predial.

El aprovechamiento de las aguas lluvias de múltiples edificios puede genera una menor cantidad de esorrentía, en superficies duras y carreteras que son muy impermeables y que tienen muchos residuos de alimentos, metales, hidrocarburos, fertilizantes, nitratos y sales que pueden contaminar las fuentes de agua de Bucaramanga tales como la quebrada el Loro, Iglesia y Guacamayo, por lo tanto, se recomienda estudiar la contaminación de las fuentes hídricas de Bucaramanga.

16.BIBLIOGRAFIA

- [1] M. G, C. H, E. R, W.Endlicher, E. E, G.McGranahan, E.Ng, N. A, R. J y S. K, «Climate information for improved planning and management of mega cities(Needs Perspective),» *Procedia Environmental Sciencies* , vol. 1, n° 1, pp. 228-246, 2010.
- [2] amb, «Informe de Gestión,» amb, Bucaramanga, 2016.
- [3] MINISTERIO DE AMBIENTE VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL, «GUIA PARA EL AHORRO DE AGUA Y ENERGIA EN EDIFICACIONES-DECRETO1285 DE 2015,» Diario oficial de Colombia, Bogota, 2015.
- [4] Secretaria de Educación Alcaldia de Bucaramanga, «Informe de Gestion Secretaria de Educacion Primer Trimestre,» Alcaldia de Bucaramanga, Bucaramanga, 2019.

- [5] Municipio de Bucaramanga, «PLAN DE ORDENAMIENTO TERRITORIAL 2013-2027,» Municipio de Bucaramanga, Bucaramanga, 2014.
- [6] G. G. M. A. O. M. R. O. Ballen Suarez Jose Alejandro, «SISTEMA DE APROVECHAMIENTO DE AGUA LLUVIA PARA VIVIENDA URBANA,» Seminario Iberoamericano sobre sistemas de abastecimiento urbano de agua Joao Pessoa , Brasil, 2006.
- [7] Lara Borrero Jaime Andrés, Torres Abello Andres Eduardo, Campos Pinilla Maria Claudia, Castro Leonardo Duarte, Echeverri Robayo Jairo Ivan, Villegas Gonzalez Paula Andrea, «APROVECHAMIENTO DEL AGUA LLUVIA PARA RIEGO Y LAVADO DE ZONAS DURAS Y FACHADAS EN EL CAMPUS DE LA PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA,» Universidad Pontificia Javeriana, Bogota, 2007.
- [8] P. G. A. Augusto, METODOLOGIA PARA LA EVALUACION Y SELECCION DE ALTERNATIVAS DE APROVECHAMIENTO AHORRO Y USO EFICIENTE DEL AGUA EN EL SECTOR INSTITUCIONAL, Medellin: Universidad Nacional de Colombia, 2013.
- [9] Corporación autonoma regional del valle del Cauca CVC, DAGMA, CIAT, alcaldía de Santiago de Cali, «ESTUDIO PARA LA MICROZONIFICACIÓN CLIMATICA PARA EL MUNICIPIO DE SANTIAGO DE CALI,» Corporación autonoma regional del Valle del Cauca, Cali, 2015.
- [10] J. V. B. R. O. S. F. Orlando Guzman Martinez, «COEFICIENTES PARA ESTIMAR LA RADIACIÓN SOLAR GLOBAL A PARTIR DEL BRILLO SOLAR EN LA ZONA CAFETERA COLOMBIANA,» *CENICAFE*, pp. 60-76, 2013.
- [11] M. V. C. G. V. O. Cristian Saavedra Castañeda, «EVALUACION DEL MODELO DE BIRD Y HULSTROM PARA LA ESTIMACIÓN DEL RECURSO SOLAR DISPONIBLE EN LA CIUDAD DE BARRANQUILLA Y SU AREA METROPOLITANA,» *Prospectiva*, vol. Vol17, nº 1, pp. 96-103, 2019.
- [12] E. V. O. L. A. V. Marley Vanegas Chamorro, «Cuantificación y caracterización de la radiación solar en el departamento de la Guajira Colombia mediante el cálculo de transmisibilidad atmosférica,» *Prospect*, vol. 13, nº 2, pp. 54-63, 2015.
- [13] IDEAM, «ATLAS DE RADIACION SOLAR ULTRAVIOLETA Y OZONO DE COLOMBIA,» IDEAM, 2014. [En línea]. Available: <http://atlas.ideam.gov.co/visorAtlasRadiacion.html>. [Último acceso: 05 04 2020].
- [14] U. D. P. M. ENERGETICA-UPME, «PLAN DE ACCION INDICATIVO DE EFICIENCIA ENERGETICA,» UPME_MINMINAS, Bogota, 2016.
- [15] P. Vergara, J. Rey, G. Osma y G. Ordoñez, «Evaluacion del potencial solar y eóico del campus central de la Universidad Industrial de Santander y la ciudad de Bucaramanga, Colombia,» *UIS*, vol. 13, nº 2, pp. 49-57, 2014.
- [16] IDEAM, «Estudios nacionales del agua en Colombia,» Ministerio de ambiente, BOGOTA, 2018.

- [17] O. Puertas, Y. Carvajal y M. Quintero, «Estudio de tendencias de la precipitación mensual en la cuenca alta-media del río Cauca,» *Dyna*, vol. 78, n° 169, pp. 112-120, 2011.
- [18] R. Pizarro, P. Ausensi, D. Aravena, C. Sanguesa, L. León y F. Balochi, «Evaluación de métodos hidrológicos para la completación de datos faltantes de precipitación en estaciones de la región del Maule, Chile,» *Agua-LAC*, vol. 1, n° 2, pp. 172-185, 2009.
- [19] A. M. F. Javier, FUNDAMENTOS DE HIDROLOGIA DE SUPERFICIE, Mexico D.F: LIMUSA S.A, 1992.
- [20] L. C. W. Luna Romero Eduardo, «EVALUACION DE METODOS HIDROLOGICOS PARA LA COMPLETACION DE DATOS FALTANTES DE PRECIPITACION EN ESTACIONES DE LA CUENCA JETEPEQUE PERU,» *REVISTA TECNOLOGICA ESPOL*, vol. 28, n° 3, pp. 42-52, 2015.
- [21] D. Carrera, P. Guevara, L. Tamayo y B. Ana, «Relleno de series anuales de datos meteorológicos mediante métodos estadísticos en la zona costera e interandina del Ecuador, y cálculo de la precipitación media,» *Idesia version On-line ISS 0718-3429*, vol. 34, n° 3, pp. 88-79, 2016.
- [22] SYSCOL CONSULTORES S.A.S, «ANALISIS HIDROCLIMATOLOGICO MUNICIPIO DE GUASCA JURISDICCION DE CORPOGUAVIO,» Corpoguavio, Guasca, 2017.
- [23] C. Y. Castro Lina, «ANALISIS DE TENDENCIAS Y HOMOGENIDAD DE SERIES CLIMATOLOGICAS.,» *Eidenar*, Vols. %1 de %2Enero-Diciembre, n° 9, pp. 15-25, 2010.
- [24] P. Le Goulven, «Homogeneización de los datos Pluviométricos,» Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología, Quito, 1988.
- [25] U. N. d. Colombia, ANALISIS DE LA CALIDAD, VALIDEZ Y CONSISTENCIA DE LA INFORMACION HIDROMETRICA UTILIZADA EN LOS ESTUDIOS DE CARACTERIZACION DEL RIO MAGDALENA EN EL SECTOR NEIVA- EL BANCO, Bogota: Facultad ingeniería civil y agrícola, 2000.
- [26] S. A. C. E. O. N. Vargas Andres, «ANALISIS DE LA DISTRIBUCION E INTERPOLACION ESPACIAL DE LAS LLUVIAS EN BOGOTA, COLOMBIA,» *DYNA*, vol. 78, n° 167, pp. 151-159, 2011.
- [27] P. L. G. Reinoso, «IMPUTACION DE DATOS EN SERIES DE PRECIPITACION DIARIA CASO DE ESTUDIO CUENCA DEL RIO QUINDIO,» *INGENIARE*, vol. 10, n° 18, pp. 73-86, 2015.
- [28] H. C. S. Villatoro Mario, «COMPARACION DE LOS INTERPOLADORES IDW Y KRIGING EN LA VARIACION ESPACIAL DE PH, CA, CICE, Y P DEL SUELO,» *Agronomía Costarricense*, vol. 1, n° 9424, pp. 95-105, 2008.
- [29] Z. P. D. Patricia, Evaluación de metodologías de interpolación de radiación solar en Colombia, Envigado: Universidad EIA, 2018.

- [30] O. M. Pereira Paulo, «Análisis comparativo de diferentes métodos de interpolación en Sierra Nevada , aplicación a la precipitación extrema de Otoño e Invierno,» *Publicaciones de la Asociación española de Climatología*, vol. Serie A, nº 7, pp. 237-248, 2010.
- [31] A. D. Zeka Sen, «SPATIAL INTERPOLATION AND ESTIMATION OF SOLAR IRRADIATION BY CUMULATIVE SEMIVARIOGRAMS,» *Solar Energy*, vol. 71, nº 1, pp. 11-21, 2001.
- [32] L.-V. M.Mendez, «Assessing the performance of several rainfall interpolation methods as evaluated by a conceptual hydrological model,» *ScienceDirect*, vol. HIC, nº 154, pp. 1050-1057, 2016.
- [33] ESRI, «HOW INVERSE DISTANCE WEIGHTED INTERPOLATION WORKS,» ESRI, 2017. [En línea]. Available: <https://pro.arcgis.com/en/pro-app/help/analysis/geostatistical-analyst/how-inverse-distance-weighted-interpolation-works.htm>. [Último acceso: 15 2020].
- [34] ESRI, «Cómo funciona Kriging,» ESRI, 2017. [En línea]. Available: <https://desktop.arcgis.com/es/arcmap/10.3/tools/3d-analyst-toolbox/how-kriging-works.htm>. [Último acceso: 01 05 2020].
- [35] G. M. M. A. G. O. R. H. A. J. Ulloa H, «EL CLIMA Y POTENCIAL SOLAR EN LA ZONA METROPOLITANA DE GUADALAJARA, JALISCO, MEXICO PERSPECTIVAS DE USO ENERGETICO,» *Investigaciones Geograficas*, Vols. %1 de %2ISSN:0213-4691, nº 56, pp. 165-175, 2011.
- [36] M. R. H. O. C. M. Marengo Moreira Fredy Antonio, MONITOREO DE IRRADIANCIA SOLAR EN LOS DIFERENTES CAMPUS DE LA UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR, San Salvador: Universidad de el Salvador, 2017.
- [37] Q. M. D. Marin Cano Elizabeth, Metodología para el desarrollo de proyectos de energía solar fotovoltaica y eficiencia energética en el sector rural del eje cafetero, Pereira: Universidad Tecnológica de Pereira, 2017.
- [38] F. L. J. A. Rodriguez Aya Angel Alejandro, «ANÁLISIS DEL POTENCIAL ENERGETICO SOLAR BASADO EN MEDICIONES EN SITU EN EL MUNICIPIO DE ACACIAS META,» *Engineering, Science and Technology conference*, vol. 6, nº 2018, pp. 690-700, 2017.
- [39] M. C. J. Almorox, «Estimation of monthly Angstrom-Prescott equation coefficients from measured daily data in Toledo, Spain,» *Renewable Energy*, vol. 30, nº I, pp. 931-936, 2005.
- [40] B. M. C. Almorox Javier, «Estimation of global solar radiation in Venezuela,» *INCI*, vol. 33, nº 4, 2008.
- [41] H. G. RODOLFO, ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD PARA LA INSTALACION DE UN SISTEMA DE ENERGIA LIMPIA MEDIANTE CELDAS FOTOVOLTAICAS PARA LA ALIMENTACION ELECTRICA DEL EDIFICIO 4 EN EL ITSLV, Villa Hermosa-Tabasco: CIATEQ, 2017.

- [42] O. C. A. Jose, «ANÁLISIS DEL POTENCIAL ENERGÉTICO SOLAR EN LA REGIÓN CARIBE PARA EL DISEÑO DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO,» *Inge -CUC*, vol. 6, n° 6, pp. 95-102, 2010.
- [43] L. O. M. ALEJANDRA, «METODOLOGÍA PARA LA EVALUACIÓN DEL POTENCIAL ENERGÉTICO SOLAR, EÓLICO Y DE AGUA LLUVIA PARA APROVECHAMIENTO EN ZONAS RURALES DE BOGOTÁ,» Universidad Jorge Tadeo Lozano, Bogotá, 2018.
- [44] G. G. J.R.Narvaez, «ESTUDIO DEL POTENCIAL DE RADIACIÓN SOLAR Y DE LA TEMPERATURA AMBIENTE EN LORICA CORDOBA,» *Revista Colombiana de Física*, vol. 40, n° 2, pp. 392-395, 2008.
- [45] Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del ambiente-CEPIS, «GUÍA DE DISEÑO PARA CAPTACIÓN DE AGUA LLUVIA,» CEPIS, Lima-Peru, 2004.
- [46] P. C. Natalia, PROPUESTA DE UN SISTEMA DE APROVECHAMIENTO DE AGUA LLUVIA COMO ALTERNATIVA PARA EL AHORRO DE AGUA POTABLE EN LA INSTITUCIÓN EDUCATIVA MARIA AUXILIADORA DE CALDAS, ANTIOQUIA, Medellín: Universidad de Antioquia, 2010.
- [47] G. E. J. ., M. P. T. Manco Silva Deibys, «ESTIMACIÓN DE LA DEMANDA DE AGUA EN CENTROS EDUCATIVOS CASO DE ESTUDIO FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES DE LA UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA COLOMBIA,» *Luna Azul*, vol. Junio, n° 44, pp. 153-164, Junio 2017.
- [48] L. B. D. M. M. Ghisi Eneider, «RAINWATER TANK CAPACITY AND POTENCIAL FOR POTABLE WATER SAVINGS BY USING RAINWATER IN THE RESIDENTIAL SECTOR OF SOUTHEASTERN BRAZIL,» *Building and Environment*, vol. I, n° 42, pp. 1654-1666, 2007.
- [49] D. N. d. Planeación, «DETERMINACIÓN DE LOS CONSUMOS BÁSICOS DE AGUA POTABLE EN COLOMBIA,» MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE, Bogotá, 1991.
- [50] Q. V. M. Gomez Jorge Hernando, Sistema de Información geográfica, Bucaramanga: División de Publicaciones UIS, 2005.
- [51] G. A. R. S. J.J, «GEOESTADÍSTICA,» *Revista Científica y Técnica de Ecología y medio ambiente*, vol. 3, n° 222, pp. 1-11, 2006.
- [52] Universidad Nacional de Colombia-Departamento de Física, «Caracterización del consumo de energía final en los sectores terciarios, grandes establecimientos comerciales, centros comerciales y determinación de consumos para sus respectivos equipos de uso de energía final,» UPME, Bogotá, 2007.
- [53] L. Ramos, Estudio de la utilidad de la lluvia estimada de satélite en la modelación hidrológica distribuida, Valencia: Universidad Politécnica de Valencia, 2013.

[54] P. Martínez, «Modelo dinámico adaptativo para la gestión del agua en el medio urbano,» *Tecnología y ciencias del agua*, vol. 7, nº 4, pp. 139-154, 2016.