

**ANÁLISIS EXPLORATORIO DE DATOS HIDROMETEOROLÓGICOS EN LA
ESTACIÓN UPB PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE METODOLOGÍAS DE LLENADO.**

PRESENTADO POR

CIELO MARÍA DELGADO MUÑOZ

ID: 000319311

D - L 7 L.
CC 13743591. OK

UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
BUCARAMANGA

2020

**ANÁLISIS EXPLORATORIO DE DATOS HIDROMETEOROLÓGICOS EN LA
ESTACIÓN UPB PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE METODOLOGÍAS DE LLENADO**

CIELO MARÍA DELGADO MUÑOZ

ID: 000319311

DIRECTOR ACADÉMICO

DIEGO ALEJANDRO GUZMÁN ARIAS PH.D

INGENIERO CIVIL

UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

BUCARAMANGA

DEDICATORIA

Dedicarle mi vida y mi trabajo a Dios, mi Padre incondicional que ha estado y estará conmigo en cada segundo, porque su bondad es infinita y su inmenso amor me permite sonreír y disfrutar de incontables bendiciones y dones, de mis logros que solo provienen de tu apoyo y misericordia. A Él, que no me deja desfallecer nunca y siempre me recuerda que debo esforzarme y ser valiente, que me permite aprender de mis errores para ser mejor persona y que hoy también me permite culminar el trabajo de mi amada carrera, por darme siempre lo mejor y guiarme siempre de su mano, rodearme de personas sinceras, darme salud y una hermosa familia, por eso y muchas cosas más se merece este pequeño homenaje.

Dedicarlo a mis mamás Irma Pimiento y Juthy A. Muñoz, porque son la muestra del amor de Dios en la tierra y me han acompañado en cada momento de mi vida, sin importar las dificultades siempre me dan fuerzas para seguir adelante y no rendirme, porque cada día me recuerdan mis sueños y están orgullosas de lo que soy y las metas que he alcanzado, pero que sin ellas no hubiera sido posible, por su paciencia y por ser el motor de mi vida. A mi hermana, Sol A. Delgado, por amarme y ser mi cómplice en cada momento, la mitad de mi vida y por la cual me esfuerzo para ser una mujer ejemplar, porque se merece lo mejor y lo más bonito, por los ánimos cuando más los necesitaba, los consejos, la paciencia y sobre todo por hacer parte de mi vida; ustedes se merecen este pequeño homenaje.

A mi dulce amor dedicarle una parte del trabajo del que fue testigo, mi colega y amado Luis A. Solano quien me acompañó durante mis estudios, por ser mi sostén y la base para los cimientos que hemos construido de la mano de Dios, por amarme sin límites, por los consejos, la paciencia, el cariño, la sabiduría y el apoyo, por estar de mi vida para llenarla de color y ser mi complemento, también este pequeño homenaje.

Desde el fondo de mi corazón, y aunque reconozca que se merezcan mucho más, es a ustedes a los que les dedico este logro, por ser atestiguanes de mi esfuerzo y dedicación, de mis caídas y victorias, pero sobre todo por nunca dejarme sola y siempre llenarme de ganas de vivir.

AGRADECIMIENTOS

Agradecerle primeramente a la universidad de mis sueños, la Universidad Pontificia Bolivariana siempre fue mi ideal y gracias a Dios pude cumplir mi sueño, porque en su campus siempre guardaré las risas, tristezas, amigos, docentes y todo el personal que hizo disfrutar cada día de mi estadía, que me brindó laboratorios y visitas técnicas que me enriquecieron profesionalmente y como persona. Gracias por la calidad humana de su comunidad, por las actividades y premios que disfruté al máximo junto a mis compañeros.

A mi director Diego A. Guzmán, porque sin el nada de esto hubiera sido posible, gracias por la dedicación, por el tiempo y la disposición de responder cualquier duda o solucionar cualquier inconveniente sin importar el día o la hora; gracias por cada consejo, por apoyarme y siempre motivarme a alcanzar este anhelado sueño. Agradecer es poco para la calidad de persona que pude conocer, porque, aunque no tuve la oportunidad de estar en sus aulas pude enriquecerme profesionalmente y explorar más a fondo nuestro recurso agua y sus aplicaciones. A su vez, a mis dos calificadores David Serrano y Carlos Forero.

Agradecer a mis amigos y futuros colegas, las mejores personas que pude conocer, María José Álvarez y Victor M. Otero, que me acompañaron en cada clase, me apoyaron y vivieron junto a mi cada segundo de mi proyecto y de mi ciclo universitario, porque sus consejos y apoyo fueron valiosos para que yo pueda hoy alcanzar mi título profesional, porque soy muy afortunada de tenerlos en mi vida, agradecerles su sinceridad, su cariño y su amistad incondicional, porque se han convertido en parte de mi familia y saben que de mi parte cuentan de manera incondicional y que nos quedan muchos más recuerdos por construir.

Finalmente, y con mucha relevancia, agradecer a la mejor facultad de la universidad, a todo su equipo docente que impartió sus conocimientos y dejó una huella muy grande en mi corazón, infinitos recuerdos y momentos que conservaré siempre; a nuestra secretaria Zulay y a Marthica porque sin ellas todo sería un caos, a nuestro director y a todo el personal de la universidad con el que pude compartir y disfrutar mis días ¡GRACIAS!.

TABLA DE CONTENIDO

| | |
|--|------|
| TABLA DE ECUACIONES..... | vii |
| LISTA DE FOTOGRAFÍAS | viii |
| LISTA DE ILUSTRACIONES..... | ix |
| LISTA DE TABLAS | x |
| 1. INTRODUCCION | 15 |
| 2. OBJETIVOS | 17 |
| 2.1 OBJETIVO GENERAL | 17 |
| 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS | 17 |
| 3. MARCO TEÓRICO | 18 |
| 4. METODOLOGÍA | 29 |
| 4.1 ESTACIONES CLIMATOLÓGICAS | 31 |
| 4.1.1 ESTACIÓN CLIMATOLÓGICA DAVIS VINTAGE PRO2 | 31 |
| 4.1.2 ESTACIONES SATELITALES..... | 32 |
| 4.2 CARACTERIZACIÓN DE DATOS | 33 |
| 4.2.1 ESTACIÓN UPB | 33 |
| 4.2.2 ESTACIONES SATELITALES..... | 40 |
| 4.2.3 ESTACIÓN IDEAM | 45 |
| 4.3 CORRECCIÓN DE SESGO..... | 56 |
| 4.3.1 Interpolación con la Distancia Inversa Ponderada..... | 60 |
| 4.4 . APLICACIÓN DE LAS METODOLOGÍAS DE LLENADO | 72 |
| 4.4.2 Método por razones de distancias..... | 76 |
| 4.4.3 Método por promedios vecinales..... | 80 |
| 4.4.4 Método por razones promedio..... | 81 |
| 4.4.5 Método por correlación con estaciones vecinas | 85 |
| 4.4.6 Método por regresiones múltiples | 88 |
| 4.4.7 Método del vector regional | 88 |
| 4.4.8 Razón Q | 88 |
| 4.5 VALIDACIÓN DE LAS METODOLOGÍAS DE LLENADO UTILIZADAS | 92 |
| 4.5.1 . Correlación Estadística y Coeficiente de Correlación de Pearson..... | 92 |
| 4.5.1 Error medio absoluto..... | 93 |
| 4.5.2 Error cuadrático medio: | 97 |
| 5. DETERMINACIÓN DE ANOMALÍAS, CORRELACIÓN Y PRUEBAS DE | |

| | |
|----------------------|-----|
| CONSISTENCIA | 98 |
| 6. TEMPERATURA | 110 |
| 7. CONCLUSIONES..... | 117 |
| 8. ANEXOS..... | 121 |
| 9. BIBLIOGRAFÍA..... | 122 |

TABLA DE ECUACIONES

| | |
|--|----|
| Ecuación 1: Método de Regresión Lineal..... | 12 |
| Ecuación 2: Método por razones de distancia | 12 |
| Ecuación 3: Método por promedios vecinales..... | 12 |
| Ecuación 4: Método por razones de promedio..... | 13 |
| Ecuación 5: Método por correlación con estaciones vecinas | 13 |
| Ecuación 6: Método por regresiones múltiples | 14 |
| Ecuación 7: Método del vector regional | 14 |
| Ecuación 8. Razón Q | 14 |
| Ecuación 9: Correlación Estadística | 15 |
| Ecuación 10: Coeficiente de Correlación de Pearson..... | 16 |
| Ecuación 11: Error medio absoluto | 16 |
| Ecuación 12: Error cuadrático medio | 17 |
| Ecuación 13. Método Interpolación IDW | 49 |
| Ecuación 14. Aplicación Método de Interpolación IDW | 49 |
| Ecuación 15. Ecuación estimación por la razón de los valores normales..... | 70 |

LISTA DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 1. Estación Climatológica Davis Vintage (Pro-2) UPB 20

LISTA DE ILUSTRACIONES

| | |
|--|----|
| Ilustración 1. Datos Obtenidos del Registro de la Estación UPB | 22 |
| Ilustración 2. Visualización de los filtros de colores para identificación de datos. | 23 |
| Ilustración 3. Formato de datos estación UPB | 24 |
| Ilustración 4. Tabla de datos obtenidos de la estación Weather Underground. | 26 |
| Ilustración 5. Formato de datos estación Weather Underground. | 27 |
| Ilustración 6. Localización dentro del Satélite Nasa Power. | 30 |
| Ilustración 7. Datos obtenidos de la estación Nasa Power. | 31 |
| Ilustración 8. Formato de datos estación NASA POWER. | 32 |
| Ilustración 9. Solicitud de información al IDEAM, estación Piedecuesta. | 34 |
| Ilustración 10. Datos Obtenidos desde el IDEAM de la estación Piedecuesta. | 34 |
| Ilustración 11. Distancia entre la estación Piedecuesta Granja y UPB, Google Earth. | 43 |
| Ilustración 12. Ubicación de las 4 estaciones en el mapa. | 43 |
| Ilustración 13. Método IDW. Fuente: IDEAM | 49 |
| Ilustración 14. Reconocimiento de los datos de precipitación de la UPB sin información. | 55 |

LISTA DE TABLAS

| | |
|--|----|
| Tabla 1. Metodologías: Análisis Exploratorio de Datos | 10 |
| Tabla 2. Comparación del cronograma de registro de datos Estación UPB y Weather Underground. | 28 |
| Tabla 3. Estaciones Cercanas del IDEAM, no utilizadas. | 36 |
| Tabla 4. Estaciones Cercanas del IDEAM, utilizadas. | 42 |
| Tabla 5. Valores de distancia y altitud entre estaciones comparados con la estación UPB. | 44 |
| Tabla 6. Cálculo de Valores Wi (Fecha precipitación: 16/04/2009)..... | 50 |
| Tabla 7. Cálculo de Valores Wi (Fecha precipitación: 17/04/2009)..... | 50 |
| Tabla 8. Cálculo de Valores Wi (Fecha precipitación: 18/04/2009)..... | 51 |
| Tabla 9. Valores de Wi por estación..... | 51 |
| Tabla 10. Tabla de valores sin arreglar (Precipitación desde el día 16/04/2009 a 30/04/2009) | 52 |
| Tabla 11. Tabla de Relocalización de los valores de precipitación desde el 16/04/2009 a 30/04/2009 | 53 |
| Tabla 12. Datos de Precipitación para aplicar Método de regresión Lineal | 54 |
| Tabla 13. Variables del Método de Regresión Lineal | 58 |
| Tabla 14. Llenado de Datos Método de Regresión Lineal (16/04/2009 a 10/05/2009)..... | 58 |
| Tabla 15. Llenado de Datos en fechas vacías con el Método de Regresión Lineal (14/09/2013 a 11/10/2013)..... | 59 |
| Tabla 16. Llenado de Datos en fechas vacías con el Método de Regresión Lineal (01/01/2014 a 27/01/2014)..... | 60 |
| Tabla 17. Llenado de Datos en fechas vacías con el Método de Regresión Lineal (04/04/2015 a 01/05/2015)..... | 61 |
| Tabla 18. Llenado de Datos en fechas vacías con el Método de Regresión Lineal (16/02/2016 a 14/03/2016)..... | 61 |
| Tabla 19. Llenado de Datos en fechas vacías con el Método de Regresión Lineal (09/06/2016 a 06/07/2016)..... | 62 |
| Tabla 20. Llenado de datos con la metodología de Razones de Distancia (16/04/2009 a 04/05/2009) | 63 |
| Tabla 21. Llenado de Datos en fechas vacías con el Método de Razones de Distancia (13/09/2013 a 03/10/2013)..... | 64 |
| Tabla 22. Llenado de Datos en fechas vacías con el Método de Razones de Distancia (17/07/2014 a 07/08/2014)..... | 65 |
| Tabla 23. Llenado de Datos en fechas vacías con el Método de Razones de Distancia (24/07/2015 a 14/08/2015)..... | 65 |
| Tabla 24. Llenado de Datos en fechas vacías con el Método de Razones de Distancia (17/03/2016 a 06/04/2016)..... | 66 |

| | |
|--|----|
| Tabla 25. Llenado de datos con la metodología de Promedios Vecinales (16/04/2009 a 3/05/2009) | 67 |
| Tabla 26. Llenado de Datos en fechas vacías con el Método de Promedios Vecinales (13/09/2013 a 08/10/2013)..... | 68 |
| Tabla 27. Llenado de Datos en fechas vacías con el Método de Promedios Vecinales (09/04/2014 a 06/15/2014)..... | 68 |
| Tabla 28. Llenado de Datos en fechas vacías con el Método de Promedios Vecinales (29/08/2015 a 25/09/2015)..... | 69 |
| Tabla 29. Llenado de Datos en fechas vacías con el Método de Promedios Vecinales (08/03/2016 a 04/04/2016)..... | 69 |
| Tabla 30. Aplicación Método por razones promedio | 71 |
| Tabla 31. Valores de Correlación entre las estaciones | 72 |
| Tabla 32. Aplicación del Método de Correlación Estaciones Vecinas (16/04/2009 a 03/05/2009) | 72 |
| Tabla 33. Aplicación del Método de Correlación Estaciones Vecinas (12/09/2013 a 01/10/2013) | 73 |
| Tabla 34. Aplicación del Método de Correlación Estaciones Vecinas (01/06/2014 a 22/06/2014) | 74 |
| Tabla 35. Aplicación del Método de Correlación Estaciones Vecinas (13/03/2016 a 03/04/2016) | 74 |
| Tabla 36. Correlaciones de precipitación de todas las estaciones..... | 75 |
| Tabla 37. Aplicación del método Regresiones Múltiples (16/04/2009 a 04/05/2009) | 76 |
| Tabla 38. Aplicación del método Regresiones Múltiples (12/09/2013 a 03/10/2013) | 77 |
| Tabla 39. Aplicación del método Regresiones Múltiples (01/12/2015 a 22/12/2015) | 77 |
| Tabla 40. Aplicación del método Regresiones Múltiples (15/03/2016 a 05/04/2016) | 78 |
| Tabla 41. Valores "Q" | 78 |
| Tabla 42. Llenado de datos con la metodología de Razón Q (16/04/2009 a 3/05/2009)... | 79 |
| Tabla 43. Llenado de Datos en fechas vacías con el Método de Razón Q (12/09/2013 a 02/10/2013) | 80 |
| Tabla 44. Llenado de Datos en fechas vacías con el Método de Razón Q (31/05/2015 a 21/06/2015) | 80 |
| Tabla 45. Llenado de Datos en fechas vacías con el Método de Razón Q (15/12/2015 a 05/01/2016) | 81 |
| Tabla 46. Llenado de Datos en fechas vacías con el Método de Razón Q (14/03/2016 a 04/04/2016) | 81 |
| Tabla 47. Resultado Validación de Metodologías con Correlación Estadística y Coeficiente de Pearson | 83 |
| Tabla 48. Validación de resultados por el método de error medio absoluto (16/04/2009 a 04/05/2009) Parte 1 | 84 |

| | |
|--|-----|
| Tabla 49. Validación de resultados por el método de error medio absoluto (16/04/2009 a 03/05/2009) Parte 2 | 84 |
| Tabla 50. Validación de resultados por el método de error medio absoluto (18/08/2010 a 03/09/2010) | 85 |
| Tabla 51. Validación de resultados por el método de error medio absoluto (16/05/2016 a 01/06/2016) | 86 |
| Tabla 52. Validación de resultados por el método de error medio absoluto (12/05/2018 a 28/05/2018) | 86 |
| Tabla 53. Validación de resultados por el método de error medio absoluto (20/11/2018 a 06/12/2018) | 87 |
| Tabla 54. Validación de datos Metodología Error Cuadrático medio | 88 |
| Tabla 55. Análisis de Datos Correlación lineal con las metodologías de Llenado..... | 89 |
| Tabla 56. Promedios Totales de los métodos aplicados para el llenado de datos de precipitación | 90 |
| Tabla 57. Comparación de valores de precipitación promedio obtenidos desde la metodología con la UPB | 92 |
| Tabla 58. Temperatura promedio estación UPB (16/04/2009 a 04/05/2009)..... | 101 |
| Tabla 59. Temperatura promedio estación UPB (08/03/2013 a 02/04/2013)..... | 102 |
| Tabla 60. Temperatura promedio estación UPB (01/01/2018 a 19/01/2018)..... | 103 |
| Tabla 61. Temperatura promedio estación UPB (15/11/2018 a 10/12/2018)..... | 103 |
| Tabla 62. Temperatura Promedio Anual | 104 |

RESUMEN GENERAL DE TRABAJO DE GRADO

TITULO: ANÁLISIS EXPLORATORIO DE DATOS HIDROMETEOROLÓGICOS EN LA ESTACIÓN UPB PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE METODOLOGÍAS DE LLENADO

AUTOR(ES): Cielo María Delgado Muñoz

PROGRAMA: Facultad de Ingeniería Civil

DIRECTOR(A): Diego Alejandro Guzmán Arias

RESUMEN

La estación UPB, de uso privado y académico, hace parte de la red de monitoreo hidroclimatólogico de la cuenca piloto Palmichala, por lo tanto, el desarrollo de este trabajo de grado generará información relevante para el seguimiento hidrológico en la cuenca y la exploración de otras temáticas de investigación en el área. A partir del análisis exploratorio de datos se realiza un estudio estadístico y descriptivo con técnicas de visualización para identificar la veracidad de las metodologías existentes acerca del llenado de vacíos de datos cuando las estaciones no recogen información pluviométrica y quedan incertidumbres en los registros históricos, además, la determinación de anomalías, correlación y pruebas de validación. Se aplicaron 14 metodologías de relleno de datos para analizar tendencias y similitudes en relación a la estación principal, los datos surgen a partir de registros satelitales de NasaPower, dos estaciones del Ideam (Piedecuesta Granja y La Floresta) y además una relocalización de datos elaborada a partir de la metodología IDW, todo esto con el fin de completar las incertidumbres que fueron creadas por el traslado de la estación del edificio I al edificio K dentro de la universidad desde octubre del 2013 hasta el mes de marzo del 2016.

PALABRAS CLAVE:

Hidrometeorológico, Precipitación, Estación, UPB, Análisis Exploratorio, Metodologías de llenado.

V° B° DIRECTOR DE TRABAJO DE GRADO

GENERAL SUMMARY OF WORK OF GRADE

TITLE: EXPLORATORY ANALYSIS OF HYDROMETEOROLOGICAL DATA AT UPB STATION FOR THE IMPLEMENTATION OF FILLING METHODOLOGIES

AUTHOR(S): Cielo María Delgado Muñoz

FACULTY:

DIRECTOR: Diego Alejandro Guzmán Arias

ABSTRACT

The UPB station, for private and academic use, is part of the hydroclimatological monitoring network of the Palmichala pilot basin, therefore, the development of this degree work will generate relevant information for hydrological monitoring in the basin and the exploration of other research topics in the area. From the exploratory data analysis, a statistical and descriptive study with visualization techniques is carried out to identify the veracity of the existing methodologies about filling in data gaps when the stations do not collect rainfall information and uncertainties remain in the historical records, in addition, anomaly determination, correlation and validation tests. 14 data filling methodologies were applied to analyze trends and similarities in relation to the main station, the data arises from NasaPower satellite records, two Ideam stations (Piedecuesta Granja and La Floresta) and also a data relocation elaborated to Based on the IDW methodology, all this in order to complete the uncertainties that were created by the transfer of the station from building I to building K within the university from October 2013 to March 2016.

KEYWORDS:

Hydrometeorological, Precipitation, Station, UPB, Exploratory Analysis, Filling methodologies.

Vº Bº DIRECTOR OF GRADUATE WORK

1. INTRODUCCION

Las precipitaciones son parte fundamental del ciclo hidrológico ya que proveen agua dulce en la superficie terrestre contribuyendo en la vida de los seres vivos, conocer sus patrones ayuda a prevenir fenómenos climáticos que afectan a la sociedad como las inundaciones. El tema del trabajo de grado se enfoca en identificar las metodologías existentes acerca del llenado de vacíos de datos presentes cuando las estaciones no recogen información pluviométrica y quedan incertidumbres en los registros históricos, estas dificultades pueden deberse a fallas o daños en el dispositivo meteorológico o a percances externos. Se aplicará a partir del análisis exploratorio un estudio estadístico y descriptivo con técnicas de visualización para la determinación de anomalías, correlación y pruebas de validación de datos corroborados con los registros satelitales evaluados.

Evaluar las diferentes técnicas para el llenado de datos a través de análisis exhaustivos de las variables que influyen y alteran valores de precipitación y temperatura, a partir de gráficos y estadísticos puede establecerse que tan confiable son las metodologías mediante discontinuidades, valores atípicos y formas de distribución. El inicio de la metodología se establece a partir de análisis básicos de descripción de datos, estableciendo promedios, medianas, valores mínimos y desviación estándar que dan a conocer valores de tendencias, dispersiones y similitudes entre los datos registrados y calculados, estaciones vecinas, entre otros determinando la variabilidad entre año y adicionalmente identificando periodos secos y húmedos como lo son los fenómenos del niño y la niña.

Las estimaciones de precipitación son una fuente de incertidumbre dentro de los modelos hidrológicos, de aquí derivan grandes cantidades de retos para lograr modelos ideales que se ajusten perfectamente a los valores esperados. En la actualidad, la implementación de metodologías de llenado ha aumentado considerablemente con el fin de obtener datos asociados con el clima y predicción de eventos que permitan el modelamiento hidrológico, bien sea aplicando ecuaciones o a través de los diferentes softwares computacionales. No obstante, esta aplicación posee diversas limitaciones según el tipo de precipitación y sesgos por presencia de montañas [1].

A modo de proceso de la metodología de vacíos debe delimitarse el área de estudio, seleccionar las estaciones de las cuales se obtendrán los datos, organizar los datos obtenidos, identificar los periodos que presentan datos faltantes y posteriormente la aplicación de fórmulas de llenado con su respectiva evaluación de tal manera que evalúe y ajuste los datos estimados. Además, el hecho de que se incluyan estaciones satelitales permite comparar la calidad de esta

información respecto a las estaciones pluviométricas locales.

En el registro de información se presentan dificultades relacionadas con el la estación ocasionadas por fallas o daños en los mismos instrumentos de medición, de igual manera, actividades de mantenimiento, calibración, cambio de localización afectan el registro de datos, este último es el caso de la estación localizada en la Universidad Pontificia Bolivariana, desconocer el patrón que define el comportamiento de las lluvias incide en los estudios previos que requiere la instalación de los equipos, además que deben ubicarse en zonas donde el terreno sea adecuado, la altura de la estación al piso también debe garantizar el registro de información.

Por eso, según lo mencionado anteriormente, el fin de este proyecto es complementar la escasez de datos a partir de estaciones cercanas similares y ecuaciones aportando a los proyectos investigativos futuros que incluyan esta variable.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

Realizar el análisis exploratorio y de consistencia de los datos de las series de precipitación y temperatura en la estación meteorológica localizada en la Universidad Pontificia Bolivariana, Seccional Bucaramanga, para la implementación de técnicas de relleno en los vacíos de registro histórico.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Aplicar a los datos de la estación hidrometeorológica UPB el análisis estadístico descriptivo y las técnicas de visualización para la determinación de anomalías, correlación y pruebas de consistencia.
- Evaluar los métodos y técnicas para completar datos faltantes a partir de las series hidrológicas analizadas en la estación UPB identificando ventajas, desventajas y recomendaciones.

3. MARCO TEÓRICO

La importancia del agua hoy en día centra la atención sin importar la ciencia desde la cual sea estudiada (ingeniería, sicología, física, química, etc.), esto se debe a que el recurso afecta al planeta y se encuentra presente en grandes cantidades como la atmósfera, los océanos, de manera superficial y subterránea. El agua vista desde diferentes puntos de vista forma parte de procesos de actividad biológica, ciclos de regulación, reacciones químicas y principalmente el mantenimiento de la vida, de ahí que muchas personas se dedican a investigar sobre procesos de potabilización de agua, recuperación, administración y seguimiento de esta. En nuestro caso, el agua es vista como un factor que afecta el clima y que, con su correcta gestión, sirve para prevenir inundaciones y controlar procesos de precipitación dentro de la zona de estudio, además que los factores meteorológicos tienen relación de influencia con los caudales de diseño.

Precipitación

La precipitación es una de las variables más estudiadas cuando a hidrología se refiere, las lluvias determinan la calidad de vida de las cuencas y se asocian a cualquier forma de agua que descienda del cielo, es decir, la humedad que reposa en la superficie terrestre y que luego cae a la tierra siguiendo el ciclo hidrológico. Para formar la precipitación es necesario contar con radiación solar, humedad atmosférica, núcleos que permitan la condensación y mecanismos de enfriamiento de aire ya que el aire húmedo es calentado por procesos de conducción tornándose leve y ascendiendo de manera adiabática hacia la superficie terrestre, luego se enfría mientras se expande hasta conseguir una saturación que le permita condensarse, luego de esto se forman las gotas de agua debido a la condensación de humedad en los núcleos mencionados anteriormente. Cuando las gotas se encuentran suspendidas sucede un proceso de crecimiento con límites restringidos por el peso hasta que se logra su precipitación. [2] Con respecto al crecimiento de las gotas puede decirse que el aumento de su peso se debe a las colisiones con otras o la difusión de vapor de agua con gotas ya existentes permitiendo el aumento de tamaño.

Existen tres tipos según la formación de la precipitación, la precipitación frontal o de convergencia sucede cuando se chocan dos masas de aire con diferente temperatura y en movimiento (aire frío y caliente para la formación de frentes); la precipitación orográfica que ocurre cuando hay un choque con las montañas de las corrientes humedecidas del aire que

circulan a través de los valles (el aire se ve forzado a subir a estratos mayores); finalmente la precipitación convectiva generada por calentamiento de masas de aire bajas junto con presencia de vientos superiores fríos [2].

Es conocido que la lluvia se mide en altura (generalmente milímetros), considerando un cálculo de volumen acumulado en una superficie determinada, sin embargo, para medir la precipitación existe un instrumento como pluviómetro. A modo de historia, la lluvia existe desde hace millones de años, los griegos almacenaban lluvia por medio de envases y recipientes con el fin de tener mejores rendimientos en su cultivo y determinar la cantidad de agua disponible para estos. Para el año de 1445, se desarrollaba el primer pluviómetro en Corea elaborado con bronce, entre sus características se encuentran que era de mano y además registraba datos de precipitación por horas. Con el transcurso del tiempo, en el siglo XVII, se daba nacimiento a un pluviómetro que además registraba la dirección del viento y la temperatura. [3] El pluviómetro sirve para recolectar las cantidades de lluvia que caen durante un tiempo específico y lugar determinado, existen cuatro tipos de pluviómetros, los manuales, los totalizadores, de sifón y de doble cubeta basculante, cabe resaltar que las estaciones meteorológicas poseen estos instrumentos y muchos más para el registro de las actividades climatológicas. A diferencia del pluviógrafo que indica registros gráficos, el pluviómetro depende de otros factores que afectan su precisión.

La variación de la precipitación incide en variables geográficas, la presencia de montañas hace que por un lado existan precipitaciones y por el otro no (sotavento y barlovento), las continuas corrientes, las masas de aire y la altitud, de aquí que sea necesario filtrar las estaciones de registro de datos según su altitud y distancia a la estación principal. En la temperatura también influyen variables de altitud, latitud y condiciones de nubosidad, la temperatura desciende con la altura.

Incidencia del Fenómeno del Niño y La Niña

Los fenómenos del niño y la niña son los protagonistas de la variabilidad climática que se relaciona con el océano Pacífico de forma interanual, su aparición se debe por las componentes oceánicas de oscilación del sur, más conocidas como ENOS, que permite la aparición de aguas superficiales cálidas (niño) y frías (niña) abarcando países como Perú, Ecuador y en nuestro caso Colombia. [4].

Cuando hablamos del fenómeno del niño sus efectos son evidenciados en la región Andina y la región Caribe; con respecto a la niña su relación se identifica a partir de aumento de lluvias y disminución de temperaturas, es decir, épocas frías en las regiones Andina, Caribe, Pacífica

y en algunas regiones de los Llanos, pero en regiones como la Orinoquía y la Amazonía su comportamiento es tan normal que no se evidencian patrones ante estos fenómenos. [4]

Según el Atlas interactivo del Ideam, el fenómeno del niño presenta alteraciones normales en precipitación dentro del departamento de Santander y su área metropolitana; de manera contraria la niña incide de manera normal y excedente en el registro de precipitaciones dentro de nuestro departamento, llegando a afectar algunas partes del área metropolitana y otros municipios de la región. Con respecto a las temperaturas el niño incide de manera normal y excedente a la variación de estas; y la niña, por su parte, se caracteriza por disminuir las temperaturas de forma considerable a lo largo de todo el departamento. [5]

La inferencia a estos fenómenos aplica ya que pertenecemos a la zona andina y por lo tanto tenemos influencias de estos fenómenos que se presentan dentro de los rangos de análisis de datos de las estaciones. Por ejemplo, el fenómeno del niño se registra en los años 2009-2010, 2014-2015, 2015-2016, 2016-2017, 2017-2018 y 2018-2019, cabe aclarar que el fenómeno no se presenta de manera consecutiva por un año, sino que puede abarcar más o menos tiempo. El periodo de la niña se registra en los años 2010-2011 donde se encuentra mayor valor de precipitación. Estos fenómenos también pueden caracterizarse si son débiles o fuertes según el impacto que tengan sobre la población. Reconocer la influencia de los fenómenos del niño y la Niña en el departamento y especialmente en las zonas de estudio permiten evaluar de una manera más objetiva los datos esperados de precipitación y temperatura.

Características de la Zona

Identificando mensualmente la región Andina, se dice que el clima comienza a cambiar cuando acaba febrero caracterizado por su verano, de abril a mayo los árboles sienten las lluvias venideras y retoñan para la cosecha. En el mes de abril se identifican generalmente lluvias hasta el mes de junio y julio que regresa la temporada de calor. Agosto es caracterizado por ser un mes seco y con vientos altos, septiembre y octubre son meses caracterizados por un calor reducido; finalmente en noviembre en diciembre se presentan lluvias [6]. Según el tipo de lluvias, las que mayormente se dan en la región andina son las orográficas producidas porque el aire húmedo sube luego de encontrarse con montañas, características de la zona y especialmente en el departamento de Santander, para luego enfriarse alcanzando la saturación del vapor de agua y humedades relativas óptimas.

Dentro del municipio de Santander se encuentran cuencas hidrográficas abastecidas por 4 ríos de gran componente hídrico como lo es el Río Lebrija, Río Chicamocha, Río Sogamoso y Río

Chitagá, en su orden de caracterización por hectáreas. Estas cuencas son abastecidas también por los procesos de precipitación que sirven como recarga de la zona. Cabe resaltar, que Santander en la cuenca hidrográfica del Magdalena medio da su mayor porcentaje y una pequeña parte a la cuenca del río Arauca. [7].

En las temporadas, se caracteriza por tener periodos cortos de verano con sensaciones de humedad y de calor; los inviernos también se consideran en periodos cortos, son cómodos y generalmente las lluvias se acompañan con bajas temperaturas, en algunas ocasiones provocan riesgos por desestabilización de taludes o pérdida de la banca en las carreteras, así como inundaciones y avalanchas especialmente en la zona rural del municipio de Piedecuesta; con relación a su topografía se encuentran ondulaciones entre los 800 msnm y los 1200 msnm [8]

El municipio de Piedecuesta posee una temperatura que varía de 20°C a 26°C, está constituido por valles, colinas y mesetas que acompañan la variabilidad climática, sus límites geográficos por el norte son los municipios de Floridablanca, Bucaramanga y Tona, por el sur Cepitá, Aratoca y Los santos; Girón por el occidente y Santa Bárbara por el oriente. [9] El clima de Santander es caracterizado por ser cálido y templado, se dice que hay precipitaciones incluso en periodos de sequía y que al menos una vez al mes llueve en los municipios de Floridablanca y Piedecuesta según la CDMB.

Análisis exploratorio de datos (AED)

En la gestión del recurso hídrico el uso de series hidroclimatológicas es base fundamental para la toma de decisiones y en muchos casos la falta de información no permite proceder con objetividad en estos temas. En las series temporales los vacíos repetitivos de información son un problema común, principalmente en áreas donde no es posible registrar de manera continua los datos. Descartar las series incompletas en áreas con baja densidad de medición puede acarrear problemas en ejercicios de simulación hidrológica o conllevar al sesgo estadístico en el análisis de series [10].

Por otro lado, el análisis de datos depende en gran medida de la calidad y la integridad de estos, por lo que considerar inicialmente el análisis exploratorio, según la consistencia de las series de precipitación-temperatura ayudará a identificar tendencias, estacionalidad y valores atípicos que puedan generar sesgos.

El análisis exploratorio de datos es un método que debería ser fundamental al momento de

involucrar estudios de datos, en primera medida es fundamental encontrar los cambios y tendencias que forman los valores representados en una serie de tiempo dentro de las gráficas ya que se comenzará a marcar posibles resultados frecuentes que expliquen cierto comportamiento [11]. Además de estas gráficas de series de tiempo, o datos espaciales, existen otras visualizaciones gráficas sugeridas para el análisis de datos empíricos [12]. Según Campuzano, el AED describe los métodos descritos en la Tabla 1.

Tabla 1. Metodologías: Análisis Exploratorio de Datos

| Método | Descripción | Características |
|-------------------------------------|---|--|
| Gráficas de Series de Tiempo | Gráfica de valores de serie vs tiempo | Se pueden evidenciar patrones, periodicidades, valores atípicos o aleatorios con el fin de pronosticar movimientos futuros a través de características particulares. |
| Gráficas de Masa Simple | Gráfica de Serie acumulada de variable de origen vs tiempo. | Si no hay cambio en la media es una línea recta, si hay tendencia representa una curvilínea. |
| Gráficas de Doble Masa | Detectan la consistencia de la serie al compararla con otra serie que no tenga problemas de homogeneidad. | Cuando no hay cambio en la media marca una línea recta, cuando hay una tendencia muestra un decaimiento o levantamiento monótono. |
| Gráficas de Masa Residual | Gráficas de desviación acumulada de series promedias vs el tiempo | Si la pendiente es positiva los valores están por encima de la media, si es negativa por debajo. |
| Diagrama de puntos | Gráfica de valor de datos a lo largo de un eje. | Cuando no hay cambio de tendencia los puntos se concentran alrededor del valor medio. |
| Histograma | Gráficas de datos que se agrupan según su magnitud (intervalo vs frecuencia). | Define intervalos de clase a partir de una frecuencia relativa o absoluta, en ella puede identificarse el polígono de frecuencia. |
| Gráficas de Tallo y Hoja | Presenta la misma información que el histograma (datos vs frecuencia) | Es recomendada en muestras grandes, los datos se agrupan en magnitud de todos los valores de tal manera que sean visibles en la gráfica. Se |

| | | |
|------------------------------|--|--|
| | | evidencian picos cuando hay cambio en la media. |
| Gráficas de Cuantiles | Gráfica de estadísticas anuales y estacionales a partir de percentiles. | Compara estadístico de series por región, si existen diferentes rangos su varianza también es distinta. Es una porción de una serie de tiempo. |
| Gráficas S-S | Es una gráfica de una serie comparada contra otra serie. | Debe presentarse igual número de observaciones, deben ser apareadas. |
| Gráficas Q-Q | Es una gráfica de los cuantiles de una serie contra los cuantiles de otra serie. | Los datos deben presentarse de forma ordenada y deben ser de igual tamaño entre series. |
| Gráficas Suavizadas | Se buscan metodologías que permitan suavizar las gráficas. | Puede no identificar fácilmente la tendencia o el cambio debido a las altas variabilidades. Puede ser anual, mensual o diaria |

Fuente: Propia

Método de relleno de faltantes

Cuando hablamos de carencia de datos en la estimación de precipitación podemos referir muchos métodos que predicen con cierto grado de veracidad los vacíos en las series, estos van desde modernas tecnologías trabajadas en satélites y sensores, software estadístico y modelamiento hidrológico [13].

En los diferentes estudios de investigación, el punto de partida es la estimación de la precipitación con adecuada resolución espacial y temporal, al hacer una serie más larga completando los datos de variables hidrometereológicas faltantes, se podría precisar en gran manera la información para que el estudio relacionado con el agua sea más confiable. Se han propuesto y adoptado diversas técnicas para completar los datos faltantes con el fin de obtener una serie de datos de lluvia continua y prolongada [14]

Estos métodos de llenado se han probado también en series mensuales de temperatura media, pero su aplicabilidad puede extenderse a otros parámetros meteorológicos. Para cada uno de los parámetros meteorológicos utilizados (temperatura y precipitación), las estimaciones pueden ser evaluadas mediante la comparación de los productos originalmente registrados [15]. Existen diferentes tipos de métodos para realizar el relleno de faltantes, entre las metodologías clásicas según Romero & Casimiro [16]

- a. Método de regresión lineal: Se puede decir que es mayormente utilizado ya que se recomienda en la evaluación de datos mensuales y anuales. La estación patrón se establece como Ideam Piedecuesta Granja y la estación con carencia de información es la de la UPB. Es recomendable usar el coeficiente de correlación para verificar la pureza de los datos.

Ecuación 1: Método de Regresión Lineal

$$y = a + bx$$

donde:

y = Precipitación estimada

a, b = Constantes de regresión lineal

x = Numero de datos

- b. Método por razones de distancias: Se recomienda su uso cuando los datos son inferiores a doce meses y la zona donde se realiza el estudio es plana, es necesario que las estaciones se ubiquen espacialmente de forma lineal.

Ecuación 2: Método por razones de distancia

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

donde:

PX = Estación con Carencia de datos

a = Distancia entre la Estación Principal.

PA, PB = Precipitación de las estaciones con datos completos

a y b = Distancia con relación a X

- c. Método por promedios vecinales: Es usado cuando los datos a trabajar son inferiores a doce meses, pero su zona de estudio aparte de ser plana también es no montañosa. Cabe aclarar que la estación que no posee el registro de información se localiza centralmente con relación a las otras estaciones.

Ecuación 3: Método por promedios vecinales

$$PX = \sum_{i=1}^n \frac{Pi}{n}$$

donde:

PX = Estación con Carencia de datos

Pi = Precipitación de las estaciones en el tiempo estimado

n = Número de estaciones

- d. Método por razones promedio: Sirve como complemento al método descrito anteriormente, pero en zonas montañosas. También es válido aplicarlo cuando hay una variación en más del 10% comparado con una estación cercana.

Ecuación 4: Método por razones de promedio

$$PX = \frac{\overline{PX}}{N} \times \left[\frac{PA}{\overline{PA}} + \frac{PB}{\overline{PB}} + \dots + \frac{PN}{\overline{PN}} \right]$$

donde:

PX = Estación de estudio

$\overline{PA}, \overline{PB}, \overline{PN}, \overline{PX}$ = Promedio de las precipitaciones anuales registradas en un periodo común.

N = Número de Estaciones

PA, PB, \dots, PN = Es la precipitación en las N estaciones durante un periodo que falta en X

- e. Método por correlación con estaciones vecinas: Las precipitaciones consideradas se estiman en base a correlaciones de la estación con valores faltantes y sus estaciones vecinas en datos anuales y correlación lineal menor a 0,8.

Ecuación 5: Método por correlación con estaciones vecinas

$$PX = \frac{PXA * rXA + PXB * rXB + \dots + PXN * rXN}{rXA + rXB + \dots + rXN}$$

donde:

PX = Valor estimado de precipitación

PXi = Valores estimados de precipitación en X desde las diferentes regresiones de cada estación.

A, B, \dots, N = Estaciones

rXi = Coeficientes de correlación entre registros de la estación X y cada una de las i

estaciones

- f. Método por regresiones múltiples: Es una amplitud del método de regresión simple.

Ecuación 6: Método por regresiones múltiples

$$Y = a + bX_1 + cX_2 + \dots + nX_1$$

donde:

y = Precipitación estimada

x_i = Precipitación de la estación completas

a, b, c y n = Constante de la regresión

- g. Método del vector regional: Se orienta con tres bases definidas: la primera consiste en la crítica de datos, la segunda es la homogenización y la tercera la extensión-complementación de los valores de precipitación. [17]

Ecuación 7: Método del vector regional

$$\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M \left(\frac{P_{ij}}{P_i} - Z_i \right)$$

donde:

i = Índice del año

j = Índice de la estación

M = Numero de estaciones

P_{ij} = Precipitación anual en la estación j y el año i

P_j = Precipitación media extendida al periodo de N año

Z_i = Índice pluviométrico regional del año i .

- h. Razón Q: Solamente puede utilizarse en dos estaciones donde una tenga la totalidad de los datos y la otra no.

Ecuación 8. Razón Q

$$q = \frac{\sum bi}{\sum ai}$$

Donde:

Q= Solución Método Razón Q.

Bi= Estación con datos incompletos

Ai= Estación con los datos completos

Validación de las metodologías

Con el fin de comparar la exactitud de los métodos discutidos para la reconstrucción de los datos de precipitación mensuales faltantes, se usan cuatro ecuaciones métricas las cuales son las siguientes [18].

Correlación Estadística:

La Ecuación 9 representa la ecuación de la metodología de correlación estadística que determina la dependencia entre dos variables intervenidas en distribución bidimensional de manera que los cambios de una variable tengan influencia en la otra buscando una correlación entre sí. El signo del coeficiente actúa igual que el de la covarianza, su resultado positivo indica correlación directa, si por el contrario es negativo su correlación es inversa, pero su nulidad indica la no existencia de correlación [19], su valor debe estar comprendido entre -1 y 1, entre si los valores son cercanos a -1 su correlación es fuerte e inversa, pero si sus valores son cercanos a 1 significa que la correlación es fuerte y directa. Si por el contrario sus valores son cercanos a 0 su correlación es débil [10].

De manera más filtrada, si el valor está entre 1 a 0,5 (Sin importar su signo) su relación es fuerte; de 0,5 a 0,3 (Sin importar su signo) es moderada; de 0,3 a 0,1 (Sin importar su signo) es débil y de -0,1 a 0,1 no hay ninguna relación o es muy débil [20].

Ecuación 9: Correlación Estadística

$$E = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - Y_i)^2}{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}$$

Coeficiente de Correlación de Pearson:

Para hallar este coeficiente debe dividirse la covarianza de (X, Y) entre la multiplicación de la desviación estándar de la variable "X" por la desviación estándar de la variable "Y". Este índice sirve para medir el grado de la covarianza entre estas variables relacionadas de manera lineal, es decir, que pueden estar con una relación muy fuerte, sus valores oscilan entre 0 y 1 [21]. Si el coeficiente es igual a uno se habla de una correlación lineal perfecta con pendiente positiva, es decir, supone determinaciones absolutas entre las variables; si por el contrario el resultado es cero las variables están relacionadas de forma incorrecta y no es posible determinar covariación, cabe aclarar que esto no significa que sea de tipo no lineal. Si el número es mayor que cero indica correlaciones positivas en sentido directo, pero si los valores son negativos su relación se da a partir de sentidos inversos. [22]

Ecuación 10: Coeficiente de Correlación de Pearson

$$\gamma_{pearson} = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2 \sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2}}$$

Error medio absoluto:

Esta validación se hace a partir de la resta de datos verdaderos y datos calculados, a modo de ilustrativo el error se asemeja a la distancia promedio de forma vertical que hay entre la gráfica de los dos puntos mencionados anteriormente. Este promedio de errores absolutos posee dos variables, la primera "y" que refiere a la predicción y "x" el valor verdadero. "N" por su parte representa la cantidad de datos. La Ecuación 11 representa esta metodología del error medio absoluto, se calcula a partir de restas absolutas, su resultado representa un puntaje lineal ponderados por igual en el cálculo del promedio [23]. Entre sus ventajas se encuentra la penalización de errores muy grandes no siendo sensible a aquellos valores atípicos

Ecuación 11: Error medio absoluto

$$MAE = \frac{1}{N} \sum_{i=0}^n |X_i - Y_i|$$

En Donde:

X_i = Observaciones actuales de las series de tiempo

Y_i = Serie de Tiempo pronosticada

N = Número de puntos de datos no faltantes

Error cuadrático medio:

Esta validación se hace a partir de pares entre los valores reales y los valores experimentados. En la Ecuación 12 la variable “ Y_i ” representa el valor pronosticado, la variable “ X_i ” el valor observado y “ N ” el número de valores que son analizados, esto da como resultado la medida de las restas promedios al cuadrado entre estos dos datos, el uso de la raíz hace escala igualándola a la escala de la medición, para el análisis de resultados poseen una correlación directa entre MSE (error cuadrático medio calculado sin la raíz) y RMSE donde, si en la primera metodología una predicción es mayor también se conservara en esta validación de error pero con diferente [11]. Cuanto mayor sea el resultado peor es este modelo, pues se cuadran errores de predicción de forma individual antes de sumarlos, de ser un modelo perfecto su valor sería de cero.

Ecuación 12: Error cuadrático medio

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=0}^n (Y_i - X_i)^2}{N}}$$

Donde:

X =Valor observado

Y = Valor denotado

N = Número de datos

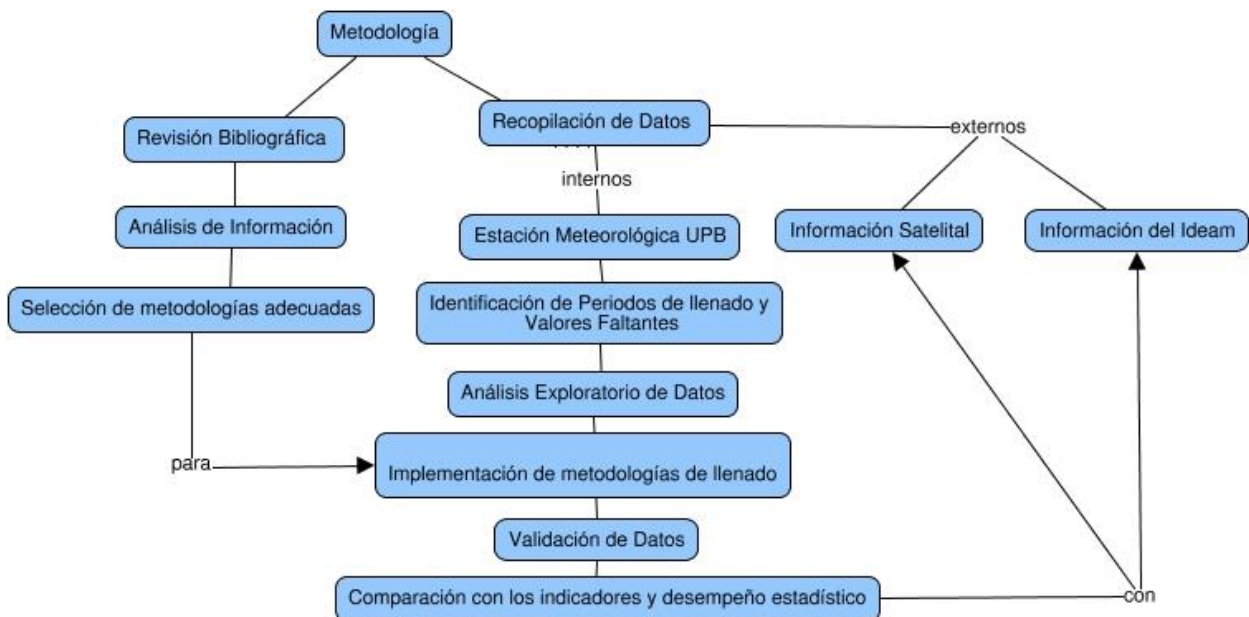
4. METODOLOGÍA

En el Esquema 1 se observa el paso a paso que se llevará acabo para poder ejecutar y lograr los objetivos del proyecto que tendrá dos ramas fundamentales, la primera: la revisión bibliográfica, se llevará a cabo por medios electrónicos tales como: revistas web, artículos, documentos cargados en páginas universitarias, base de datos UPB, entre otros, seguidamente se analizará la información con el fin de seleccionar las metodologías adecuadas para el llenado de datos.

Luego de este proceso comienza la adquisición de los datos de precipitación y temperatura que serán obtenidos de la estación UPB (zona de estudio), los demás datos serán recolectados de las estaciones que se encuentran cercanas que pertenecen al IDEAM, es decir, son datos gubernamentales, ver figura 1. También se obtendrán valores vía satélite NASA-POWER: GCPC 2.2 (Precipitación) y SRB, FLASHFlux (Temperatura) ya que esta base de datos se ajusta mejor a la ventana temporal de la estación UPB.

Una vez terminado este paso, se reconocerán cuáles son los periodos de llenado y los valores faltantes de la estación identificando los vacíos de información, se implementará el análisis exploratorio de datos con el estudio de las variables de precipitación y temperatura para distinguir sus comportamientos ya que existen diferentes tipos de graficas que fortalecen el análisis con condiciones de uso propias en casos específicos. Seguidamente se procede con las metodologías de llenado escogidas y se realizará una validación de datos para evaluar su efectividad, pros, contras y recomendaciones según los parámetros de localización del dispositivo y la región donde se encuentra. Finalmente se comparará con los indicadores su desempeño estadístico evaluando la veracidad de los nuevos datos obtenidos a partir de datos ya existentes, identificando sus tendencias para aceptar, o no, los valores encontrados.

Esquema 1. Metodología Trabajo de Grado



Fuente: Propia

Para estimar los vacíos en las series temporales varias técnicas han sido implementadas sin

tener claramente definida una metodología ideal para predecir los datos faltantes de las variables de interés [18]. Por lo tanto, en este trabajo serán exploradas y evaluadas diferentes metodologías de relleno, a partir de dos fuentes principales de información: estaciones climatológicas cercanas y datos de satélite [24] con el fin de obtener información relevante para la gestión y seguimiento hidrológico en la zona.

4.1 ESTACIONES CLIMATOLÓGICAS

Dentro de la clasificación de las estaciones meteorológicas según sus características y normas técnicas se encuentra la estación climatológica; el clima es una representación del estado físico del tiempo en determinado espacio, por eso las estaciones climatológicas son asociadas a un grupo de herramientas encargadas de medir las alteraciones del clima en lugares estratégicos permitiendo la representación del ambiente. Existen estaciones climatológicas de tipo principal y ordinario, las primeras son caracterizadas por ser estaciones meteorológicas que hacen registro de forma continua y mecánica acerca de las precipitaciones de la zona, permite conocer factores de cantidad, intensidad, duración y periodo del suceso, de igual manera, pueden realizarse observaciones acerca de la temperatura del aire, humedad, radiación, viento, brillo solar, evaporación, entre otros fenómenos. La estación climatológica ordinaria, es también una estación meteorológica que por obligación debe poseer pluviómetro y pluviógrafo con el fin de medir precipitaciones y temperatura de manera instantánea.

4.1.1 ESTACIÓN CLIMATOLÓGICA DAVIS VINTAGE PRO2

La Universidad Pontificia Bolivariana, Seccional Bucaramanga, cuenta con una estación meteorológica marca Davis (Vintage PRO2), está ubicada en las coordenadas 7°3'44" N 73°5'11.2" O (Terraza del Edificio K), tiene un registro histórico interrumpido que va desde el 16 abril de 2009 hasta la fecha. Los periodos con vacío de información son debidos principalmente a fallas en el equipo de medición, mantenimiento y traslado de la estación del edificio I al K. Los datos por estudiar serán tomados de esta estación, ver Fotografía 1; entre las variables hidrometeorológicas en las que más se ha concentrado trabajo para el llenado de información se encuentran precipitación y temperatura, mientras que hoy día los esfuerzos están dirigidos a técnicas de llenado para variables como caudal superficial y flujo subterráneo [25]. Con base a las series hidrometeorológicas de la estación UPB se define la escala temporal

de análisis. La estación Davis (Vintage PRO2) está configurada para registrar las variables diarias en intervalos de 10 minutos, sin embargo, la resolución temporal de las bases de datos fuente (Estaciones IDEAM y Satélite) se encuentra en resolución de totales diarios, por lo tanto, el análisis e implementación de las metodologías de relleno será realizado para este último intervalo de tiempo.

La estación UPB, de uso privado y académico, hace parte de la red de monitoreo hidroclimatológico de la cuenca piloto Palmichala, en donde se han realizado diferentes trabajos de investigación, por lo tanto, el desarrollo de este trabajo de grado generará información relevante para el seguimiento hidrológico en la cuenca y la exploración de otras temáticas de investigación en área.



Fotografía 1. Estación Climatológica Davis Vintage (Pro-2) UPB

4.1.2 ESTACIONES SATELITALES

Hoy en día, los usos de satélites meteorológicos sirven para hacer un control del tiempo y el clima que posee la tierra en diferentes partes del mundo, estos satélites cubren la tierra y recogen información de los diferentes fenómenos meteorológicos a partir de la observación desde el espacio. Pueden ser de órbita geostacionaria, con sincronización con la tierra y posicionamiento sobre el Ecuador a longitud fija, y de órbita polar girando alrededor de la tierra sobre los meridianos. Gracias al radiómetro es posible detectar las radiaciones electromagnéticas reflejadas por cualquier objeto sobre la superficie terrestre, sin embargo, no

es el único mecanismo de medición ya que a través de sensores se emiten pulsos dentro del rango de las ondas microondas para captar respuestas de la señal.

Cuando se consigue captar una ilustración satelital, se debe identificar la escala y resolución espacial, mediante un tamaño de píxeles pueden identificarse las dimensiones del terreno, además las ondas caracterizan un color determinado que permite conocer la cantidad de radiación que recibe la zona.

4.2 CARACTERIZACIÓN DE DATOS

4.2.1 ESTACIÓN UPB

Dentro de los datos que registra la estación se encuentra la fecha, la temperatura ambiente máxima y mínima en grados centígrados, humedad relativa, puntos de rocío, velocidad y dirección del viento, sensación térmica, índice de calor, índice THW, presión atmosférica, cantidad de lluvia en milímetros, intensidad de la lluvia, mm/hora, monto de enfriamiento y de calor para conservar o mantener un edificio a ciertas temperaturas, entre otros. Por razones de metodología se descartarán todos los datos a excepción de precipitaciones, resultados diarios, temperaturas promedio y las respectivas fechas.

En la Ilustración 1, se representa la forma en que son obtenidos los datos de la estación UPB, hay una caracterización del tiempo de registros y aproximadamente 22 variables de fenómenos climatológicos, algunas de sus unidades son grados centígrados (°C), porcentaje y milímetros. Aunque la estación registre una temperatura ambiente (Temp Out), debe realizarse un promedio entre temperaturas máximas y mínimas del día para conocer su registro ya que este valor comparado con el que determina la estación es variable, y una sumatoria de las precipitaciones de cada intervalo para establecer un valor diario. Cabe aclarar que cada variable posee una definición específica de fábrica según la marca de la estación, por ejemplo, el “Dew Point” o Punto de rocío es la temperatura de enfriamiento que requiere el aire para que ocurra la saturación, esto sirve para predecir la formación de niebla o de hielo; también se encuentran las variables “THW INDEX” o índice de temperatura, humedad y viento.

| Date | Time | Temp Out | Hi Temp | Low Temp | Out Hum | Dew Pt. | Wind Speed | Wind Dir | Wind Run | Hi Speed | Hi Dir | Wind Chill | Heat Index | THW Index | Bar |
|----------|--------|-------------|------------|-------------|------------|------------|---------------|-------------|-------------|-------------|-----------|---------------|---------------|--------------|------|
| 16/04/09 | 3:40 p | 28.1 | 28.5 | 28.1 | 66 | 21.2 | 1.8 | N | 1.07 | 5.4 | N | 28.1 | 30.3 | 30.3 | 30.3 |
| 16/04/09 | 3:50 p | 27.4 | 28.1 | 27.4 | 69 | 21.2 | 1.3 | NNE | 0.80 | 4.9 | NNE | 27.4 | 29.4 | 29.4 | 29.4 |
| 16/04/09 | 4:00 p | 27.4 | 27.5 | 27.4 | 67 | 20.8 | 1.3 | N | 0.80 | 4.0 | NE | 27.4 | 29.2 | 29.2 | 29.2 |
| 16/04/09 | 4:10 p | 27.1 | 27.4 | 27.1 | 68 | 20.7 | 2.2 | N | 1.34 | 5.4 | NNW | 27.1 | 28.7 | 28.7 | 28.7 |
| 16/04/09 | 4:20 p | 27.2 | 27.2 | 27.1 | 67 | 20.5 | 2.2 | NNE | 1.34 | 5.4 | N | 27.2 | 28.7 | 28.7 | 28.7 |
| 16/04/09 | 4:30 p | 27.6 | 27.6 | 27.2 | 68 | 21.1 | 1.3 | N | 0.80 | 4.5 | NNE | 27.6 | 29.5 | 29.5 | 29.5 |
| 16/04/09 | 4:40 p | 27.4 | 27.6 | 27.4 | 70 | 21.5 | 1.3 | WNW | 0.80 | 4.5 | WNW | 27.4 | 29.6 | 29.6 | 29.6 |
| 16/04/09 | 4:50 p | 27.3 | 27.5 | 27.3 | 69 | 21.1 | 1.3 | NW | 0.80 | 3.1 | NNW | 27.3 | 29.2 | 29.2 | 29.2 |
| 16/04/09 | 5:00 p | 27.1 | 27.3 | 27.1 | 70 | 21.1 | 1.3 | NW | 0.80 | 4.0 | WNW | 27.1 | 28.8 | 28.8 | 28.8 |
| 16/04/09 | 5:10 p | 26.7 | 27.1 | 26.7 | 70 | 20.8 | 1.8 | NW | 1.07 | 4.9 | NW | 26.7 | 28.3 | 28.3 | 28.3 |
| 16/04/09 | 5:20 p | 26.3 | 26.7 | 26.3 | 71 | 20.7 | 1.3 | NNW | 0.80 | 4.0 | NNW | 26.3 | 27.8 | 27.8 | 27.8 |
| 16/04/09 | 5:30 p | 26.3 | 26.4 | 26.3 | 70 | 20.4 | 1.3 | NW | 0.80 | 4.9 | WNW | 26.3 | 27.7 | 27.7 | 27.7 |
| 16/04/09 | 5:40 p | 26.0 | 26.3 | 26.0 | 73 | 20.8 | 0.9 | WNW | 0.54 | 4.5 | NNW | 26.0 | 27.4 | 27.4 | 27.4 |
| 16/04/09 | 5:50 p | 25.7 | 26.0 | 25.7 | 75 | 21.0 | 0.9 | NNW | 0.54 | 3.1 | NW | 25.7 | 27.2 | 27.2 | 27.2 |
| 16/04/09 | 6:00 p | 25.4 | 25.7 | 25.4 | 76 | 20.8 | 1.3 | WNW | 0.80 | 4.0 | WNW | 25.4 | 26.9 | 26.9 | 26.9 |
| 16/04/09 | 6:10 p | 25.2 | 25.4 | 25.2 | 78 | 21.1 | 0.9 | N | 0.54 | 4.0 | WNW | 25.2 | 26.8 | 26.8 | 26.8 |
| 16/04/09 | 6:20 p | 25.1 | 25.2 | 25.1 | 80 | 21.4 | 0.4 | NNW | 0.27 | 2.7 | N | 25.1 | 26.8 | 26.8 | 26.8 |
| 16/04/09 | 6:30 p | 25.0 | 25.1 | 25.0 | 80 | 21.3 | 0.9 | N | 0.54 | 3.1 | NNW | 25.0 | 26.7 | 26.7 | 26.7 |
| 16/04/09 | 6:40 p | 24.9 | 25.0 | 24.9 | 80 | 21.3 | 0.4 | N | 0.27 | 4.0 | NNW | 24.9 | 26.6 | 26.6 | 26.6 |
| 16/04/09 | 6:50 p | 24.8 | 24.9 | 24.8 | 80 | 21.1 | 0.9 | WNW | 0.54 | 4.0 | WSW | 24.8 | 26.5 | 26.5 | 26.5 |
| 16/04/09 | 7:00 p | 24.8 | 24.8 | 24.8 | 80 | 21.1 | 0.9 | NW | 0.54 | 2.2 | WNW | 24.8 | 26.4 | 26.4 | 26.4 |
| 16/04/09 | 7:10 p | 24.7 | 24.8 | 24.7 | 82 | 21.4 | 0.4 | WNW | 0.27 | 3.1 | NW | 24.7 | 26.4 | 26.4 | 26.4 |
| 16/04/09 | 7:20 p | 24.6 | 24.7 | 24.6 | 83 | 21.5 | 0.9 | NW | 0.54 | 3.1 | N | 24.6 | 26.3 | 26.3 | 26.3 |
| 16/04/09 | 7:30 p | 24.4 | 24.6 | 24.4 | 85 | 21.8 | 0.4 | NNW | 0.27 | 2.2 | NNW | 24.4 | 26.2 | 26.2 | 26.2 |
| 16/04/09 | 7:40 p | 24.3 | 24.4 | 24.3 | 85 | 21.6 | 0.4 | NW | 0.27 | 1.8 | WSW | 24.3 | 26.1 | 26.1 | 26.1 |
| 16/04/09 | 7:50 p | 24.2 | 24.3 | 24.2 | 85 | 21.5 | 0.4 | NW | 0.27 | 2.2 | NW | 24.2 | 25.9 | 25.9 | 25.9 |
| 16/04/09 | 8:00 p | 24.2 | 24.2 | 24.2 | 85 | 21.5 | 0.4 | NNW | 0.27 | 3.1 | NNW | 24.2 | 25.9 | 25.9 | 25.9 |
| 16/04/09 | 8:10 p | 24.1 | 24.2 | 24.1 | 85 | 21.4 | 0.4 | NW | 0.27 | 2.2 | WNW | 24.1 | 25.8 | 25.8 | 25.8 |
| 16/04/09 | 8:20 p | 24.1 | 24.1 | 24.1 | 86 | 21.6 | 0.4 | NNW | 0.27 | 2.7 | N | 24.1 | 25.8 | 25.8 | 25.8 |
| 16/04/09 | 8:30 p | 24.0 | 24.1 | 24.0 | 86 | 21.5 | 0.4 | N | 0.27 | 2.2 | N | 24.0 | 25.7 | 25.7 | 25.7 |
| 16/04/09 | 8:40 p | 23.9 | 24.0 | 23.9 | 87 | 21.6 | 0.4 | NNE | 0.27 | 1.3 | NNE | 23.9 | 25.7 | 25.7 | 25.7 |
| 16/04/09 | 8:50 p | 24.0 | 24.0 | 23.9 | 86 | 21.5 | 0.0 | NW | 0.00 | 1.8 | W | 24.0 | 25.7 | 25.7 | 25.7 |

Ilustración 1. Datos Obtenidos del Registro de la Estación UPB

Desde la estación hidrometeorológica de la Universidad Pontificia Bolivariana, Seccional Bucaramanga, se trabajaron 3527 días con datos de precipitación y temperatura, estos comienzan el 16 de abril del 2009 y terminaban el 10 de diciembre del 2018. A partir de esta información, hubo una caracterización de 5 colores con el fin de identificar su validez, es decir, la estación registra diariamente 144 datos que corresponden a intervalos de 10 minutos a partir de las 12:00 am hasta las 12:00 pm, pero en algunas ocasiones solo hay registros diarios de aproximadamente 72 datos o menos, esta razón llevo a organizarlos por un filtro de colores para aprobar o no la información registrada, los indicadores fueron de la siguiente manera:

- **Verde:** El registro diario se considera bueno ya que se encuentran más de 100 datos.
- **Amarillo:** El registro diario se considera acceptable ya que se encuentran más de la mitad de los datos (72) pero menos de 100 registros.
- **Naranja:** El registro diario se considera regular ya que faltan más de la mitad de los datos, es decir, se encuentra por debajo de (72) pero por encima de 41 datos.
- **Café:** El registro diario se considera inacceptable ya que falta mucho más de la mitad de

los datos, es muy bajo con respecto a la mitad (72), es decir, por debajo de 41 datos.

- *Rojo*: El registro diario se considera nulo ya que no existe información del día.

Como puede evidenciarse en la

Ilustración 2, la primera columna hace referencia a la cantidad de datos que son registrados por la estación, la segunda columna especifica la fecha a la que pertenecen los datos, la tercera y cuarta en su respectivo orden representan los datos de precipitación (mm) y temperatura (°C). Los días 24 y 25 de julio del 2017 están asignados a la categoría verde aprobando un registro de 127 y 122 datos del total. Se ilustra también que el día 26 de julio del mismo año hace parte de la categoría amarilla donde hay un registro aceptable de 74 datos; los días 27,28 y 29 de julio presentan un registro de categoría roja o nula ya que no hay información de esos días, por esta razón la cuarta columna muestra errores dentro de la celda asociada; finalmente, el día 30 de julio pertenece a la categoría naranja o regular ya que solamente hay 46 de 144 datos diarios que caracterizan la totalidad.

| | | | | |
|------|-----|------------|-----|----------|
| 3023 | 144 | 23/07/2017 | 0,2 | 0,0 |
| 3024 | 127 | 24/07/2017 | 0 | 0,0 |
| 3025 | 122 | 25/07/2017 | 0,6 | 0,0 |
| 3026 | 74 | 26/07/2017 | 0 | 0,0 |
| 3027 | 0 | 27/07/2017 | 0 | #iDIV/0! |
| 3028 | 0 | 28/07/2017 | 0 | #iDIV/0! |
| 3029 | 0 | 29/07/2017 | 0 | #iDIV/0! |
| 3030 | 46 | 30/07/2017 | 3,4 | 0,0 |
| 3031 | 144 | 31/07/2017 | 6,2 | 0,0 |
| 3032 | 144 | 1/08/2017 | 0,2 | 0,0 |
| 3033 | 144 | 2/08/2017 | 0 | 0,0 |
| 3034 | 144 | 3/08/2017 | 0,4 | 0,0 |

Ilustración 2. Visualización de los filtros de colores para identificación de datos.

En algunas ocasiones la estación presenta problemas de registro con relación a la intermitencia, por lapsos de horas registraba un valor y luego no había lectura de los datos, especialmente con la variable de temperatura. Otro caso que se presentó es que la estación registra información por ciertos días consecutivos y luego no hay registro de pares de días, se

encontraron saltos dentro de algunas lecturas diarias, por ejemplo, del 18 de marzo del 2013 hay un vacío hasta el 1 de abril del mismo año. Los registros de vacíos diarios se pueden evidenciar en mayor magnitud desde el año 2016 hasta el 2018. De igual manera, el lapso de registro nulo más largo comienza el 13 de septiembre del 2013 hasta el 6 de abril del 2016. El formato completo del registro de datos a trabajar puede verse en la Ilustración 3, donde incluye valores diarios, valores mensuales y valores anuales para facilitar la creación de gráficas y tener un análisis más organizado. Aun así, pueden verse los registros nulos de algunos días que afectan resultados mensuales y anuales al momento de realizar promedios de las variables.

| Cantidad de Datos (144) | Valores Diarios | | | SUMA DE TEMPERATURAS | Valores Mensuales | | | | Valores anuales | | |
|-------------------------|-----------------|--------------------|------------------|----------------------|-------------------|------------|--------------------|---------------------------|-----------------|--------------------|---------------------------|
| | FECHA | PRECIPITACIÓN (mm) | TEMPERATURA (°C) | | AÑO | MES | PRECIPITACIÓN (mm) | TEMPERATURA PROMEDIO (°C) | AÑO | PRECIPITACIÓN (mm) | TEMPERATURA PROMEDIO (°C) |
| 50 | 16/04/2009 | 0,6 | 24,5 | 1226,1 | 2009 | ABRIL | 38,6 | 23,3 | 2009 | 919 | #¡VALOR! |
| 144 | 17/04/2009 | 0,4 | 23,8 | 3428,6 | | MAYO | 105,2 | 23,0 | 2010 | 1562 | #¡VALOR! |
| 144 | 18/04/2009 | 0,2 | 23,7 | 3419,4 | | JUNIO | 104,4 | 22,9 | 2011 | 1726,8 | #¡VALOR! |
| 144 | 19/04/2009 | 8,6 | 24,1 | 3476,2 | | JULIO | 76,8 | 23,0 | 2012 | 1241,9 | #¡VALOR! |
| 144 | 20/04/2009 | 12,6 | 22,4 | 3232,1 | | AGOSTO | 180,6 | 23,0 | 2013 | 924,8 | #¡VALOR! |
| 144 | 21/04/2009 | 1,8 | 22,4 | 3231,4 | | SEPTIEMBRE | 70,2 | 23,7 | 2014 | 0 | #¡DIV/0! |
| 144 | 22/04/2009 | 0,2 | 22,4 | 3219,5 | | OCTUBRE | 133,8 | 23,0 | 2015 | 0 | #¡DIV/0! |
| 144 | 23/04/2009 | 0 | 22,9 | 3302,3 | | NOVIEMBRE | 168,8 | #¡VALOR! | 2016 | 804,8 | #¡DIV/0! |
| 144 | 24/04/2009 | 0 | 23,0 | 3311,6 | | DICIEMBRE | 40,6 | 23,3 | 2017 | 989,4 | #¡DIV/0! |
| 144 | 25/04/2009 | 0 | 24,2 | 3491,7 | | ENERO | 6,8 | 24,1 | 2018 | 1096 | #¡DIV/0! |
| 144 | 26/04/2009 | 1 | 24,0 | 3455,6 | | FEBRERO | 122,6 | 24,6 | | | |
| 144 | 27/04/2009 | 1 | 24,4 | 3518,4 | | MARZO | 2,6 | 24,4 | | | |
| 144 | 28/04/2009 | 3 | 23,2 | 3338,3 | ABRIL | 111,2 | 23,9 | | | | |
| 144 | 29/04/2009 | 3,2 | 23,4 | 3375,3 | MAYO | 300,4 | 23,4 | | | | |
| 144 | 30/04/2009 | 6 | 21,3 | 3065,2 | JUNIO | 116,4 | #¡VALOR! | | | | |
| 144 | 1/05/2009 | 0,2 | 22,9 | 3292,1 | JULIO | 11 | #¡VALOR! | | | | |
| 144 | 2/05/2009 | 15,4 | 22,5 | 3237 | AGOSTO | 79,6 | #¡VALOR! | | | | |
| 144 | 3/05/2009 | 7,6 | 22,8 | 3279,2 | SEPTIEMBRE | 241,4 | 22,3 | | | | |

Ilustración 3. Formato de datos estación UPB.

4.2.2 ESTACIONES SATELITALES

4.2.2.1 ESTACIÓN WEATHER UNDERGROUND

Weather Underground es una comunidad que facilita el acceso a datos meteorológicos a través de su página web, fue creada en 1993 y se considera el primer servicio meteorológico de internet; es un sistema privado, de acceso gratuito, creado para uso de la compañía The Weather Company, son pioneros en el uso de tecnologías para que la información pueda llegar

a cualquier persona que lo necesite. Posee un equipo de meteorólogos que a partir de la ciencia estudian los diferentes estados del clima y el cambio climático, utiliza informes de radar y satélites para determinar el estado de las condiciones del cielo; su misión es permitir que esta información climatológica sea accesible en cualquier lugar del planeta.

La comunidad es la encargada de compartir los datos del clima, cuentan con más de 250.000 personas que envían datos en tiempo real nutriendo la información del sistema y haciendo que los pronósticos sean únicos y verídicos. Su modelo de pronóstico está patentado, se conoce como BestForeCast [26] y funciona aprovechando el inmenso número de datos que recibe de su comunidad, por eso se considera un sistema dinámico que constantemente está en expansión. Entre sus características se encuentran, en cuanto a resolución espacial (pronósticos por área determinada) cuadrículas de 4 km; su resolución temporal de actualización de pronósticos se ejecuta cada 15 minutos; las fuentes de observación son estaciones personales de meteorología donde se hace un control de calidad, es decir, estaciones que cuenten con precisión como datos de aeropuerto o del mismo globo meteorológico; se encuentra disponible en todos los idiomas y en la mayoría de países cubriendo gran parte del mundo. A nivel internacional cuenta con información de más de 29.000 estaciones meteorológicas, incluyendo aproximadamente 6.000 estaciones que funcionan desde aeropuertos y más de 8.000 estaciones meteorológicas personales, es decir, estaciones que pueden instalarse en su propia casa con fácil instalación y configuración; y 16.000 estaciones MADIS (Sistema de Ingesta de Datos de Asimilación Meteorológica) [26].

En el sitio pueden encontrarse mapas de temperatura, identificadas con colores, mapas de radares de precipitación, sensores de visibilidad, mapa de contorno de vientos, índice de calor, humedad, pronóstico ultravioleta, imágenes satelitales infrarrojas de temperatura, entre otros. La

Ilustración 4 representa la captura de los datos que son extraídos desde este sistema satelital, cabe aclarar que permite hacer análisis de datos diarios, semanales y mensuales según el año que se abarque para el análisis, a su vez, presenta gráficos de estos mismos datos según la variable a trabajar, ver Gráfico 1.

| Date | Temperature | | | Dew Point | | | Humidity | | | Speed | | | Pressure | | Precip. Accum. |
|-----------|-------------|---------|---------|-----------|---------|---------|----------|------|------|----------|---------|---------|----------|----------|----------------|
| | High | Avg | Low | High | Avg | Low | High | Avg | Low | High | Avg | Low | High | Low | Sum |
| 9/1/2017 | 88.5 °F | 79.2 °F | 70.9 °F | 71.1 °F | 67.7 °F | 59.0 °F | 90 % | 70 % | 37 % | 18.6 mph | 2.5 mph | 0.0 mph | 30.09 in | 29.96 in | 0.00 in |
| 9/2/2017 | 89.8 °F | 79.2 °F | 71.6 °F | 73.0 °F | 68.9 °F | 61.9 °F | 92 % | 72 % | 41 % | 16.5 mph | 2.4 mph | 0.0 mph | 30.08 in | 29.70 in | 0.00 in |
| 9/3/2017 | 81.7 °F | 76.8 °F | 72.7 °F | 72.0 °F | 68.3 °F | 63.1 °F | 89 % | 76 % | 54 % | 15.2 mph | 1.9 mph | 0.0 mph | 30.11 in | 29.68 in | 0.00 in |
| 9/4/2017 | 87.3 °F | 76.5 °F | 70.2 °F | 78.1 °F | 67.6 °F | 58.8 °F | 98 % | 75 % | 41 % | 18.3 mph | 2.3 mph | 0.0 mph | 30.06 in | 29.95 in | 0.00 in |
| 9/5/2017 | 87.1 °F | 75.7 °F | 68.5 °F | 77.9 °F | 67.8 °F | 62.1 °F | 92 % | 78 % | 45 % | 19.9 mph | 2.3 mph | 0.0 mph | 30.08 in | 29.91 in | 0.00 in |
| 9/6/2017 | 86.9 °F | 76.9 °F | 70.0 °F | 71.4 °F | 68.1 °F | 59.0 °F | 92 % | 76 % | 40 % | 15.4 mph | 2.2 mph | 0.0 mph | 30.06 in | 29.68 in | 0.06 in |
| 9/7/2017 | 86.0 °F | 76.4 °F | 69.6 °F | 73.0 °F | 69.1 °F | 62.6 °F | 93 % | 79 % | 48 % | 18.3 mph | 3.0 mph | 0.0 mph | 30.07 in | 29.65 in | 0.07 in |
| 9/8/2017 | 80.8 °F | 73.9 °F | 70.0 °F | 73.2 °F | 69.6 °F | 67.1 °F | 96 % | 87 % | 66 % | 9.2 mph | 1.2 mph | 0.0 mph | 30.08 in | 29.63 in | 0.00 in |
| 9/9/2017 | 83.1 °F | 75.1 °F | 70.3 °F | 73.0 °F | 68.8 °F | 62.2 °F | 95 % | 82 % | 51 % | 17.5 mph | 2.6 mph | 0.0 mph | 30.04 in | 29.91 in | 0.00 in |
| 9/10/2017 | 82.9 °F | 75.5 °F | 69.8 °F | 72.5 °F | 68.8 °F | 63.7 °F | 94 % | 81 % | 54 % | 13.9 mph | 2.8 mph | 0.0 mph | 30.08 in | 29.70 in | 0.00 in |
| 9/11/2017 | 86.2 °F | 77.8 °F | 70.2 °F | 72.0 °F | 67.7 °F | 59.4 °F | 91 % | 73 % | 42 % | 18.6 mph | 3.5 mph | 0.0 mph | 30.07 in | 29.66 in | 0.00 in |
| 9/12/2017 | 85.8 °F | 77.2 °F | 71.6 °F | 74.8 °F | 69.2 °F | 63.3 °F | 94 % | 77 % | 50 % | 17.0 mph | 2.2 mph | 0.0 mph | 30.06 in | 29.94 in | 0.00 in |

Ilustración 4. Tabla de datos obtenidos de la estación Weather Underground.

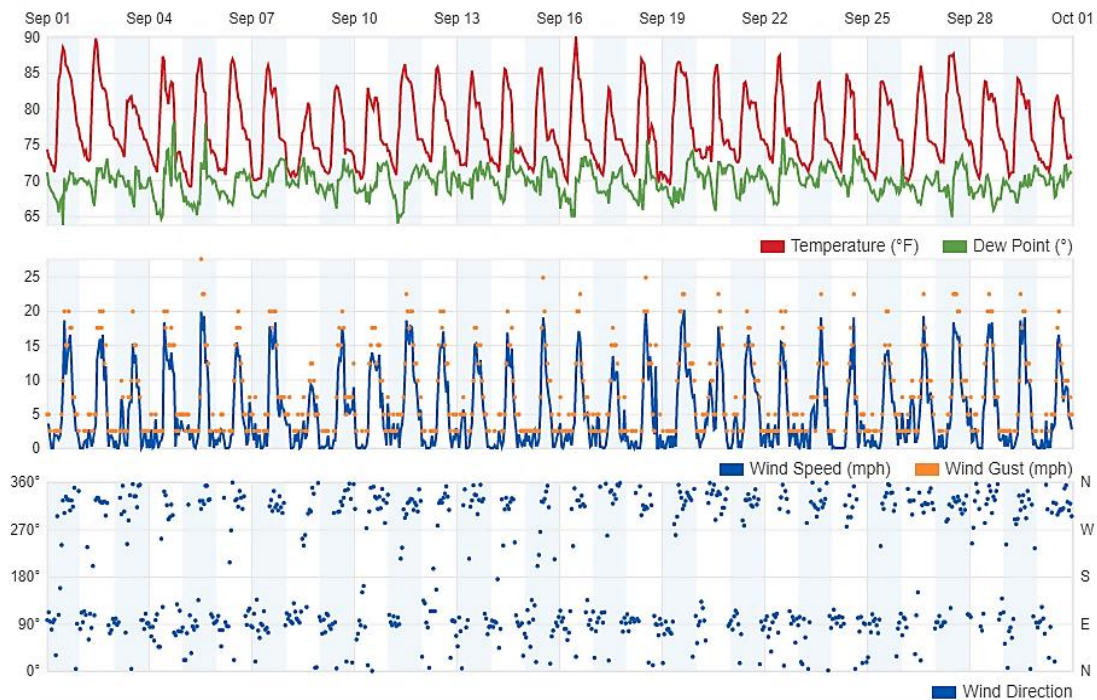


Gráfico 1. Gráfica de datos obtenidos de la estación Weather Underground.

Luego de realizar el filtro de la información suministrada, dejando solamente registros de fecha diaria, temperatura y precipitación, se puede ver en la Ilustración 5 la forma general en que se muestran los resultados en el formato de valores diarios, valores mensuales y anuales, sin embargo, en algunos meses como septiembre no hay

información completa de los días y el registro se reduce a la mitad o menos del total. Se incluye también el ID de la estación (ISANTAND30), la elevación (3291 msnm), el hardware (AMBIENT WEATHER WS-1400-IP (WIRELESS)), software (WH2600 VA.3.1), nombre de la estación (UPB PIEDECUESTA), departamento y municipio, estos datos son proporcionados desde la página.

| Valores Diarios | | | Valores Mensuales | | | Valores anuales | | | ID ESTACIÓN | | | | | |
|-----------------|--------------------|------------------|-------------------|------------|--------------------|---------------------------|------|--------------------|---------------------------|-----------|----------|----------|-------|-----------|
| FECHA | PRECIPITACIÓN (mm) | TEMPERATURA (°C) | AÑO | MES | PRECIPITACIÓN (mm) | TEMPERATURA PROMEDIO (°C) | AÑO | PRECIPITACIÓN (mm) | TEMPERATURA PROMEDIO (°C) | ELEVACION | HARDWARE | SOFTWARE | DEPTO | MUNICIPIO |
| 6/18/2015 | 0 | 24.56 | 2015 | JUNIO | 0.00 | 24.34 | 2015 | 156.46 | 24.28 | | | | | |
| 6/19/2015 | 0 | 24.33 | | JULIO | 0.51 | 24.06 | 2016 | 679.86 | 23.64 | | | | | |
| 6/20/2015 | 0 | 24.11 | | AGOSTO | 0.51 | 24.67 | 2017 | 383.57 | 22.58 | | | | | |
| 6/21/2015 | 0 | 23.72 | | SEPTIEMBRE | 3.05 | 24.46 | 2018 | 773.72 | 22.53 | | | | | |
| 6/22/2015 | 0 | 23.17 | | OCTUBRE | 0.00 | 24.03 | | | | | | | | |
| 6/23/2015 | 0 | 24.78 | | NOVIEMBRE | 142.24 | 23.58 | | | | | | | | |
| 6/24/2015 | 0 | 25.89 | | DICIEMBRE | 10.16 | 24.81 | | | | | | | | |
| 6/25/2015 | 0 | 24.89 | | ENERO | 56.90 | 24.89 | | | | | | | | |
| 6/26/2015 | 0 | 25.00 | | FEBRERO | 105.41 | 25.12 | | | | | | | | |
| 6/27/2015 | 0 | 23.78 | | MARZO | 244.25 | 25.19 | | | | | | | | |
| 6/28/2015 | 0 | 23.67 | | ABRIL | 0.00 | 23.99 | | | | | | | | |
| 6/29/2015 | 0 | 24.22 | | MAYO | 24.13 | 23.77 | | | | | | | | |
| 6/30/2015 | 0 | 24.28 | JUNIO | 1.52 | 23.36 | | | | | | | | | |
| 7/01/2015 | 0 | 25.11 | JULIO | 0.00 | 23.18 | | | | | | | | | |
| 7/02/2015 | 0 | 25.89 | AGOSTO | 14.73 | 21.52 | | | | | | | | | |
| 7/03/2015 | 0 | 25.72 | SEPTIEMBRE | 0.25 | 23.76 | | | | | | | | | |
| 7/04/2015 | 0 | 26.44 | OCTUBRE | 14.73 | 23.13 | | | | | | | | | |
| 7/05/2015 | 0 | 25.11 | NOVIEMBRE | 118.62 | 22.81 | | | | | | | | | |
| 7/06/2015 | 0 | 24.44 | DICIEMBRE | 99.31 | 22.31 | | | | | | | | | |
| 7/07/2015 | 0 | 23.22 | ENERO | 20.83 | 22.85 | | | | | | | | | |
| 7/08/2015 | 0 | 23.67 | FEBRERO | 63.25 | 22.92 | | | | | | | | | |
| 7/09/2015 | 0 | 24.78 | MARZO | 23.72 | 20.68 | | | | | | | | | |
| 7/10/2015 | 0 | 24.72 | ABRIL | 8.38 | 23.73 | | | | | | | | | |
| 7/11/2015 | 0 | 25.33 | MAYO | 1.02 | 22.44 | | | | | | | | | |
| 7/12/2015 | 0 | 24.67 | JUNIO | 2.03 | 22.92 | | | | | | | | | |
| 7/13/2015 | 0 | 24.50 | JULIO | 0.25 | 22.87 | | | | | | | | | |
| 7/14/2015 | 0 | 23.94 | AGOSTO | 1.02 | 22.40 | | | | | | | | | |
| 7/15/2015 | 0 | 23.06 | SEPTIEMBRE | 10.16 | 21.52 | | | | | | | | | |
| 7/16/2015 | 0 | 22.94 | OCTUBRE | 22.10 | 23.42 | | | | | | | | | |
| 7/17/2015 | 0 | 23.28 | NOVIEMBRE | 173.23 | 23.05 | | | | | | | | | |

Ilustración 5. Formato de datos estación Weather Underground.

Se evidencia en el formato de la Ilustración anterior y en la Tabla 2 que los datos en la estación Weather Underground comienzan desde junio del 2015, es decir, respecto a los datos de la UPB (que comienzan en 2009) hay un vacío de 6 años aproximadamente, razón por la cual no es seleccionada para el llenado de datos debido a que el lapso de tiempo es muy corto representando muy poca cantidad de datos para realizar el respectivo análisis. Las casillas que tienen en su interior una “equis” simbolizan las fechas en que se realizará la implementación de datos debido a la carencia de estos en la estación de la UPB, y las casillas en blanco representan el periodo de tiempo que la estación no registró ningún dato. De igual forma pueden compararse los resultados obtenidos de las metodologías de llenado en los últimos periodos de tiempo para comprobar su dispersión.

Tabla 2. Comparación del cronograma de registro de datos Estación UPB y Weather Underground.

| | | En | Feb | Mar | Abr | May | Jun | Jul | Ago | Sep | Oct | Nov | Dic |
|------|--------|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 2009 | UPB | | | | | | | | | | | | |
| | Est WU | | | | | | | | | | | | |
| 2010 | UPB | | | | | | | | | | | | |
| | Est WU | | | | | | | | | | | | |
| 2011 | UPB | | | | | | | | | | | | |
| | Est WU | | | | | | | | | | | | |
| 2012 | UPB | | | | | | | | | | | | |
| | Est WU | | | | | | | | | | | | |
| 2013 | UPB | | | | | | | | | | x | x | x |
| | Est WU | | | | | | | | | | | | |
| 2014 | UPB | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x |
| | Est WU | | | | | | | | | | | | |
| 2015 | UPB | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x |
| | Est WU | | | | | | | | | | | | |
| 2016 | UPB | x | x | x | | | | | | | | | |
| | Est WU | | | | | | | | | | | | |
| 2017 | UPB | | | | | | | | | | | | |
| | Est WU | | | | | | | | | | | | |
| 2018 | UPB | | | | | | | | | | | | |
| | Est WU | | | | | | | | | | | | |

4.2.2.2 ESTACIÓN NASA POWER

Durante muchos años, la NASA ha apoyado los sistemas satelitales fomentando la investigación de los registros de datos meteorológicos en el estudio del clima y sus procesos, POWER refiere a sus siglas en inglés de Prediction Of Worldwide Energy Resources ó en español, Predicción de los recursos energéticos mundiales, este proyecto es apoyado por el Programa de Ciencias Aplicadas de la NASA Earth Science y permite desde su página web, que cualquier usuario tenga conexión a los diferentes registros en el tiempo. Para la producción de series de tiempo largas, se usan diferentes modelos como el “Merra 2” y el “Geos 5.12.4” que inicia con el fin del anterior modelo que usaba la plataforma, además, con ayuda de la Oficina Global de Modelado y Asimilación (GMAO) se consigue información adicional sobre meteorología [27]. Este proyecto comienza con el fin de mejorar los datos actuales para crear nuevos conjuntos a partir de sistemas satelitales y principalmente se encuentra dirigido a las comunidades de energía renovable, edificios sostenibles y agro climatología.

En el valor de Meteorología de superficie y energía solar, el archivo proporciona parámetros específicos para ayudar en el diseño de sistemas que trabajen con energía solar y eólica o en su defecto energías renovables; el valor de Edificios Sostenibles se diseña con parámetros de promedios mensuales de varios años que sean afines con la industria; finalmente el valor de Agroclimatología da acceso a parámetros dentro de la industria que generen modelos de

cultivos contenidos en el DSS agrícola.

Con respecto a la forma de descargar los datos aparece el sistema *JSON* versión 1.0 que utiliza los estándares de las características *GeoJSON*, un formato de intercambio de datos geoespaciales basado en JavaScript Object Notation (*JSON*), sin embargo, este sistema ya fue reemplazado por RFC 7946. El formato *ASCII* presenta una salida basada en texto con información de encabezado y columna. El formato *CSV* proporciona valores separados por comas basados en texto que se pueden convertir rápidamente al formato Excel. El valor de *ICASA* versión 4.6 exporta los datos basados en la internet específicamente en los modelos de cultivos del Software del Sistema de apoyo a la decisión agrícola para la transferencia en la agrotecnología (*DSSAT*). El sistema *NETCDF* versión 4, que presenta un pronóstico del clima con versiones anteriores compatibles; y finalmente *GEOTIFF* como un formato referenciado de manera geoespacial.

Para acceder al sistema debe entrar a la página web y localizar geográficamente la ubicación que desea analizar, ver

Ilustración 6, esta ubicación es muy precisa y se ajusta al sistema de coordenadas en latitud y longitud, para conseguir los datos deben seguirse una serie de 7 pasos sencillos que se acomodan según la necesidad del usuario. Primero, se escoge la comunidad, a quien va dirigido, con el fin de filtrar los datos necesarios; en el paso 2 se elige un promedio temporal (*Diaria* que es un promedio diario por año; *interanual* que es un promedio mensual y anual por año; o *climatología* un promedio mensual a largo plazo); en el paso 3 se precisan las coordenadas escogidas de ubicación en el mapa. El paso 4 consiste en seleccionar el tiempo de extensión (fecha de inicio y fin) de los registros; en el paso 5 debe seleccionarse el formato de salida del archivo, puede ser (*ASCII*, *CSV*, *GeoJSON*, *NetCDF*) en nuestro caso se descargaron en las dos primeras opciones. El paso número 6 se seleccionan los parámetros meteorológicos necesarios, aquí se encuentran opciones generales de meteorología, radiación solar, paneles solares, aplicaciones térmicas, y dentro de ellas más subcategorías como precipitación, temperatura, humedad, presión, entre otros. Finalmente, el paso 7 se procede a aceptar y hacer la descarga de información en la ventana que aparece en el lado izquierdo.

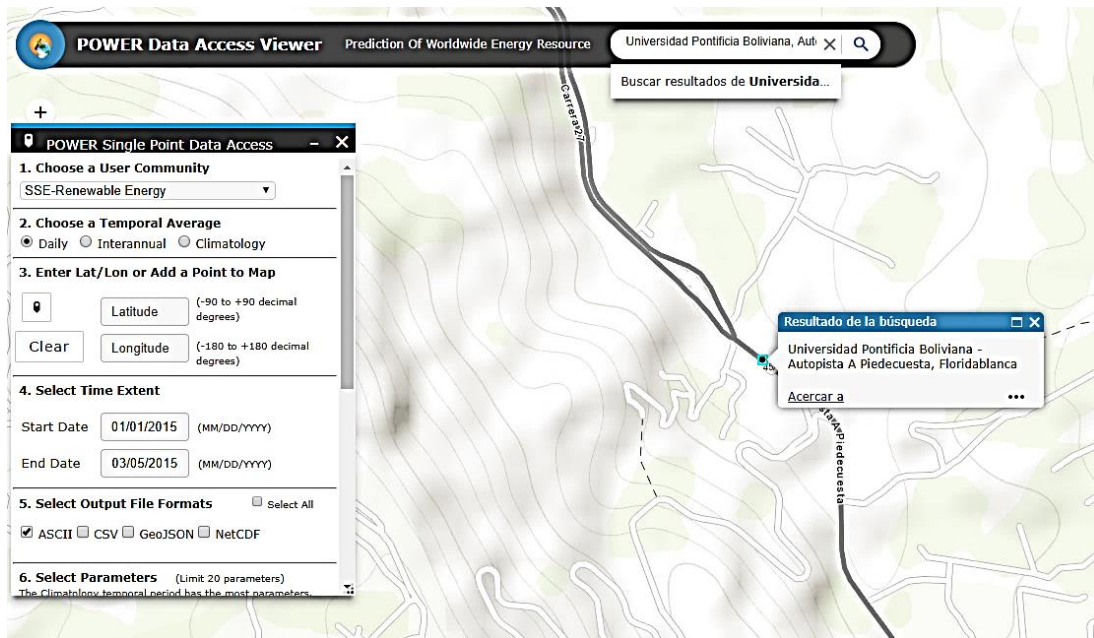


Ilustración 6. Localización dentro del Satélite Nasa Power.

Luego de usar los datos del programa, como puede verse en la Ilustración 7, desde la página web se hace aclaración y debe hacerse la siguiente referencia: “Estos datos se obtuvieron del Proyecto POWER del Centro de Investigación Langley de la NASA (LaRC) financiado a través del Programa de Ciencias de la Tierra / Ciencias Aplicadas de la NASA”. Adicionalmente, se encuentra un servicio de acceso a datos donde se explican las siglas y la manera en que funciona el sistema, ahí especifican que los archivos solicitados tienen una vigencia de 48 horas, después de ese periodo se debe realizar una nueva solicitud de los datos.

En esta misma Ilustración, se hace la aclaración del sistema que se usa, en este caso “Merra 2” y los datos que se obtienen de él, es decir, precipitación (mm), temperatura máxima, mínima y en rango de 2 metros satelitales (°C), presión (KPa), humedad (%), punto de rocío, entre otros. Cada variable posee su respectiva codificación al momento de extraer la tabla, en su orden: T2M_MAX, T2M_MIN, T2M_RANGE, PS, RH2M, T2MDEW, por eso es recomendada la claridad en la identificación de parámetros.

```

-BEGIN HEADER-
NASA/POWER SRB/FLASHflux/MERRA2/GEOS 5.12.4 (FP-IT) 0.5 x 0.5 Degree Daily Averaged Data
Dates (month/day/year): 01/01/2015 through 03/05/2015
Location: Latitude 7.0381 Longitude -73.0735
Elevation from MERRA-2: Average for 1/2x1/2 degree lat/lon region = 1377.03 meters Site = na
Climate zone: na (reference Briggs et al: http://www.energycodes.gov)
Value for missing model data cannot be computed or out of model availability range: -99
Parameter(s):
PRECTOT MERRA2 1/2x1/2 Precipitation (mm day-1)
T2M_RANGE MERRA2 1/2x1/2 Temperature Range at 2 Meters (C)
T2M MERRA2 1/2x1/2 Temperature at 2 Meters (C)
PS MERRA2 1/2x1/2 Surface Pressure (kPa)
RH2M MERRA2 1/2x1/2 Relative Humidity at 2 Meters (%)
T2MDEW MERRA2 1/2x1/2 Dew/Frost Point at 2 Meters (C)
T2M_MAX MERRA2 1/2x1/2 Maximum Temperature at 2 Meters (C)
T2M_MIN MERRA2 1/2x1/2 Minimum Temperature at 2 Meters (C)
T2MWET MERRA2 1/2x1/2 Wet Bulb Temperature at 2 Meters (C)
YEAR DOY PRECTOT RH2M PST2M_RANGE T2MDEW T2MWET T2M_MAX T2M_MIN T2M
- END HEADER-
2015 001 0.06 69.58 86.37 12.50 13.81 13.81 26.92 14.42 20.00
2015 002 0.19 70.26 86.41 11.87 13.91 13.91 26.66 14.78 19.89
2015 003 0.17 69.85 86.42 11.48 13.81 13.81 26.55 15.07 19.85
2015 004 0.02 68.39 86.46 11.97 13.69 13.69 27.04 15.07 20.05
2015 005 0.00 63.94 86.51 13.13 12.04 12.04 27.10 13.97 19.54
2015 006 0.00 61.73 86.45 13.38 10.85 10.85 26.61 13.23 18.93
2015 007 0.00 66.96 86.34 14.16 13.04 13.04 26.99 12.82 19.69
2015 008 0.00 66.57 86.40 11.68 14.22 14.22 27.22 15.54 20.97

```

Ilustración 7. Datos obtenidos de la estación Nasa Power.

Luego de organizar los datos y acomodarlos al formato Excel, se tiene la Ilustración 8, con valores diarios, mensuales y anuales de precipitación y temperatura promedio. Se encuentran los períodos de años completos desde el 2009 hasta el 2018.

| Valores Diarios | | | Valores Mensuales | | | | Valores anuales | | | |
|-----------------|--------------------|------------------|-------------------|------------|--------------------|---------------------------|-----------------|--------------------|---------------------------|-------|
| FECHA | PRECIPITACIÓN (mm) | TEMPERATURA (°C) | AÑO | MES | PRECIPITACIÓN (mm) | TEMPERATURA PROMEDIO (°C) | AÑO | PRECIPITACIÓN (mm) | TEMPERATURA PROMEDIO (°C) | |
| 16/04/2009 | 4,53 | 21,68 | 2009 | ABRIL | 23,03 | 22,2 | 2009 | 774,35 | 22,05 | |
| 17/04/2009 | 1,29 | 22,27 | | MAYO | 118,98 | 21,5 | 2010 | 2118,97 | 21,48 | |
| 18/04/2009 | 4,11 | 21,88 | | JUNIO | 109,64 | 21,5 | 2011 | 1841,57 | 20,33 | |
| 19/04/2009 | 0,9 | 21,44 | | JULIO | 103,27 | 21,9 | 2012 | 1430,78 | 20,90 | |
| 20/04/2009 | 2,79 | 22,92 | | AGOSTO | 88,46 | 22,4 | 2013 | 1471,05 | 21,28 | |
| 21/04/2009 | 5,54 | 22,11 | | SEPTIEMBRE | 34,94 | 23,2 | 2014 | 1191,64 | 21,77 | |
| 22/04/2009 | 2,02 | 21,11 | | OCTUBRE | 117,99 | 22,2 | 2015 | 952,42 | 22,42 | |
| 23/04/2009 | 1,01 | 22,02 | | NOVIEMBRE | 109,7 | 21,4 | 2016 | 1217,19 | 22,34 | |
| 24/04/2009 | 0,11 | 22,02 | | DICIEMBRE | 68,34 | 22,0 | 2017 | 1461,94 | 21,21 | |
| 25/04/2009 | 0,13 | 22,62 | | 2010 | ENERO | 7,6 | 23,2 | 2018 | 1380,34 | 21,13 |
| 26/04/2009 | 0,12 | 22,73 | | | FEBRERO | 56,01 | 24,7 | | | |
| 27/04/2009 | 0,05 | 23,63 | | | MARZO | 70,85 | 23,9 | | | |
| 28/04/2009 | 0,07 | 22,88 | ABRIL | | 109,39 | 22,9 | | | | |
| 29/04/2009 | 0,24 | 22,77 | MAYO | | 234,22 | 21,8 | | | | |
| 30/04/2009 | 0,12 | 20,64 | JUNIO | | 207,94 | 21,0 | | | | |
| 1/05/2009 | 0,08 | 22,35 | JULIO | | 182,71 | 20,4 | | | | |
| 2/05/2009 | 3,6 | 21,36 | AGOSTO | | 293,72 | 20,6 | | | | |
| 3/05/2009 | 36,92 | 20,39 | SEPTIEMBRE | | 247,32 | 20,0 | | | | |

Ilustración 8. Formato de datos estación NASA POWER.

Los datos obtenidos fueron comparados también satelitalmente en la ubicación de la estación del Ideam Piedecuesta Granja, obteniendo resultados similares respecto a los valores de precipitación en el tiempo analizado desde abril del 2009 hasta diciembre del 2018, esto verifica que los sensores que captan las imágenes brindan mediciones en rangos amplios que permite poner ambas locaciones dentro de la misma rejilla de estudio o muy cercana a ella, y hacer que sus datos se diferencien en valores mínimos como puede verse en el Gráfico 2 donde el color azul representa la precipitación de la estación del Ideam Piedecuesta Granja en datos obtenidos por el satélite NasaPower, y el color rojo la precipitación de la estación ubicada dentro de la Universidad Pontificia Bolivariana en los valores obtenidos por el mismo método satelital.

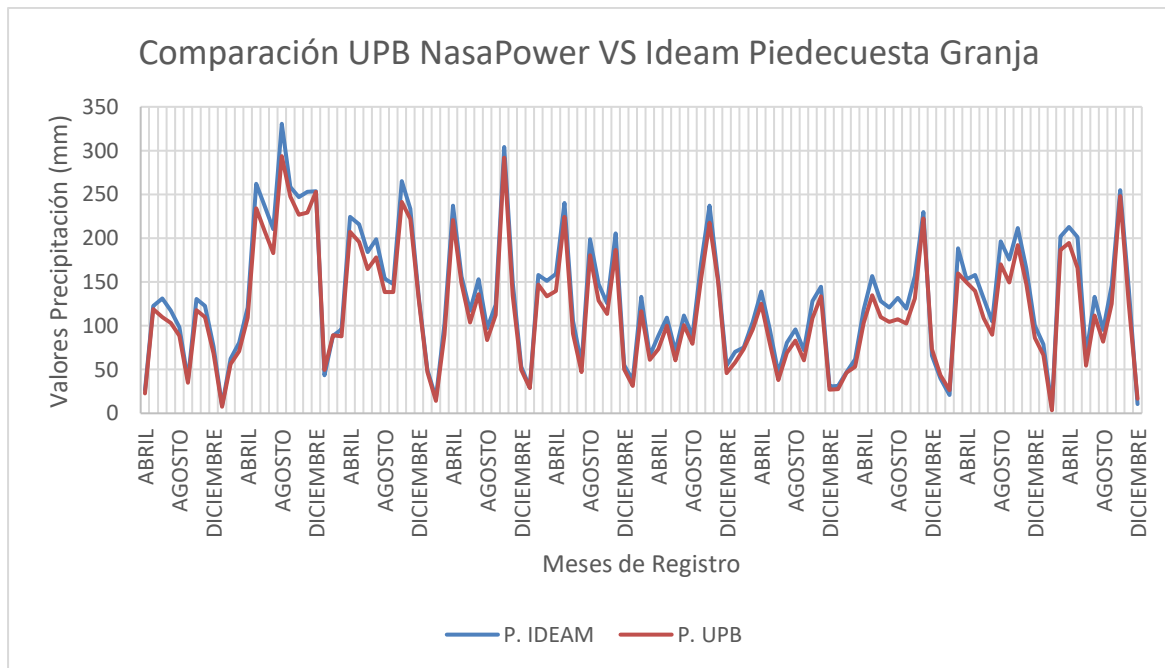


Gráfico 2. Comparación de datos NasaPower UPB y Estación Ideam Piedecuesta Granja

4.2.3 ESTACIÓN IDEAM

El IDEAM, Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, es una institución colombiana de carácter público, encargada de todos los estudios ambientales, hidrológicos y climatológicos del país, sirve de apoyo científico en el Sistema Ambiental brindando información a la ciudadanía en general con estaciones localizadas en diferentes partes del país. Algunas variables que registran las estaciones meteorológicas son: temperatura ambiente ($^{\circ}\text{C}$), velocidad del viento, humedad relativa, precipitación (mm), dirección del viento, presión atmosférica y radiación global. [28]

Para solicitar la información debe accederse al sitio web, crear un usuario y hacer la solicitud a partir de los códigos de cada estación registrada en el IDEAM, luego deben escogerse las variables, ver Ilustración 9, y el tiempo en el cual se hará la solicitud, finalmente, se deben esperar 15 días mientras hay respuesta a la solicitud en el correo de manera gratuita según la Ley 1712 del 2014. Los datos se envían a través de un formato similar a txt, ver Ilustración 10; **Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, de ahí pueden exportarse a Excel para mayor comodidad. Cabe aclararse que existen diferentes tipos de estaciones, tales como limnigráfica, pluviométrica, pluviográfica, climatológica principal, entre otras, y cada una posee

diferentes tipos de datos, es decir, todas no registran la misma información, además, muchas de ellas se encuentran suspendidas o activas.

Resultados de Búsqueda

| Código | Nombre | Corriente | Elevación | Municipio | Tipo |
|--------|-------------------------|-----------|-----------|-----------|--------------|
| 2036 | PIEDRECUESTA [23197190] | DE ORO | 602.0 | | Limnimétrica |

| Parámetro | Periodicidad | Desde | Hasta |
|---|----------------|---------|---------|
| <input type="checkbox"/> Caudales máximos (m3/seg) | --Seleccione-- | - mes - | - año - |
| <input type="checkbox"/> Caudales Medios (m3/seg) | --Seleccione-- | - mes - | - año - |
| <input type="checkbox"/> Caudales mínimos (m3/seg) | --Seleccione-- | - mes - | - año - |
| <input type="checkbox"/> Concentración sedimentos máximos | --Seleccione-- | - mes - | - año - |
| <input type="checkbox"/> Concentración sedimentos medios | --Seleccione-- | - mes - | - año - |
| <input type="checkbox"/> Concentración sedimentos mínimos | --Seleccione-- | - mes - | - año - |
| <input type="checkbox"/> Granulometría | --Seleccione-- | - mes - | - año - |
| <input type="checkbox"/> Nivel del mar - alturas horarias (anual) 12 datos | --Seleccione-- | - mes - | - año - |
| <input type="checkbox"/> Nivel del mar - alturas horarias (mensual) entre 672 a 744 datos | --Seleccione-- | - mes - | - año - |
| <input type="checkbox"/> Nivel del mar - horas y alturas (mensual) 4 datos/ día por número días mes | --Seleccione-- | - mes - | - año - |
| <input type="checkbox"/> Niveles horarios de nivel (nivinco lecturas de mira) | --Seleccione-- | - mes - | - año - |
| <input type="checkbox"/> Niveles máximos (cm) | --Seleccione-- | - mes - | - año - |
| <input type="checkbox"/> Niveles medios (cm) | --Seleccione-- | - mes - | - año - |
| <input type="checkbox"/> Niveles mínimos (cm) | --Seleccione-- | - mes - | - año - |
| <input type="checkbox"/> Perfil transversal | --Seleccione-- | - mes - | - año - |

Ilustración 9. Solicitud de información al IDEAM, estación Piedecuesta.

IDEAM - INSTITUTO DE HIDROLOGIA, METEOROLOGIA Y ESTUDIOS AMBIENTALES

VALORES TOTALES MENSUALES DE PRECIPITACION (mms)

SISTEMA DE INFORMACION NACIONAL AMBIENTAL

FECHA DE PROCESO : 2019/08/26

LATITUD 0659 N TIPO EST PG DEPTO SANTANDER ESTACION : 23190700 PIEDRECUESTA GJA

LONGITUD 7304 W ENTIDAD 01 IDEAM MUNICIPIO PIEDRECUESTA FECHA-INSTALACION 1970-JUL

ELEVACION 1000 m.s.n.m REGIONAL 08 SANTANDERES CORRIENTE LATO FECHA-SUSPENSION

| AÑO | EST | ENT | ENERO | FEBRE | MARZO | ABRIL | MAYO | JUNIO | JULIO | AGOST | SEPTI | OCTUB | NOVIE | DICIE | VR ANUAL |
|------|-----|-----|--------|-------|-------|-------|-------|-------|---------|-------|---------|-------|-------|-------|----------|
| 1970 | 2 | 01 | | | | | | | * | 50.0 | 100.0 | 249.5 | 220.0 | 21.0 | 640.5 3 |
| 1971 | 2 | 01 | 98.0 | 298.0 | 129.0 | 127.0 | 256.0 | 32.0 | 80.0 | 122.0 | 65.0 | 328.5 | 174.0 | 108.5 | 1818.0 |
| 1972 | 2 | 01 | 79.5 | 126.5 | 98.5 | 158.0 | 254.5 | 84.0 | 48.0 | 87.0 | 75.0 | 120.0 | 157.5 | 63.0 | 1351.5 |
| 1973 | 2 | 01 | 23.0 | 77.0 | 44.5 | 109.5 | 53.0 | 62.5 | 62.5 | 80.5 | 193.0 3 | 236.5 | 181.8 | 121.5 | 1245.3 3 |
| 1974 | 2 | 01 | 72.7 | 126.5 | 357.5 | 283.6 | 91.2 | 67.2 | 33.9 | 62.7 | 83.4 | 265.6 | 151.7 | 36.2 | 1632.2 |
| 1975 | 2 | 01 | 22.8 | 97.1 | 192.2 | 148.1 | 248.8 | 61.2 | 81.3 | 69.3 | 117.6 | 119.2 | 291.7 | 200.9 | 1650.2 |
| 1976 | 2 | 01 | 143.6 | 266.9 | 188.7 | 115.7 | 85.7 | 79.7 | 163.2 | 153.8 | 73.8 | 236.0 | 65.2 | 62.8 | 1635.1 |
| 1977 | 2 | 01 | 138.8 | 150.2 | 98.8 | 141.5 | 196.0 | 120.2 | 131.9 | 52.4 | 125.3 | 92.2 | 157.6 | 52.5 | 1457.4 |
| 1978 | 2 | 01 | 29.1 | 144.5 | 199.6 | 213.9 | 132.8 | | 32.4 | 97.0 | 90.6 | 129.6 | 61.7 | 26.7 | 1157.9 3 |
| 1979 | 2 | 01 | 103.8 | 99.2 | 167.1 | 231.0 | 121.4 | 124.5 | 89.5 | 112.5 | 67.6 | 179.6 | 209.9 | 60.5 | 1566.6 |
| 1980 | 2 | 01 | 78.7 | 74.7 | 246.7 | 174.8 | 202.5 | 173.6 | 51.9 | 99.6 | 113.4 | 127.1 | 136.1 | 116.6 | 1595.7 |
| 1981 | 2 | 01 | 118.4 | 98.2 | 89.3 | 245.7 | 205.5 | 94.3 | 59.4 | 164.5 | 167.8 | 220.2 | 121.7 | 37.1 | 1622.1 |
| 1982 | 2 | 01 | | | | | | 41.1 | | 147.4 | 182.6 | 124.1 | 30.5 | 53.6 | 579.3 3 |
| 1983 | 2 | 01 | 83.9 | 55.3 | 54.2 | 89.1 | 192.7 | 120.8 | 56.3 | 80.6 | 72.3 | 166.3 | 73.8 | 108.7 | 1154.0 |
| 1984 | 2 | 01 | 18.8 3 | 61.7 | 92.9 | 162.4 | 141.3 | 99.0 | 122.3 3 | 148.3 | 170.4 | 235.9 | 203.6 | 13.2 | 1469.8 3 |
| 1985 | 2 | 01 | 73.5 | 4.5 | 175.9 | 161.9 | 60.5 | 54.9 | 36.9 | 44.0 | 194.7 | 187.7 | 98.1 | 50.3 | 1142.9 |
| 1986 | 2 | 01 | 32.9 | 204.8 | 215.6 | 251.9 | 159.3 | 35.4 | 37.2 | 95.0 | 204.2 | 261.9 | 76.7 | 45.4 | 1620.3 |
| 1987 | 2 | 01 | 95.6 | 56.1 | 162.1 | 157.8 | 182.3 | 52.0 | 159.8 | 92.9 | 79.1 | 149.6 | 59.4 | 27.6 | 1274.3 |
| 1988 | 2 | 01 | 99.4 | 255.4 | 66.8 | 83.0 | 126.4 | 202.9 | 157.3 | 155.1 | 129.0 | 178.0 | 171.5 | 117.8 | 1742.6 |

Ilustración 10. Datos Obtenidos desde el IDEAM de la estación Piedecuesta.

Las series meteorológicas completas son parte fundamental para la gestión y modelamiento de los recursos hídricos. Sin embargo, en entornos con escasez de medición, la información disponible independientemente de su continuidad temporal puede representar una fuente valiosa que debe ser aprovechada. Diferentes metodologías para el llenado de información hidrometeorológica han sido propuestas pero el éxito en la implementación de cada una depende específicamente del contexto en estudio [16].

Para escoger la estación debe tenerse en cuenta la cercanía en relación con la ubicación de la Universidad Pontificia Bolivariana, vía Piedecuesta; paralelamente, la altitud de la estación forma parte de los parámetros importantes, en este caso se trabajará en un rango de más o menos 100 msnm por encima, y debajo, de los 1000 msnm que posee la universidad. Algunas estaciones a pesar de que se encuentran activas no poseen registros de algunos años, otras por su parte no cumplen con el requisito de altitud ni tampoco poseen datos de precipitación y temperatura que son los que se analizarán en este trabajo, las estaciones no utilizadas refieren la Tabla 3 y se organizan según al municipio que pertenecen.

Según las estaciones analizadas se encontraron cinco diferentes tipos de registro de datos:

- **Pluviográfica:** Se caracteriza por registrar mecánica y de manera continua datos de precipitación en gráficas que identifican la cantidad, intensidad, duración y el periodo en que ocurrió la lluvia; en la actualidad se utilizan los pluviógrafos de diario registro [28].
- **Pluviométrica:** Estación meteorológica que consta de un pluviómetro que registra la cantidad de lluvia caída entre dos observaciones consecutivas.
- **Limnimétrica:** Encargada de determinar caudales, con frecuencia de 2 veces diarias, a través de lecturas periódicas en una regla graduada por un observador [28].
- **Climática Principal:** Sus parámetros se obtienen de registradores, normalmente tres observaciones diarias de precipitación, temperatura, radiación solar, brillo solar, estado del suelo, evaporación, visibilidad, cantidad de nubes, entre otros. Es la más completa.
- **Climática Ordinaria:** Es obligatorio un pluviómetro, pluviógrafo o psicrómetro que mida lluvias y temperaturas instantáneas y extremas.

- **Sinóptica Secundaria:** Estación meteorológica que registra en horas convenidas a nivel internacional los datos de común visibilidad a nubosidad, estado del suelo, precipitación, temperatura, humedad del aire y viento.

En la búsqueda de estaciones dentro de la página web del IDEAM se encontraron aproximadamente 36 estaciones ubicadas dentro del sector de estudio, sin embargo, esto no significa que estén activas o que posean un registro completo de datos, es más, algunas no poseen las variables que se analizarán dentro del proyecto. La Tabla 3, muestra 30 estaciones que no fueron utilizadas caracterizadas por municipios así: 9 en Piedecuesta, 12 en Floridablanca, 8 en Bucaramanga, 1 en Lebrija y 1 en Santa Bárbara, esta última estación se encuentra excedida en valores de altitud pero servirá de comparación con los datos de las demás estaciones; se asocian datos de codificación, nombre, corriente a la que pertenece, elevación, tipo, estado y observación del porqué no fue utilizada dentro de la investigación. Además, la estación de la Universidad Industrial de Santander no fue utilizada debido a la distancia de separación comparada con la ubicación de la Universidad Pontificia Bolivariana, no se tuvo en cuenta el valor de elevación aclarando que se encuentra dentro del rango.

Tabla 3. Estaciones Cercanas del IDEAM, no utilizadas.

| Código | Estación | Corriente | Elevación (msnm) | Tipo | Estado | Observación |
|--------------------|-------------|-----------|------------------|---------------|------------|---|
| PIEDECUESTA | | | | | | |
| 23190430 | Piedecuesta | Lato | 1000 | Pluviográfica | Activa | Los registros de información van desde 1969 hasta 1971, no posee datos dentro del periodo de tiempo a estudio. |
| 23197190 | Piedecuesta | De oro | 602 | Limnimétrica | Suspendida | Los registros de información van desde 1967 hasta 1969, no posee datos dentro del periodo de tiempo a estudio. Además, el tipo de estación no |

| | | | | | | |
|----------------|-----------------------|---------|------|------------------------|------------|--|
| | | | | | | posee datos de precipitación y temperatura. |
| 23197430 | El conquistador | De oro | 1000 | Limnimétrica | Suspendida | Los registros de información van desde 1978 hasta 2017, el tipo de estación no posee datos de precipitación y temperatura. |
| 23197710 | PiedeCuestana | Río Oro | 1096 | Limnimétrica | Activa | Los registros de información van desde 1967 hasta 2019, el tipo de estación no posee datos de precipitación y temperatura. |
| 23190330 | BuenaVista | Lato | 1020 | Pluviométrica | Suspendida | Los registros de información van desde 1967 hasta 1971, no posee datos dentro del periodo de tiempo a estudio. |
| 231950006 5 | Granja Piedecuesta | N/A | 949 | Climática Principal | Activa | No hay registros de información de esta estación, su año de instalación fue en el 2017. |
| 23195020 | Piedecuesta Granja | N/A | 990 | Climática Ordinaria | Suspendida | No hay registros de información de esta estación, su año de instalación fue en el 1937 y su suspensión en 1945. |
| 23197600 | Proandes | N/A | 1000 | Limnimétrica | Activa | No hay registros de información de esta estación, su año de instalación fue en el 1982. Su categoría tampoco contiene datos para la relación |

| | | | | | | |
|----------------------|----------------|--------|------|------------------------|------------|---|
| | | | | | | del trabajo. |
| 23197190 | Piedecuesta | De oro | 602 | Limnimétrica | Suspendida | Los registros de información van desde 1967 hasta 1969, no posee datos dentro del periodo de tiempo a estudio. Además, el tipo de estación no posee datos de precipitación y temperatura. |
| FLORIDABLANCA | | | | | | |
| 23190790 | Club Campestre | N/A | 940 | Pluviográfica | Activa | No hay registros de información de esta estación, su año de instalación fue en 1982. |
| 23190270 | Limoncito | N/A | 820 | Pluviométrica | Suspendida | No hay registros de información de esta estación, su año de instalación fue en el 1967 y su suspensión en 1971. |
| 231950004 3 | Floridablanca | N/A | 980 | Climática Principal | Activa | No hay registros de información de esta estación, su año de instalación fue en el 2018. |
| 23197200 | Pte Bucarica | N/A | 950 | Limnimétrica | Suspendida | No hay registros de información de esta estación, su año de instalación fue en el 1967 y su suspensión en 1969. |
| 23190640 | Miporal | N/A | 1200 | Pluviométrica | Activa | No hay registros de información de esta estación, su año de instalación fue |

| | | | | | | |
|----------|---------------|------|------|---------------|------------|---|
| | | | | | | en el 1967. |
| 23190170 | Floridablanca | N/A | 860 | Pluviométrica | Activa | No hay registros de información de esta estación, su año de instalación fue en el 1958. |
| 23190630 | La Loma | N/A | 1400 | Pluviométrica | Activa | No hay registros de información de esta estación, su año de instalación fue en el 1967. |
| 23197450 | Canal 2 | N/A | 925 | Limnimétrica | Suspendida | No hay registros de información de esta estación, su año de instalación fue en el 1978 y su suspensión en 1981. |
| 23197440 | Canal 1 | N/A | 925 | Limnimétrica | Suspendida | No hay registros de información de esta estación, su año de instalación fue en el 1978 y su suspensión en 1981. |
| 23197460 | La Esperanza | Frío | 1050 | Limnimétrica | Suspendida | No hay registros de información de esta estación, su año de instalación fue en el 1977 y su suspensión en 2006. |
| 23190850 | Caracolí | N/A | 1100 | Pluviométrica | Activa | No hay registros de información de esta estación, su año de instalación fue en el 2004. |
| 23197590 | Carabineros | N/A | 900 | Limnimétrica | Activa | No hay registros de información de esta estación, su año de instalación fue |

| | | | | | | |
|--------------------|-----------------------|--------|------|----------------------|------------|--|
| | | | | | | en el 1982. |
| BUCARAMANGA | | | | | | |
| 23190730 | La Flora | N/A | 1100 | Pluviográfica | Activa | No hay registros de información de esta estación, su año de instalación fue en 1979. |
| 23195230 | Neomundo | N/A | 970 | Climática Principal | Activa | No hay registros de información de esta estación, su año de instalación fue en 2005. |
| 23190800 | Himat R-11 | De Oro | 1100 | Pluviométrica | Suspendida | Los registros de información van desde 1984 hasta 1989, su año de suspensión fue en 1989. |
| 23197510 | Ladrillera | N/A | 880 | Limnimétrica | Activa | No hay registros de información de esta estación, su año de instalación fue en el 1981. |
| 23190040 | Bucaramanga | N/A | 1018 | Pluviométrica | Activa | No hay registros de información de esta estación, su año de instalación fue en 1953. |
| 23190720 | Telecom | N/A | 950 | Pluviográfica | Activa | No hay registros de información de esta estación, su año de instalación fue en 1979. |
| 23195030 | Aeropuerto Gómez Niño | De Oro | 931 | Sinóptica Secundaria | Suspendida | Los registros de información van desde 1940 hasta 1974, no posee datos dentro del periodo de tiempo a estudio. |
| 23195010 | San Pedro | N/A | 1018 | Climática | Suspendida | No hay |

| | | | | | | |
|----------------------|-------------------------------------|--------|------|-------------------------|------------|---|
| | Claver | | | Ordinaria | | registros de información de esta estación, su año de instalación fue en 1922 y su suspensión en 1937. |
| 23195040 | Universidad Industrial de Santander | Tona | 1018 | Climatológica Principal | Suspendida | Los registros de información van desde 1857 hasta 2015, cuando se pidió la información al IDEAM solamente se registraron 4 meses del año 2014 de precipitación. |
| LEBRIJA | | | | | | |
| 23197580 | La Batea | N/A | 1100 | Limnimétrica | Activa | No hay registros de información de esta estación, su año de instalación fue en 1982. |
| SANTA BÁRBARA | | | | | | |
| 24030330 | El Tope | Umpalá | 2050 | Pluviométrica | Activa | Los registros de información van desde 1858 hasta 2019, solamente hay registros de precipitación pero no de temperatura. |

Las estaciones que si aprobaron los parámetros de ubicación y altitud son 4, además presentan un registro de datos dentro de la fecha de análisis (2009-2018) y pueden evidenciarse en la Tabla 4. La ubicación por municipios es así: 1 en Piedecuesta, 1 en Girón, y 2 en Bucaramanga.

Tabla 4. Estaciones Cercanas del IDEAM, utilizadas.

| Código | Estación | Corriente | Elevación (msnm) | Tipo | Estado | Observación |
|--------------------|--------------------|---------------------|------------------|---------------|--------|---|
| PIEDECUESTA | | | | | | |
| 23190700 | Piedecuesta Granja | Lato | 1000 | Pluviográfica | Activa | Los registros de información van desde 1970 hasta 2019, solamente hay registros de precipitación, pero no de temperatura. |
| BUCARAMANGA | | | | | | |
| 23190590 | La Floresta | Quebrada la iglesia | 925 | Pluviográfica | Activa | Los registros de información van desde 1978 hasta 2019, solamente hay registros de precipitación, pero no de temperatura. |
| 23190830 | Bucaramanga IDEAM | Surata | 1025 | Pluviográfica | Activa | Los registros de información van desde 1996 hasta 2019, solamente hay registros de precipitación, pero no de temperatura. |
| GIRÓN | | | | | | |
| 23190280 | Palogordo | De Oro | 950 | Pluviométrica | Activa | Los registros de información van desde 1967 hasta 2019, solamente hay registros de precipitación, pero no de temperatura. |

Se debe analizar la distancia de la ubicación de las estaciones del IDEAM comparadas con la estación de la UPB, para realizar esta medición se procede a utilizar la herramienta Google Earth, y se toma una medida aproximada. La estación de Piedecuesta Granja refleja una distancia de 5,035 metros, ver Ilustración 11. Esto se realizó con las otras tres estaciones obteniendo los datos contemplados en la Ilustración 12 y la Tabla 5 que también incluye la diferencia de altitud tomando como base 1000 msnm que es equivalente a la ubicación de la universidad. De esta tabla se proceden a no seleccionar las dos estaciones de Bucaramanga (La Floresta e Ideam Bucaramanga) y la estación de Girón (Palogordo) ya que su distancia es muy alejada a la estación de estudio, además la diferencia de altura es representativa teniendo en cuenta que Santander es una región donde las características orográficas determinan los

factores de precipitación otorgando gran variabilidad a este fenómeno climático, sin embargo, algunas de estas estaciones se usarán para encontrar los sesgos y aplicación en las metodologías para el llenado de datos.

Se concluye que la estación Piedecuesta Granja, con base a la estación UPB, al no poseer diferencia de altura y estar cerca en relación con la distancia es la más apta para trabajar y comparar los métodos de llenado de datos, además cuenta con características similares por estar dentro de la zona.

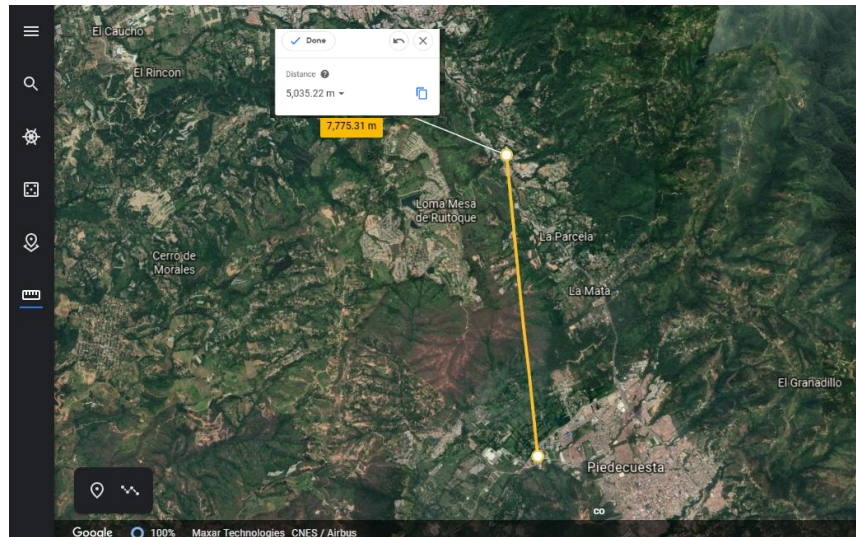


Ilustración 11. Distancia entre la estación Piedecuesta Granja y UPB, Google Earth.

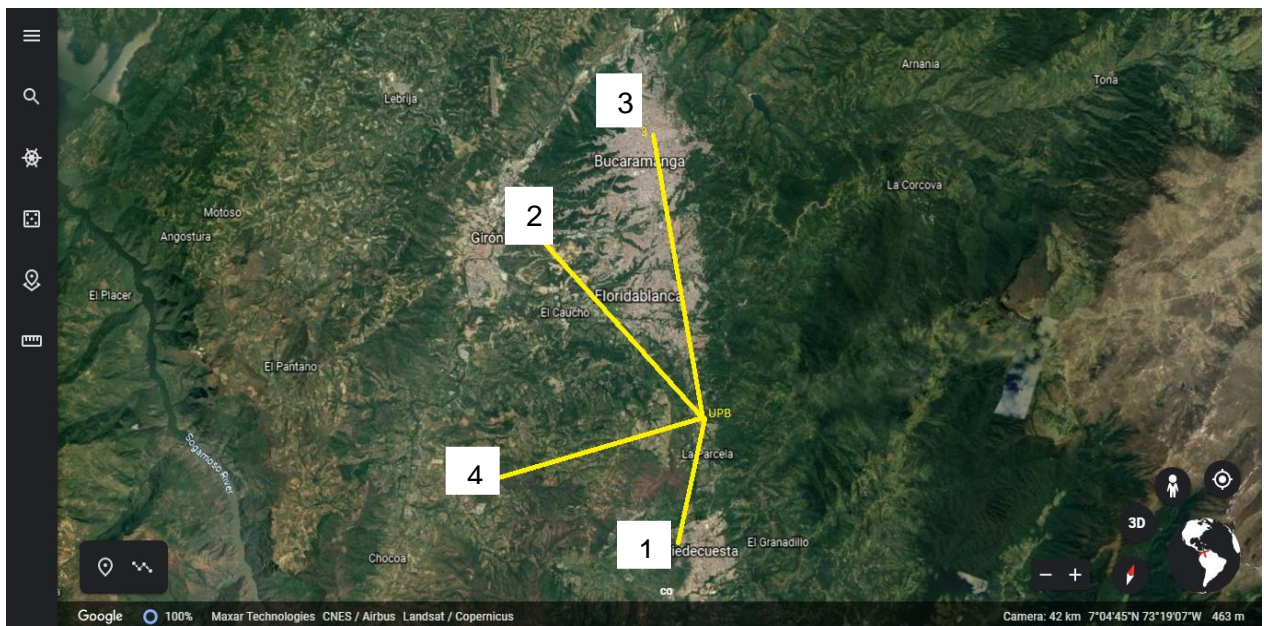


Ilustración 12. Ubicación de las 4 estaciones en el mapa.

Tabla 5. Valores de distancia y altitud entre estaciones comparados con la estación UPB.

| Nombre | Distancia | Diferencia de Elevación (UPB) |
|--------------------|-----------|-------------------------------|
| Piedecuesta Granja | 5,035 m | 0 msnm |
| La Floresta | 8,090 m | 75 msnm |
| Bucaramanga IDEAM | 11,177 m | 25 msnm |
| Palogordo | 11,50 m | 50 msnm |

La pregunta que surgirá ahora luego de conocer las ubicaciones y sus respectivos valores de distancia y altitud es ¿Por qué no se tienen en cuenta otras estaciones más cercanas a la de la UPB?; como respuesta se puede decir que basándonos en la Tabla 3, son muchas las estaciones del IDEAM que serían ideales para trabajar por su cercanía y similitud en las características del entorno, sin embargo, la mayoría de estas estaciones se encuentran suspendidas o no poseen registro de información respecto al lapso de tiempo analizado y sus variables como precipitación y temperatura. Por esta razón y sin pasar por alto que las estaciones viables se distribuyen en diferentes municipios del área metropolitana de Bucaramanga donde varían los parámetros estudiados, se complementa el análisis para garantizar más exactitud a partir de datos satelitales desde Nasa Power con localización de la estación de la universidad y también alrededor de la estación Ideam Piedecuesta Granja localizada en el municipio de Piedecuesta. Teniendo claridad con las estaciones que se van a trabajar con sus respectivos argumentos se procede a realizar la corrección de sesgo.

4.3 CORRECCIÓN DE SESGO

Para la corrección del sesgo se trabajarán dos estaciones del Ideam, la primera es la Granja Piedecuesta ubicada en ese mismo municipio y la segunda se seleccionó teniendo en cuenta la ubicación más cercana. Los datos satelitales obtenidos por la Nasa son tomados en el mismo punto donde se encuentra la estación, sin embargo, a la fuente de datos proporcionada por el Ideam debe hacerse una relocalización de la estación a partir del método IDW mediante la corrección del sesgo, esto permite trasladar los datos obtenidos de las estaciones al mismo punto de estudio para disminuir el margen de error que pueda presentarse.

Para comenzar debe obtenerse una gráfica que compare los valores de precipitación, en este caso mensuales dentro de las fechas de estudio con base a la estación de la universidad, frente a las estaciones del Ideam que pueden ser utilizadas dentro del mismo periodo de tiempo, ver

Gráfico 3; deben buscarse las estaciones cuya gráfica tenga la mayor similitud posible

comparada con la estación UPB (color azul oscuro). En vista que puede evidenciarse la dificultad de seleccionar un criterio por sus mínimas variaciones, se decide aplicar el coeficiente de determinación (r cuadrado) para que permita a partir de un valor numérico identificar cual estación posee la mayor cantidad de datos semejantes posibles.

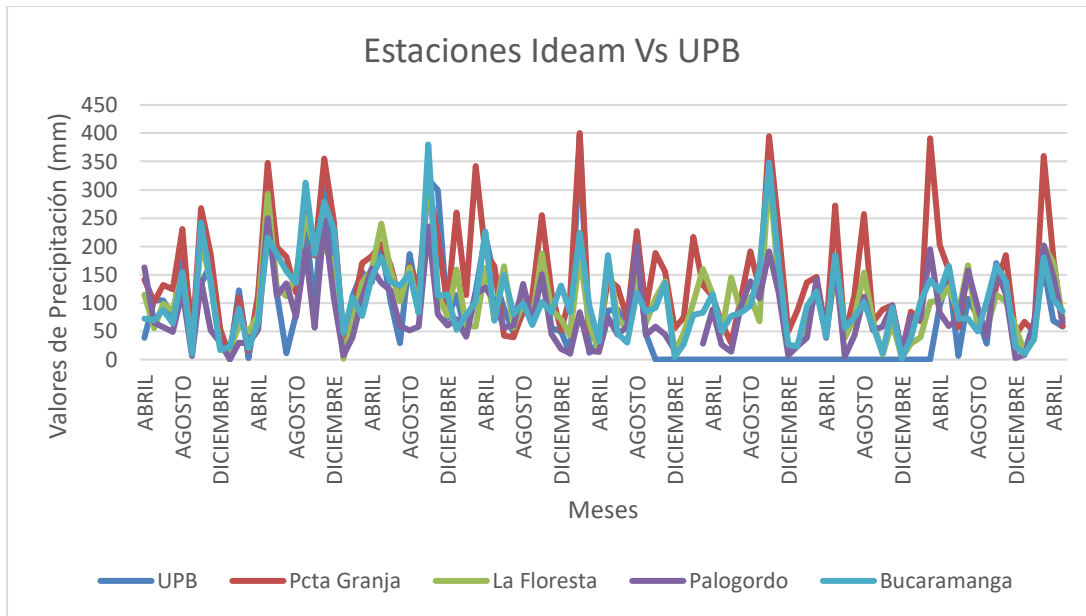


Gráfico 3. Gráfico de precipitaciones mensuales de la Estación UPB vs las estaciones del Ideam

El coeficiente de determinación, más conocido como “ r cuadrado”, representa una proporción del total de la varianza reflejando la bondad de ajuste de las series frente a la variable a cuestión [29], en este caso precipitación; en otras palabras lo que se busca es evidenciar en el modelo cuál es la cantidad de proporción de variación entre ambas estaciones. A partir de la regresión lineal, se grafican tanto en el “eje x ” como en el “eje y ” los valores de precipitación de cada estación del Ideam comparados siempre con los valores de la estación UPB; se analizaron cuáles eran los periodos que contaban con el registro más completo de datos y se determinó que en los años 2010 y 2011 se registraron los 365 días del año completos en cada uno, y el año 2012 caracterizado por ser bisiesto, hubo un registro de 363 días, a pesar de que restan tres días, se considera insignificante su vacío y se incluye en los años de análisis que en conclusión van desde el primero de enero del 2010 hasta el 31 de diciembre del 2012. El Gráfico 4, el Gráfico 5, Gráfico 6 y el Gráfico 7 representan gráficos de dispersión que normalmente son utilizados con el fin de comparar dos o más datos para mostrar una relación entre sus

conjuntos de valores, se busca que representen puntos en una tendencia lineal buscando la mayor similitud con una línea recta; el Gráfico 4 representa la estación base Ideam Piedecuesta Granja, por su cercanía y similitud de altitud, obteniendo un r cuadrado de 0,6208; el Gráfico 5 representa la estación de la Floresta, ubicada en Bucaramanga, con un r cuadrado de 0,5707. Por otra parte, el Gráfico 6 representa la estación del Ideam Palogordo, ubicada en Girón, con un r cuadrado de 0,5884 y el Gráfico 7 la estación del Ideam Bucaramanga con un r cuadrado de 0,4872. A pesar de que ninguno de estos valores se halla acercado a la unidad, se selecciona la estación que represente un coeficiente de determinación más alto para realizar la corrección de sesgo con su respectiva relocalización, en este caso la estación Ideam Piedecuesta Granja (0,6208) y la estación Ideam La Floresta (0,5707), se descarta la estación Palogordo por su lejanía y su diferencia de altitud ya que se encuentra ubicada en el municipio de Girón.

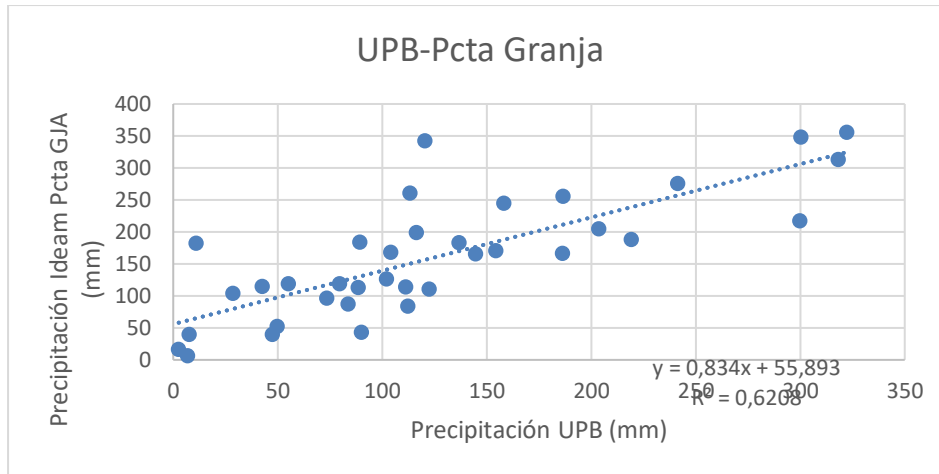


Gráfico 4. Gráfica de Dispersión estaciones Piedecuesta Granja vs UPB

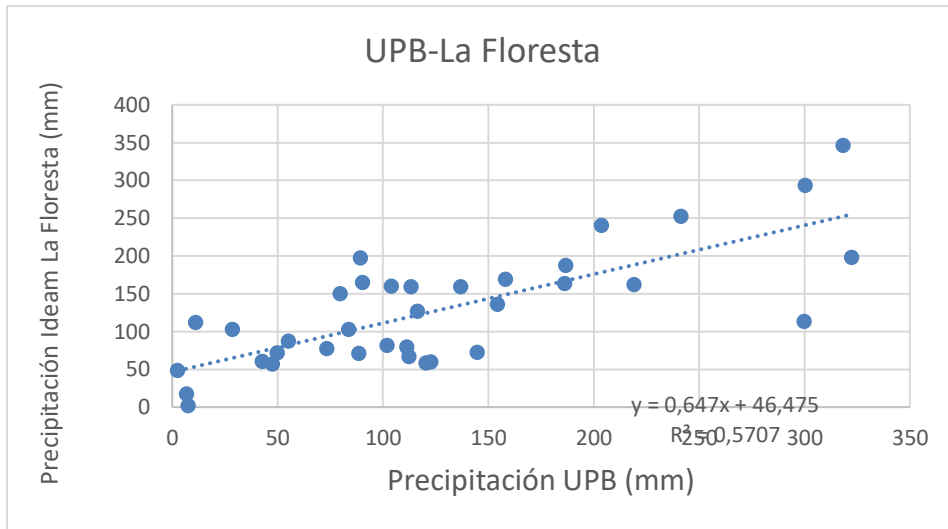


Gráfico 5. Gráfica de Dispersión estaciones Ideam La floresta vs UPB

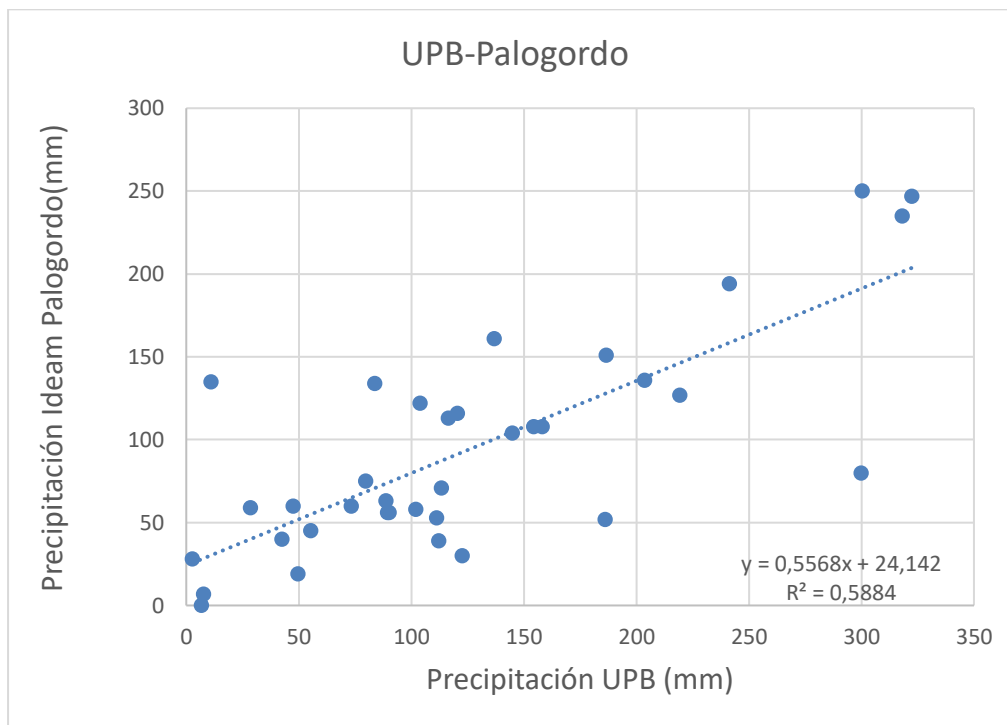


Gráfico 6. Gráfica de Dispersión estaciones Ideam Palogordo Vs UPB

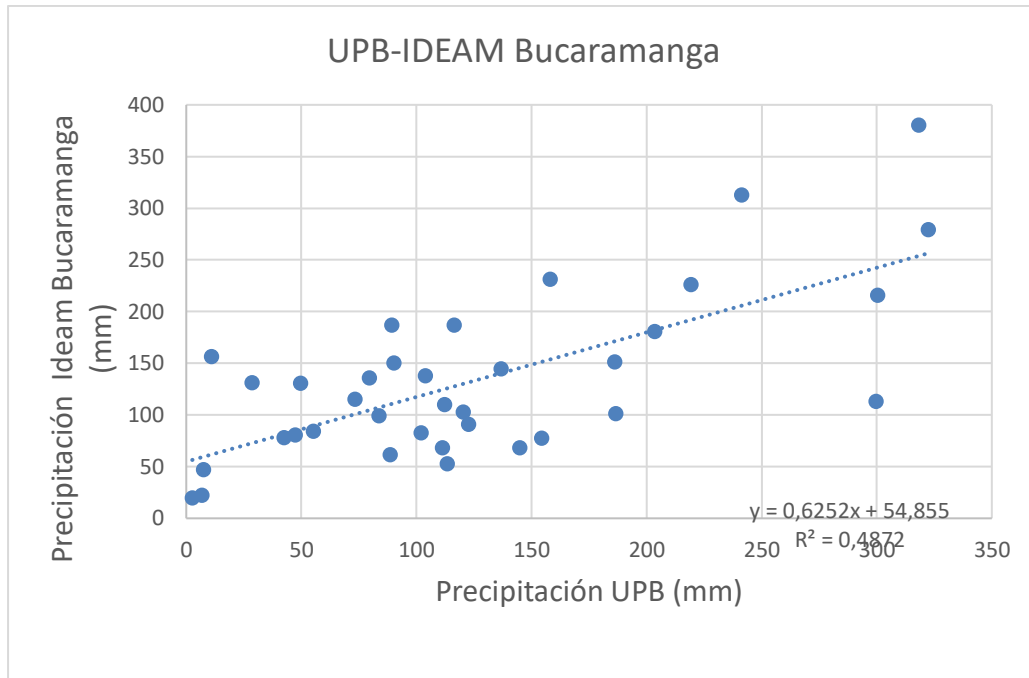
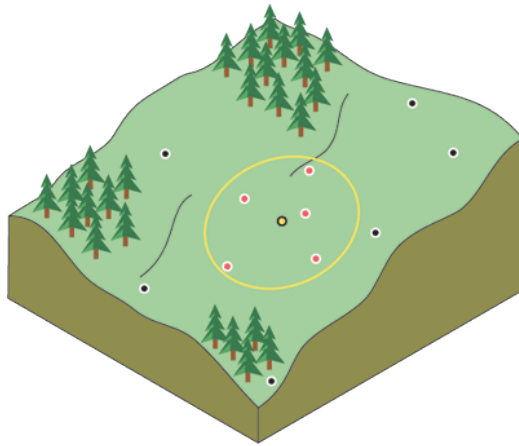


Gráfico 7. Gráfica de Dispersión estaciones Ideam Bucaramanga Vs UPB

4.3.1 Interpolación con la Distancia Inversa Ponderada

Debido a que los datos obtenidos se encuentran con diferente distancia y distinta localización comparados con la ubicación guía, debe realizarse una relocalización de estos valores para que, a partir de una aproximación, se conviertan en mediciones del punto exacto (Estación UPB). La relocalización de las estaciones del Ideam a la ubicación base de la estación UPB tanto de precipitación como de temperatura se hará siguiendo una interpolación de los datos a partir del método de Interpolación con la distancia inversa ponderada o IDW; luego de relocalizar las estaciones se comparan los datos para realizar los factores de ajuste de cada variable. En el caso de la temperatura, este factor de ajuste consiste en la diferencia entre los promedios mensuales de temperatura simulado y observado para el periodo histórico. En el caso de la precipitación, este factor de ajuste considera la división entre los promedios mensuales de precipitación simulado y observado. Esto deber ser realizado para cada una de las estaciones meteorológicas [30].

El método de interpolación espacial de la IDW funciona estimando valores no conocidos cuando se especifica una distancia identificando los puntos más cerca y su respectivo ajuste, ver Ilustración 13, el método asume que los datos que se localizan más cerca se relacionan más que los que se encuentran lejos haciendo autocorrelaciones espaciales [31].



| CONVENCIONES | |
|--------------|---------------------|
| | Estación UPB |
| | Estaciones Cercanas |

Ilustración 13. Método IDW. Fuente: IDEAM

La ecuación utilizada para aplicar el método IDW se rige bajo el siguiente orden: Primero debe establecerse el tipo de datos que se van a interpolar, luego ubicar el punto de referencia, especificando el radio de búsqueda, y a partir del localizar las estaciones cercanas que se van a evaluar, en nuestro caso se utilizan las estaciones del Ideam que poseen un mayor valor de r cuadrado que son Ideam Piedecuesta Granja e Ideam La Floresta, los resultados comprobarán que los puntos que se encuentran más cerca son más parecidos a los que se localizan más lejos asimilando una autocorrelación espacial. Las ecuaciones 13 y 14 poseen la notación sigma que simboliza cualquier número de puntos que deseen ser interpolados, en nuestro caso valores de precipitación. Con respecto al denominador, entre más pequeño sea su número el efecto que hace sobre el valor interpolado es menor, esto refiere a mayor distancia. De igual manera nunca se podrán obtener valores que sobrepasen el máximo o el mínimo conocido.

Ecuación 13. Método Interpolación IDW

$$w_i = \frac{\frac{1}{d_{j,i}^2}}{\sum_{i=1}^N \frac{1}{d_{j,i}^k}}$$

Ecuación 14. Aplicación Método de Interpolación IDW

$$z_j' = \sum_{i=1}^N w_i * z_i$$

La Ecuación 13, que representa valores W_i , se descompone a partir de la división de uno sobre la distancia al cuadrado, este resultado a su vez se divide por un valor total de “t”; los valores de “t” se relacionan con la división de uno sobre la distancia al cuadrado de cada estación. La

Tabla 6, representa el cálculo de valores, la variable “i” representa dos números, el primero se relaciona con la estación de Ideam La Floresta y el segundo con la estación Ideam Piedecuesta Granja; la variable “di” representa la distancia en metros de cada estación comparada con la ubicación de la estación UPB; “zi” representa valores de precipitación, en este caso los primeros valores obtenidos de cada estación, es decir, el día 16 de abril del 2009, cabe aclararse que de las estaciones del Ideam se tienen registros más completos en cuanto a fechas pero se filtró a comparación de las fechas de la estación UPB. Finalmente, el parámetro de “Zj” es la multiplicación del valor de precipitación (Z_i) por el valor encontrado de “ W_i ” para cada estación.

Tabla 6. Cálculo de Valores W_i (Fecha precipitación: 16/04/2009)

| <i>i</i> | <i>di (m)</i> | <i>Zi (Precipitación)</i> | <i>t</i> | <i>Wi</i> | <i>Zj</i> | |
|----------|---------------|---------------------------|------------|------------|------------|-------------|
| 1 | 8,09 | 0,000 | 0,01527928 | 0,27920059 | 0 | La floresta |
| 2 | 5,035 | 8,000 | 0,03944583 | 0,72079941 | 5,76639529 | Piedecuesta |
| | | | 0,05472511 | 1 | 5,76639529 | |

Este mismo cálculo se realizó para cada valor de precipitación, otro ejemplo son los valores obtenidos el día siguiente, es decir, 17 de abril del 2009 (

Tabla 7) y el día posterior a este, 18 de abril del 2009 (

Tabla 8). De esto se concluye que los valores de “ W_i ” son constantes sin importar las diferentes precipitaciones y que dependen solamente de la estación utilizada.

Tabla 7. Cálculo de Valores W_i (Fecha precipitación: 17/04/2009)

| <i>i</i> | <i>d_i (m)</i> | <i>Z_i (Precipitación)</i> | <i>t</i> | <i>W_i</i> | <i>Z_j</i> | |
|----------|--------------------------|--------------------------------------|------------|----------------------|----------------------|-------------|
| 1 | 8,09 | 8,600 | 0,01527928 | 0,27920059 | 2,40112506 | La floresta |
| 2 | 5,035 | 0,000 | 0,03944583 | 0,72079941 | 0 | Piedecuesta |
| | | | 0,05472511 | 1 | 2,40112506 | |

Tabla 8. Cálculo de Valores W_i (Fecha precipitación: 18/04/2009)

| <i>i</i> | <i>d_i (m)</i> | <i>Z_i (Precipitación)</i> | <i>t</i> | <i>W_i</i> | <i>Z_j</i> | |
|----------|--------------------------|--------------------------------------|------------|----------------------|----------------------|-------------|
| 1 | 8,09 | 0,000 | 0,01527928 | 0,27920059 | 0 | La floresta |
| 2 | 5,035 | 6,500 | 0,03944583 | 0,72079941 | 4,68519617 | Piedecuesta |
| | | | 0,05472511 | 1 | 4,68519617 | |

En nuestro caso se obtendrán dos valores de “ W_i ”, uno para la estación Ideam La Floresta y otro para Ideam Piedecuesta Granja, que como puede verse en las imágenes anteriores es un valor repetitivo y que no cambia. A modo de resumen, ver Tabla 9.

Tabla 9. Valores de W_i por estación

| | |
|-------------------------------|-------------|
| W_i Floresta | 0,279200589 |
| W_i Pcta | 0,720799411 |

Finalmente, se aplica la Ecuación 14, para facilidad de cálculo se realizan dos tablas en Excel, la primera es una tabla “sin arreglar”, es decir, se ubican las fechas filtradas, y los datos de precipitación de cada estación para cada día, en esta tabla solo se localizan 3 filas (fecha, datos de precipitación estación Ideam la Floresta, datos de precipitación Ideam Piedecuesta Granja), la Tabla 10 es un fragmento de los primeros días de precipitación.

| SIN ARREGLAR | | |
|--------------|--------------------|--------------------|
| FECHA | La floresta | Piedecuesta |
| | PRECIPITACIÓN (mm) | PRECIPITACIÓN (mm) |
| 16/04/2009 | 0 | 8 |
| 17/04/2009 | 8,6 | 0 |
| 18/04/2009 | 0 | 6,5 |
| 19/04/2009 | 8,9 | 0,3 |
| 20/04/2009 | 9,3 | 17,3 |
| 21/04/2009 | 0 | 0,7 |
| 22/04/2009 | 0 | 0 |
| 23/04/2009 | 0 | 0,3 |
| 24/04/2009 | 0 | 0 |
| 25/04/2009 | 0 | 0 |
| 26/04/2009 | 0 | 0 |
| 27/04/2009 | 0 | 0,2 |
| 28/04/2009 | 13,5 | 29,3 |
| 29/04/2009 | 0 | 1,8 |
| 30/04/2009 | 2,7 | 3,2 |

Tabla 10. Tabla de valores sin arreglar (Precipitación desde el día 16/04/2009 a 30/04/2009)

La segunda tabla incluye la modificación de los valores de precipitación relocalizados, en otras palabras, para cada valor de precipitación diario se multiplica por el factor W_i de su respectiva estación obteniendo nuevos datos para cada día, finalmente se realiza una sumatoria de los nuevos valores de ambas estaciones según la fecha que se esté evaluando; puede verse la Tabla 11, que evidencia 4 filas, las tres primeras son similares a la tabla anterior pero sus datos se multiplican por el factor “ W_i ”; la cuarta fila corresponde a la sumatoria diaria de la relocalización de ambas estaciones.

| RELOCALIZADA | | | |
|--------------|--------------------|--------------------|--------|
| FECHA | La floresta | Piedecuesta | SUM Wi |
| | PRECIPITACIÓN (mm) | PRECIPITACIÓN (mm) | |
| 16/04/2009 | 0,00 | 5,77 | 5,77 |
| 17/04/2009 | 2,40 | 0,00 | 2,40 |
| 18/04/2009 | 0,00 | 4,69 | 4,69 |
| 19/04/2009 | 2,48 | 0,22 | 2,70 |
| 20/04/2009 | 2,60 | 12,47 | 15,07 |
| 21/04/2009 | 0,00 | 0,50 | 0,50 |
| 22/04/2009 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 23/04/2009 | 0,00 | 0,22 | 0,22 |
| 24/04/2009 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 25/04/2009 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 26/04/2009 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 27/04/2009 | 0,00 | 0,14 | 0,14 |
| 28/04/2009 | 3,77 | 21,12 | 24,89 |
| 29/04/2009 | 0,00 | 1,30 | 1,30 |
| 30/04/2009 | 0,75 | 2,31 | 3,06 |

Tabla 11. Tabla de Relocalización de los valores de precipitación desde el 16/04/2009 a 30/04/2009

4.4. APLICACIÓN DE LAS METODOLOGÍAS DE LLENADO

Para la aplicación de las diferentes metodologías de llenado se seleccionaron 8 ecuaciones de las cuales solo se aceptaron cinco de estas. Las ecuaciones que no fueron escogidas son: Método de razones promedio, Método por correlación con estaciones vecinas, Método por regresiones múltiples, Método del vector regional

4.4.1 Método de regresión lineal

Para la aplicación del método de regresión lineal se tomaron todos los datos de precipitación ya obtenidos por fecha de la Estación UPB, la estación NasaPower, las estaciones del Ideam Piedecuesta Granja y La Floresta y los resultados obtenidos de la aplicación del método IDW, ver

Tabla 12.

Tabla 12. Datos de Precipitación para aplicar Método de regresión Lineal

| FECHA | UPB PRECIPITACIÓN UPB (mm) | NASAPOWER PRECIPITACIÓN NASA (mm) | IDEAM PCTA GRANJA PRECIPITACIÓN PCTA (mm) | IDW | P IDEAM FLORESTA (mm) |
|------------|----------------------------------|---|---|-------|--------------------------|
| 16/04/2009 | 0,6 | 4,53 | 8 | 5,77 | 0 |
| 17/04/2009 | 0,4 | 1,29 | 0 | 2,40 | 8,6 |
| 18/04/2009 | 0,2 | 4,11 | 6,5 | 4,69 | 0 |
| 19/04/2009 | 8,6 | 0,9 | 0,3 | 2,70 | 8,9 |
| 20/04/2009 | 12,6 | 2,79 | 17,3 | 15,07 | 9,3 |
| 21/04/2009 | 1,8 | 5,54 | 0,7 | 0,50 | 0 |
| 22/04/2009 | 0,2 | 2,02 | 0 | 0,00 | 0 |
| 23/04/2009 | 0 | 1,01 | 0,3 | 0,22 | 0 |
| 24/04/2009 | 0 | 0,11 | 0 | 0,00 | 0 |
| 25/04/2009 | 0 | 0,13 | 0 | 0,00 | 0 |
| 26/04/2009 | 1 | 0,12 | 0 | 0,00 | 0 |
| 27/04/2009 | 1 | 0,05 | 0,2 | 0,14 | 0 |
| 28/04/2009 | 3 | 0,07 | 29,3 | 24,89 | 13,5 |
| 29/04/2009 | 3,2 | 0,24 | 1,8 | 1,30 | 0 |
| 30/04/2009 | 6 | 0,12 | 3,2 | 3,06 | 2,7 |
| 1/05/2009 | 0,2 | 0,08 | 1,1 | 1,13 | 1,2 |
| 2/05/2009 | 15,4 | 3,6 | 0,7 | 0,50 | 0 |
| 3/05/2009 | 7,6 | 36,92 | 55,2 | 42,44 | 9,5 |
| 4/05/2009 | 41,4 | 11,13 | 0,7 | 1,12 | 2,2 |
| 5/05/2009 | 0 | 3,77 | 0 | 0,00 | 0 |
| 6/05/2009 | 0 | 0,66 | 0 | 0,00 | 0 |
| 7/05/2009 | 4,4 | 3,58 | 0,4 | 0,79 | 1,8 |
| 8/05/2009 | 1 | 3,29 | 2,3 | 2,22 | 2 |
| 9/05/2009 | 0,2 | 1,32 | 0 | 0,14 | 0,5 |
| 10/05/2009 | 0 | 0,75 | 0,6 | 0,43 | 0 |

Luego de esto, debe identificarse cuales son los días que poseen faltantes, es decir, las fechas que no poseen registro de datos de la variable, se conoce que esta información es nula desde octubre del 2013, los años completos de 2014 y 2015, de ahí en adelante los faltantes se hacen menos frecuentes, pero hay mayor registro de datos. La Ilustración 14 representa el reconocimiento de la información que no posee registro de datos, la primera columna refiere a las fechas de información, se evidencia que la mayoría son de color rojo, esto significa que no hay registro de datos; la segunda columna representa los datos de precipitación de la UPB, se confirma la hipótesis del color que no existen registros; la tercera columna muestra los valores de precipitación extraídos de NasaPower; la cuarta columna los datos de la estación Ideam Piedecuesta Granja; la quinta columna los valores obtenidos de la metodología IDW; y la última columna los valores de precipitación obtenidos de la estación Ideam La Floresta. Como puede

evidenciarse, es la misma

Tabla 12 pero en otro periodo de tiempo (10/09/2013 a 1/10/13).

| | | | | | | |
|------|------------|-----|-------|------|-------|------|
| 1611 | 10/09/2013 | 2 | 0,94 | 4 | 3,13 | 0,9 |
| 1612 | 11/09/2013 | 1,2 | 3,07 | 0 | 0,34 | 1,2 |
| 1613 | 12/09/2013 | 1 | 8,46 | 21,2 | 15,92 | 2,3 |
| 1614 | 13/09/2013 | | 3,85 | 0,1 | 0,07 | 0 |
| 1615 | 14/09/2013 | | 0,23 | 0 | 0,00 | 0 |
| 1616 | 15/09/2013 | | 0,52 | 0,3 | 0,36 | 0,5 |
| 1617 | 16/09/2013 | | 0,23 | 0 | 0,03 | 0,1 |
| 1618 | 17/09/2013 | | 0,24 | 0 | 0,00 | 0 |
| 1619 | 18/09/2013 | | 0,76 | 4,1 | 3,01 | 0,2 |
| 1620 | 19/09/2013 | | 0,07 | 0,2 | 0,40 | 0,9 |
| 1621 | 20/09/2013 | | 0,23 | 0 | 0,00 | 0 |
| 1622 | 21/09/2013 | | 0 | 0 | 0,00 | 0 |
| 1623 | 22/09/2013 | | 0,17 | 0 | 0,00 | 0 |
| 1624 | 23/09/2013 | | 3,53 | 0,3 | 3,79 | 12,8 |
| 1625 | 24/09/2013 | | 0,36 | 0 | 0,00 | 0 |
| 1626 | 25/09/2013 | | 3,71 | 1,9 | 1,62 | 0,9 |
| 1627 | 26/09/2013 | | 3,82 | 0 | 0,00 | 0 |
| 1628 | 27/09/2013 | | 27,17 | 0,1 | 0,07 | 0 |
| 1629 | 28/09/2013 | | 11,15 | 1,1 | 0,79 | 0 |
| 1630 | 29/09/2013 | | 0,48 | 2,8 | 2,02 | 0 |
| 1631 | 30/09/2013 | | 24,95 | 0 | 0,81 | 2,9 |
| 1632 | 1/10/2013 | | 11,74 | 0,1 | 0,07 | 0 |
| 1633 | 2/10/2013 | | 0,1 | 0,1 | 0,07 | 0 |

Ilustración 14. Reconocimiento de los datos de precipitación de la UPB sin información.

Se realizaron diferentes gráficas de dispersión para relacionar cada columna a partir de diferentes fuentes de datos de Precipitación con los datos registrados por la UPB, esto se hace con el fin de obtener los números para aplicar la ecuación de regresión lineal, se necesita el valor de “a” y de “b” para conocer la precipitación estimada de cada día. Los valores que se usaron para graficar en cuanto a fechas se tomaron desde el 1 de enero del 2010 hasta el 31 de diciembre del 2012, es decir, dos años consecutivos. Sin embargo, si se añaden los meses de enero y febrero del año 2013 de los cuales también se encuentra un registro completo y sin vacíos, los valores del coeficiente de determinación aumentan un poco más comparados con los tomados. Se decide utilizar periodos anuales con el fin de tener más precisión y se obtienen 4 gráficas: El Gráfico 8 muestra la relación entre la estación UPB y NasaPower posee una correlación de 0,0525, de aquí se obtiene la ecuación de la recta donde “a” es igual a 4,3113 y “b” es 0,1458 (el número que acompaña la “x”. El Gráfico 9 muestra una correlación de 0,0973

para la estación IDEAM Piedecuesta Granja comparada con la UPB; el Gráfico 10 que aumenta la correlación a 0,1227 al comparar la metodología IDW con los datos de la estación UPB; y finalmente, el Gráfico 11 con la mayor correlación obteniendo un valor de 0,1269.

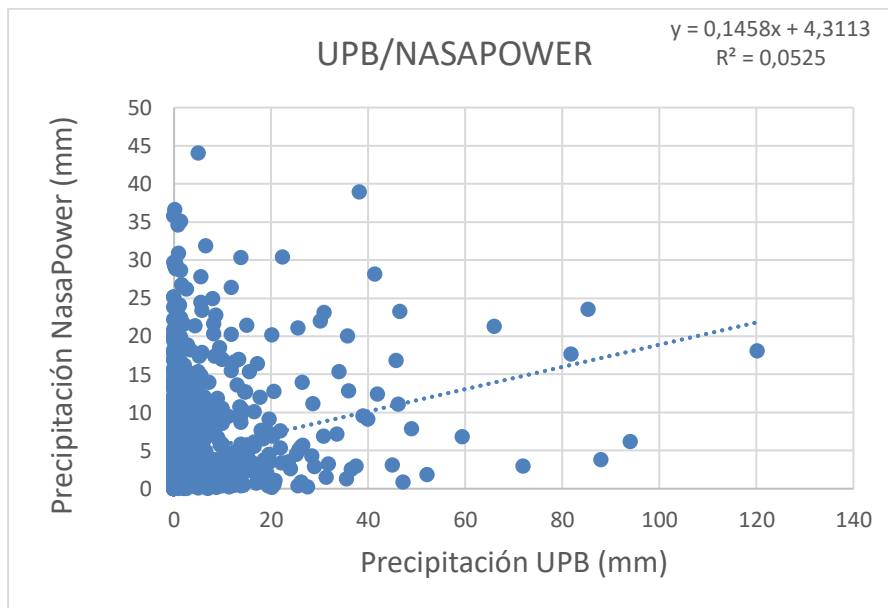


Gráfico 8. Gráfico de Dispersión Precipitaciones Estación UPB y Estación NasaPower

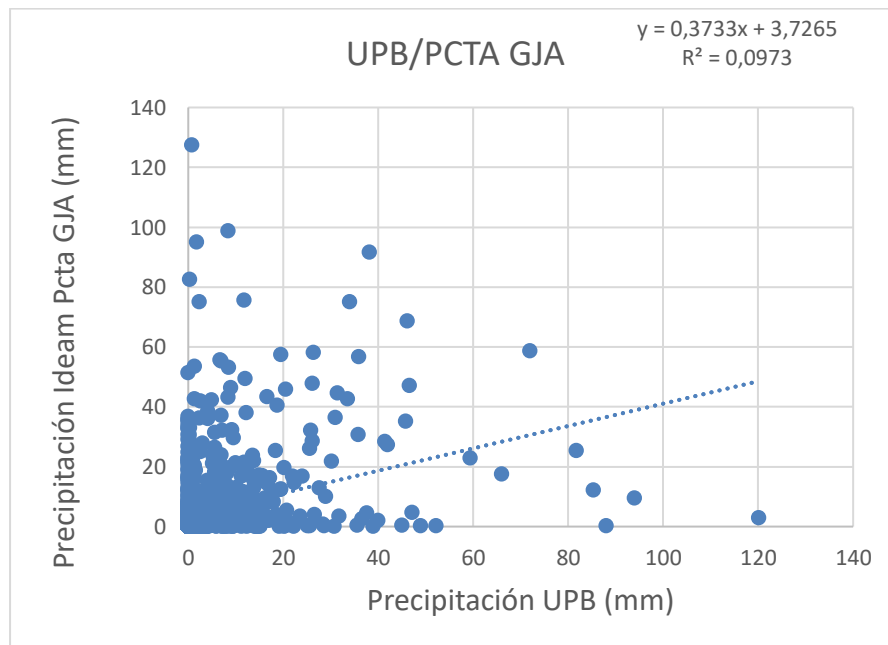


Gráfico 9. Gráfico de Dispersión Precipitaciones Estación UPB y Estación Ideam Piedecuesta Granja

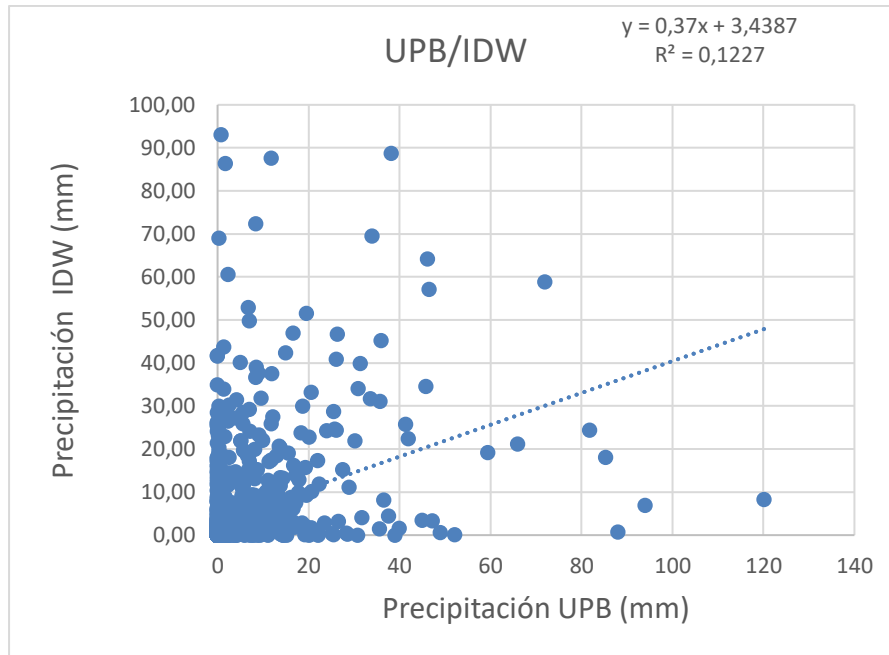


Gráfico 10. Gráfico de Dispersión Precipitaciones Estación UPB y Método IDW

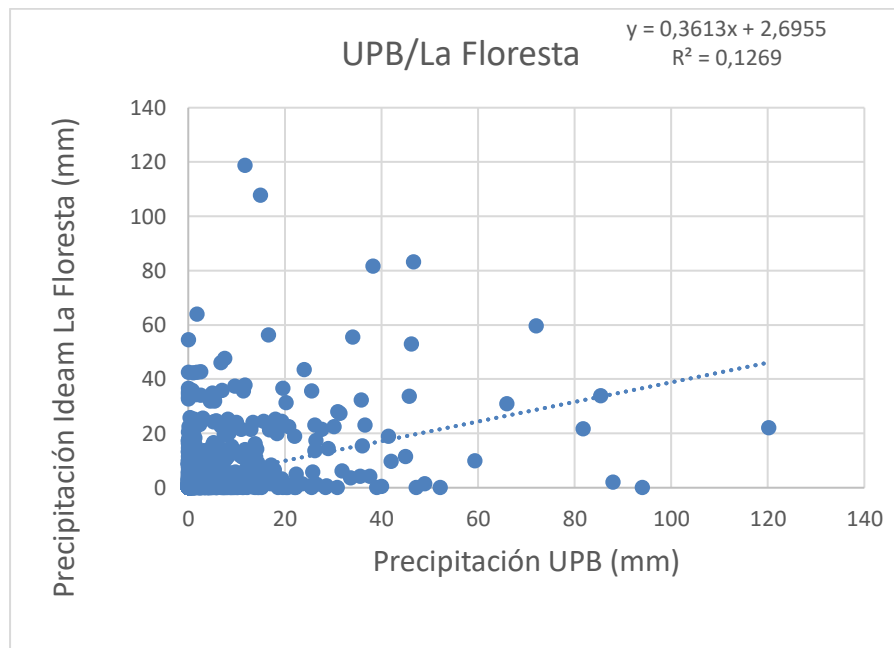


Gráfico 11. Gráfico de Dispersión Precipitaciones Estación UPB y Estación Ideal La Floresta

La

Tabla 13, representa el resumen obtenido de las gráficas anteriores clasificando según las variables "a", "b" y "r²", con estos valores se procede a aplicar a cada estación la metodología

de llenado correspondiente al método de regresión lineal.

Tabla 13. Variables del Método de Regresión Lineal

| Estación | a | b | r2 |
|-------------|---------------|---------------|--------|
| NasaPower | 4,3113 | 0,1458 | 0,0525 |
| PCTA | 3,7265 | 0,3733 | 0,0973 |
| IDW | 3,4387 | 0,37 | 0,1227 |
| La Floresta | 2,6955 | 0,3613 | 0,1269 |

La Tabla 14 muestra la tabla generada luego de aplicar la metodología de llenado en los primeros días de datos, es decir, del 16/04/2009 al 10/05/2009, de estas fechas se tienen registros de la estación UPB. Siguiendo las fórmulas para cada día correspondiente, es evidente que los valores varían ya que cada estación posee diferentes registros comparados con la UPB, además, teniendo en cuenta factores como el relieve y la distancia que afectan en gran manera el valor de la precipitación.

Tabla 14. Llenado de Datos Método de Regresión Lineal (16/04/2009 a 10/05/2009)

| FECHA | REGRESIÓN LINEAL | | | |
|------------|------------------|------------|-------|----------|
| | NASAPOWER | IDEAM PCTA | IDW | Floresta |
| 16/04/2009 | 1,08 | 2,25 | 1,78 | 0,13 |
| 17/04/2009 | 0,33 | 0,10 | 0,81 | 3,32 |
| 18/04/2009 | 0,99 | 1,84 | 1,47 | 0,13 |
| 19/04/2009 | 0,24 | 0,18 | 0,89 | 3,44 |
| 20/04/2009 | 0,68 | 4,74 | 4,49 | 3,58 |
| 21/04/2009 | 1,32 | 0,29 | 0,25 | 0,13 |
| 22/04/2009 | 0,50 | 0,10 | 0,11 | 0,13 |
| 23/04/2009 | 0,27 | 0,18 | 0,17 | 0,13 |
| 24/04/2009 | 0,06 | 0,10 | 0,11 | 0,13 |
| 25/04/2009 | 0,06 | 0,10 | 0,11 | 0,13 |
| 26/04/2009 | 0,06 | 0,10 | 0,11 | 0,13 |
| 27/04/2009 | 0,05 | 0,15 | 0,15 | 0,13 |
| 28/04/2009 | 0,05 | 7,96 | 7,35 | 5,14 |
| 29/04/2009 | 0,09 | 0,58 | 0,48 | 0,13 |
| 30/04/2009 | 0,06 | 0,96 | 1,00 | 1,14 |
| 1/05/2009 | 0,05 | 0,40 | 0,44 | 0,58 |
| 2/05/2009 | 0,87 | 0,29 | 0,25 | 0,13 |
| 3/05/2009 | 8,60 | 14,91 | 12,45 | 3,66 |
| 4/05/2009 | 2,62 | 0,29 | 0,43 | 0,95 |
| 5/05/2009 | 0,91 | 0,10 | 0,11 | 0,13 |
| 6/05/2009 | 0,19 | 0,10 | 0,11 | 0,13 |
| 7/05/2009 | 0,86 | 0,21 | 0,34 | 0,80 |
| 8/05/2009 | 0,80 | 0,72 | 0,75 | 0,88 |
| 9/05/2009 | 0,34 | 0,10 | 0,15 | 0,32 |
| 10/05/2009 | 0,21 | 0,26 | 0,23 | 0,13 |

La Tabla 15 evidencia también la metodología de llenado por el método de regresión lineal, pero en fechas de las cuales se tenía registro nulo, de ahí su color rojo, estas son desde octubre del 2013 hasta diciembre de 2015, en este caso se puede ver del 14/09/2013 a 11/10/2013. Entre las diferentes columnas que representan diferentes estaciones se puede ver que su diferencia es poco variada, sin embargo, se presentan días donde la diferencia entre cada valor es muy dispereja generando alto grado de incertidumbre. De igual manera se aplica hacia todas las celdas de cada fecha, en este trabajo se escogen cuatro rangos adicionales de fechas aleatorios para evidenciar cual fue el comportamiento de esta metodología a partir de las diferentes fuentes de datos y evidenciar también la diferencia entre ellos mismos para evaluar el parámetro de precipitación. La Tabla 16 del 01/01/2014 a 27/01/2014; la Tabla 17 04/04/2015 a 01/05/2015; la Tabla 18 del 16/02/2016 a 14/03/2016; y la Tabla 19 con las fechas de 09/06/2016 a 06/07/2016. Estas tablas guardan la misma relación donde la primera columna es la fecha, la segunda columna los datos a través de la estación NasaPower, la tercera los valores de la estación Ideam Piedecuesta granja, la cuarta la metodología IDW y la quinta con la estación Ideam La Floresta.

Tabla 15. Llenado de Datos en fechas vacías con el Método de Regresión Lineal (14/09/2013

a 11/10/2013)

| | | | | |
|------------|------|------|------|-------|
| 14/09/2013 | 0,09 | 0,10 | 0,11 | 0,13 |
| 15/09/2013 | 0,15 | 0,18 | 0,21 | 0,32 |
| 16/09/2013 | 0,09 | 0,10 | 0,12 | 0,17 |
| 17/09/2013 | 0,09 | 0,10 | 0,11 | 0,13 |
| 18/09/2013 | 0,21 | 1,20 | 0,98 | 0,21 |
| 19/09/2013 | 0,05 | 0,15 | 0,22 | 0,47 |
| 20/09/2013 | 0,09 | 0,10 | 0,11 | 0,13 |
| 21/09/2013 | 0,03 | 0,10 | 0,11 | 0,13 |
| 22/09/2013 | 0,07 | 0,10 | 0,11 | 0,13 |
| 23/09/2013 | 0,85 | 0,18 | 1,21 | 4,88 |
| 24/09/2013 | 0,12 | 0,10 | 0,11 | 0,13 |
| 25/09/2013 | 0,89 | 0,61 | 0,58 | 0,47 |
| 26/09/2013 | 0,92 | 0,10 | 0,11 | 0,13 |
| 27/09/2013 | 6,34 | 0,13 | 0,13 | 0,13 |
| 28/09/2013 | 2,62 | 0,40 | 0,34 | 0,13 |
| 29/09/2013 | 0,15 | 0,85 | 0,69 | 0,13 |
| 30/09/2013 | 5,82 | 0,10 | 0,34 | 1,21 |
| 1/10/2013 | 2,76 | 0,13 | 0,13 | 0,13 |
| 2/10/2013 | 0,06 | 0,13 | 0,13 | 0,13 |
| 3/10/2013 | 1,05 | 0,64 | 0,56 | 0,28 |
| 4/10/2013 | 1,53 | 2,14 | 2,26 | 2,69 |
| 5/10/2013 | 0,05 | 1,28 | 1,03 | 0,13 |
| 6/10/2013 | 0,04 | 0,10 | 0,11 | 0,13 |
| 7/10/2013 | 0,86 | 1,09 | 1,22 | 1,69 |
| 8/10/2013 | 0,12 | 0,29 | 0,25 | 0,13 |
| 9/10/2013 | 0,11 | 8,37 | 7,64 | 5,03 |
| 10/10/2013 | 0,25 | 0,10 | 0,18 | 0,47 |
| 11/10/2013 | 0,65 | 5,25 | 7,13 | 13,82 |

Tabla 16. Llenado de Datos en fechas vacías con el Método de Regresión Lineal (01/01/2014 a 27/01/2014)

| | | | | |
|------------|------|------|------|------|
| 1/01/2014 | 0,04 | 0,10 | 0,11 | 0,13 |
| 2/01/2014 | 0,04 | 0,23 | 0,31 | 0,58 |
| 3/01/2014 | 0,04 | 0,10 | 0,11 | 0,13 |
| 4/01/2014 | 0,04 | 0,10 | 0,11 | 0,13 |
| 5/01/2014 | 0,07 | 4,53 | 3,57 | 0,13 |
| 6/01/2014 | 0,14 | 0,88 | 1,32 | 2,92 |
| 7/01/2014 | 2,22 | 3,43 | 2,79 | 0,51 |
| 8/01/2014 | 0,26 | 0,10 | 0,11 | 0,13 |
| 9/01/2014 | 0,04 | 0,10 | 0,11 | 0,13 |
| 10/01/2014 | 0,04 | 0,10 | 0,11 | 0,13 |
| 11/01/2014 | 0,07 | 0,10 | 0,11 | 0,13 |
| 12/01/2014 | 0,05 | 0,10 | 0,11 | 0,13 |
| 13/01/2014 | 0,04 | 0,10 | 0,11 | 0,13 |
| 14/01/2014 | 0,03 | 0,10 | 0,11 | 0,13 |
| 15/01/2014 | 0,03 | 0,10 | 0,11 | 0,13 |
| 16/01/2014 | 0,52 | 0,40 | 1,35 | 4,77 |
| 17/01/2014 | 0,14 | 0,10 | 0,11 | 0,13 |
| 18/01/2014 | 0,07 | 0,10 | 0,12 | 0,21 |
| 19/01/2014 | 2,29 | 0,10 | 0,11 | 0,13 |
| 20/01/2014 | 0,33 | 0,10 | 0,11 | 0,13 |
| 21/01/2014 | 0,03 | 0,13 | 0,13 | 0,13 |
| 22/01/2014 | 0,14 | 1,68 | 1,53 | 0,99 |
| 23/01/2014 | 0,05 | 0,10 | 0,11 | 0,13 |
| 24/01/2014 | 0,04 | 2,27 | 1,87 | 0,43 |
| 25/01/2014 | 0,04 | 2,09 | 1,79 | 0,73 |
| 26/01/2014 | 0,74 | 0,13 | 1,15 | 4,81 |
| 27/01/2014 | 0,23 | 0,10 | 0,11 | 0,13 |

Tabla 17. Llenado de Datos en fechas vacías con el Método de Regresión Lineal (04/04/2015 a 01/05/2015)

| | | | | |
|------------|------|------|------|------|
| 4/04/2015 | 2,91 | 0,61 | 0,51 | 0,13 |
| 5/04/2015 | 0,95 | 0,13 | 0,13 | 0,13 |
| 6/04/2015 | 0,08 | 0,40 | 0,34 | 0,13 |
| 7/04/2015 | 0,57 | 0,21 | 0,23 | 0,32 |
| 8/04/2015 | 0,10 | 0,10 | 0,11 | 0,13 |
| 9/04/2015 | 0,06 | 0,10 | 0,11 | 0,13 |
| 10/04/2015 | 0,20 | 1,82 | 1,81 | 1,80 |
| 11/04/2015 | 0,17 | 0,10 | 0,11 | 0,13 |
| 12/04/2015 | 1,62 | 0,48 | 0,40 | 0,13 |
| 13/04/2015 | 2,52 | 0,15 | 0,15 | 0,13 |
| 14/04/2015 | 0,21 | 0,10 | 0,14 | 0,28 |
| 15/04/2015 | 0,39 | 0,15 | 0,15 | 0,13 |
| 16/04/2015 | 0,63 | 0,99 | 0,87 | 0,47 |
| 17/04/2015 | 0,41 | 0,58 | 0,48 | 0,13 |
| 18/04/2015 | 0,72 | 1,04 | 0,91 | 0,43 |
| 19/04/2015 | 0,44 | 3,40 | 4,81 | 9,85 |
| 20/04/2015 | 3,21 | 2,11 | 2,37 | 3,29 |
| 21/04/2015 | 1,55 | 0,15 | 0,37 | 1,14 |
| 22/04/2015 | 0,05 | 0,10 | 0,11 | 0,13 |
| 23/04/2015 | 0,03 | 0,10 | 0,11 | 0,13 |
| 24/04/2015 | 0,14 | 0,26 | 0,23 | 0,13 |
| 25/04/2015 | 0,88 | 0,10 | 0,11 | 0,13 |
| 26/04/2015 | 0,22 | 0,10 | 0,11 | 0,13 |
| 27/04/2015 | 0,04 | 0,10 | 0,11 | 0,13 |
| 28/04/2015 | 0,04 | 0,10 | 0,11 | 0,13 |
| 29/04/2015 | 1,02 | 0,10 | 0,21 | 0,58 |
| 30/04/2015 | 4,32 | 1,09 | 0,88 | 0,13 |
| 1/05/2015 | 0,39 | 0,10 | 0,11 | 0,13 |

Tabla 18. Llenado de Datos en fechas vacías con el Método de Regresión Lineal (16/02/2016 a 14/03/2016)

| | | | | |
|------------|------|-------|-------|-------|
| 16/02/2016 | 1,03 | 1,74 | 2,04 | 3,14 |
| 17/02/2016 | 1,10 | 0,10 | 0,11 | 0,13 |
| 18/02/2016 | 1,46 | 2,14 | 1,70 | 0,13 |
| 19/02/2016 | 0,70 | 0,10 | 0,11 | 0,13 |
| 20/02/2016 | 0,23 | 0,13 | 0,51 | 1,88 |
| 21/02/2016 | 0,10 | 0,26 | 0,26 | 0,25 |
| 22/02/2016 | 0,05 | 4,23 | 3,34 | 0,13 |
| 23/02/2016 | 0,04 | 0,74 | 0,61 | 0,13 |
| 24/02/2016 | 0,38 | 0,10 | 0,11 | 0,13 |
| 25/02/2016 | 1,95 | 0,23 | 0,25 | 0,32 |
| 26/02/2016 | 2,27 | 1,55 | 2,14 | 4,25 |
| 27/02/2016 | 0,53 | 0,50 | 0,59 | 0,91 |
| 28/02/2016 | 0,03 | 0,10 | 0,11 | 0,13 |
| 29/02/2016 | 0,16 | 0,10 | 0,11 | 0,13 |
| 1/03/2016 | 0,66 | 2,01 | 2,37 | 3,66 |
| 2/03/2016 | 0,54 | 4,82 | 3,80 | 0,13 |
| 3/03/2016 | 0,25 | 2,25 | 2,31 | 2,55 |
| 4/03/2016 | 0,22 | 2,14 | 1,70 | 0,13 |
| 5/03/2016 | 0,11 | 4,96 | 3,90 | 0,13 |
| 6/03/2016 | 0,83 | 0,69 | 1,64 | 5,03 |
| 7/03/2016 | 1,06 | 36,06 | 31,01 | 12,97 |
| 8/03/2016 | 1,09 | 0,13 | 0,79 | 3,14 |
| 9/03/2016 | 0,20 | 15,66 | 12,27 | 0,13 |
| 10/03/2016 | 0,05 | 0,15 | 0,15 | 0,13 |
| 11/03/2016 | 0,05 | 0,10 | 0,11 | 0,13 |
| 12/03/2016 | 0,04 | 0,10 | 0,11 | 0,13 |
| 13/03/2016 | 0,05 | 0,10 | 0,11 | 0,13 |
| 14/03/2016 | 0,05 | 1,90 | 1,53 | 0,21 |

Tabla 19. Llenado de Datos en fechas vacías con el Método de Regresión Lineal (09/06/2016 a 06/07/2016)

| | | | | |
|------------|------|------|------|------|
| 9/06/2016 | 0,95 | 2,38 | 3,62 | 8,04 |
| 10/06/2016 | 0,49 | 0,93 | 1,39 | 3,03 |
| 11/06/2016 | 0,82 | 0,56 | 0,53 | 0,43 |
| 12/06/2016 | 0,68 | 0,10 | 0,11 | 0,13 |
| 13/06/2016 | 0,08 | 0,13 | 0,13 | 0,13 |
| 14/06/2016 | 0,53 | 1,36 | 1,43 | 1,66 |
| 15/06/2016 | 0,28 | 0,13 | 0,13 | 0,13 |
| 16/06/2016 | 0,05 | 0,10 | 0,11 | 0,13 |
| 17/06/2016 | 1,18 | 0,13 | 0,13 | 0,13 |
| 18/06/2016 | 0,67 | 0,10 | 0,12 | 0,21 |
| 19/06/2016 | 0,22 | 0,15 | 1,05 | 4,25 |
| 20/06/2016 | 2,60 | 3,37 | 2,66 | 0,13 |
| 21/06/2016 | 0,74 | 0,10 | 0,52 | 2,03 |
| 22/06/2016 | 0,70 | 0,48 | 0,40 | 0,13 |
| 23/06/2016 | 0,18 | 0,37 | 0,32 | 0,13 |
| 24/06/2016 | 0,31 | 0,13 | 0,13 | 0,13 |
| 25/06/2016 | 0,58 | 0,34 | 1,22 | 4,36 |
| 26/06/2016 | 0,33 | 0,15 | 0,15 | 0,13 |
| 27/06/2016 | 0,07 | 0,10 | 0,11 | 0,13 |
| 28/06/2016 | 9,14 | 0,10 | 0,11 | 0,13 |
| 29/06/2016 | 1,65 | 0,93 | 1,61 | 4,03 |
| 30/06/2016 | 1,70 | 0,10 | 0,46 | 1,77 |
| 1/07/2016 | 0,24 | 0,15 | 0,23 | 0,51 |
| 2/07/2016 | 0,45 | 1,52 | 1,33 | 0,65 |
| 3/07/2016 | 0,10 | 2,49 | 1,97 | 0,13 |
| 4/07/2016 | 0,89 | 0,10 | 0,11 | 0,13 |
| 5/07/2016 | 0,76 | 1,07 | 1,45 | 2,84 |
| 6/07/2016 | 0,63 | 0,13 | 0,13 | 0,13 |

4.4.2 Método por razones de distancias

Para aplicar esta metodología se organizan pares de estaciones al tener 4 fuentes de datos de precipitación se escoge la estación del Ideam Piedecuesta Granja como base por su distancia próxima y por su similitud más cercana a la zona. Esta estación se relaciona en par con la estación satelital de la NasaPower y con la estación Ideam Floresta. Para aplicar esta metodología debe conocerse la distancia de cada estación comparada con la estación principal UPB, ver Tabla 5. La estación Piedecuesta Granja se encuentra a una distancia de 5,035 m de la estación UPB; la estación de la NasaPower al ser satelital se encuentra ubicada bajo el mismo punto de la estación UPB y por ende su distancia es 0 m; la estación La Floresta se encuentra localizada a 8,09 m de lejanía comparado con el punto inicial en la UPB. La Tabla 20 representa la metodología de llenado con el método de razones de distancia para las primeras fechas desde 16/04/2009 a 04/05/2009, cabe aclarar que de estas fechas se tienen datos de la estación Principal. Las columnas resaltadas de amarillo (Nasa/PCTA y PCTA/Floresta) son los resultados de la aplicación de esta fórmula.

Tabla 20. Llenado de datos con la metodología de Razones de Distancia (16/04/2009 a 04/05/2009)

| FECHA | PRECIPITACIÓN UPB (mm) | PRECIPITACIÓN NASA (mm) | PRECIPITACIÓN IDEAM PCTA (mm) | PRECIPITACIÓN LA FLORESTA | NASA/PCTA | PCTA/FLORESTA |
|------------|------------------------|-------------------------|-------------------------------|---------------------------|-----------|---------------|
| 16/04/2009 | 0,6 | 4,53 | 8 | 0 | 4,53 | 4,93 |
| 17/04/2009 | 0,4 | 1,29 | 0 | 8,6 | 1,29 | 3,30 |
| 18/04/2009 | 0,2 | 4,11 | 6,5 | 0 | 4,11 | 4,01 |
| 19/04/2009 | 8,6 | 0,9 | 0,3 | 8,9 | 0,9 | 3,60 |
| 20/04/2009 | 12,6 | 2,79 | 17,3 | 9,3 | 2,79 | 14,23 |
| 21/04/2009 | 1,8 | 5,54 | 0,7 | 0 | 5,54 | 0,43 |
| 22/04/2009 | 0,2 | 2,02 | 0 | 0 | 2,02 | 0,00 |
| 23/04/2009 | 0 | 1,01 | 0,3 | 0 | 1,01 | 0,18 |
| 24/04/2009 | 0 | 0,11 | 0 | 0 | 0,11 | 0,00 |
| 25/04/2009 | 0 | 0,13 | 0 | 0 | 0,13 | 0,00 |
| 26/04/2009 | 1 | 0,12 | 0 | 0 | 0,12 | 0,00 |
| 27/04/2009 | 1 | 0,05 | 0,2 | 0 | 0,05 | 0,12 |
| 28/04/2009 | 3 | 0,07 | 29,3 | 13,5 | 0,07 | 23,24 |
| 29/04/2009 | 3,2 | 0,24 | 1,8 | 0 | 0,24 | 1,11 |
| 30/04/2009 | 6 | 0,12 | 3,2 | 2,7 | 0,12 | 3,01 |
| 1/05/2009 | 0,2 | 0,08 | 1,1 | 1,2 | 0,08 | 1,14 |
| 2/05/2009 | 15,4 | 3,6 | 0,7 | 0 | 3,6 | 0,43 |
| 3/05/2009 | 7,6 | 36,92 | 55,2 | 9,5 | 36,92 | 37,67 |
| 4/05/2009 | 41,4 | 11,13 | 0,7 | 2,2 | 11,13 | 1,28 |

Al igual que los métodos anteriores se escoge de manera aleatoria cuatro rangos de fechas para evaluar el comportamiento de esta metodología; se obtiene la Tabla 21 para el rango de días del 13/09/2013 a 03/10/2013; la Tabla 22 de 17/07/2014 a 07/08/2014; la Tabla 23 24/07/2015 a 14/08/2015; y la Tabla 24 del 17/03/2016 a 06/04/2016. Como puede verse en la fórmula de la Tabla 21, la distancia entre estaciones se vuelve un factor que altera y modifica los resultados a obtenerse a través de una relación de un par de estaciones, los resultados se pueden ver en las dos últimas columnas correspondientes en su orden a los pares de estaciones Nasa/Piedecuesta Granja y Piedecuesta/Floresta señalados en el cuadro naranja. Se encuentran valores muy distanciados a comparación de los registros de precipitación de las otras fuentes consultadas. Se puede ver la segunda columna, vacía, correspondiente a los datos faltantes de precipitación en la estación UPB en el periodo de tiempo seleccionado.

Tabla 21. Llenado de Datos en fechas vacías con el Método de Razones de Distancia (13/09/2013 a 03/10/2013)

| | | | | | | |
|------------|--|-------|-----|------|-------|------|
| 13/09/2013 | | 3,85 | 0,1 | 0 | 3,85 | 0,06 |
| 14/09/2013 | | 0,23 | 0 | 0 | 0,23 | 0,00 |
| 15/09/2013 | | 0,52 | 0,3 | 0,5 | 0,52 | 0,38 |
| 16/09/2013 | | 0,23 | 0 | 0,1 | 0,23 | 0,04 |
| 17/09/2013 | | 0,24 | 0 | 0 | 0,24 | 0,00 |
| 18/09/2013 | | 0,76 | 4,1 | 0,2 | 0,76 | 2,60 |
| 19/09/2013 | | 0,07 | 0,2 | 0,9 | 0,07 | 0,47 |
| 20/09/2013 | | 0,23 | 0 | 0 | 0,23 | 0,00 |
| 21/09/2013 | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,00 |
| 22/09/2013 | | 0,17 | 0 | 0 | 0,17 | 0,00 |
| 23/09/2013 | | 3,53 | 0,3 | 12,8 | 3,53 | 5,10 |
| 24/09/2013 | | 0,36 | 0 | 0 | 0,36 | 0,00 |
| 25/09/2013 | | 3,71 | 1,9 | 0,9 | 3,71 | 1,52 |
| 26/09/2013 | | 3,82 | 0 | 0 | 3,82 | 0,00 |
| 27/09/2013 | | 27,17 | 0,1 | 0 | 27,17 | 0,06 |
| 28/09/2013 | | 11,15 | 1,1 | 0 | 11,15 | 0,68 |
| 29/09/2013 | | 0,48 | 2,8 | 0 | 0,48 | 1,73 |
| 30/09/2013 | | 24,95 | 0 | 2,9 | 24,95 | 1,11 |
| 1/10/2013 | | 11,74 | 0,1 | 0 | 11,74 | 0,06 |
| 2/10/2013 | | 0,1 | 0,1 | 0 | 0,1 | 0,06 |
| 3/10/2013 | | 4,4 | 2 | 0,4 | 4,4 | 1,39 |

Tabla 22. Llenado de Datos en fechas vacías con el Método de Razones de Distancia
(17/07/2014 a 07/08/2014)

| | | | | | | |
|------------|--|------|------|------|------|-------|
| 17/07/2014 | | 0,34 | 0 | 0 | 0,34 | 0,00 |
| 18/07/2014 | | 0,17 | 0 | 0 | 0,17 | 0,00 |
| 19/07/2014 | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,00 |
| 20/07/2014 | | 0,12 | 0,7 | 0 | 0,12 | 0,43 |
| 21/07/2014 | | 0,11 | 0,3 | 1 | 0,11 | 0,57 |
| 22/07/2014 | | 0,35 | 0 | 0 | 0,35 | 0,00 |
| 23/07/2014 | | 4,17 | 0 | 0 | 4,17 | 0,00 |
| 24/07/2014 | | 1,8 | 1,2 | 7,7 | 1,8 | 3,69 |
| 25/07/2014 | | 0,03 | 0 | 0 | 0,03 | 0,00 |
| 26/07/2014 | | 2,53 | 4,2 | 8,1 | 2,53 | 5,70 |
| 27/07/2014 | | 0,56 | 0,1 | 0 | 0,56 | 0,06 |
| 28/07/2014 | | 0,01 | 0 | 0 | 0,01 | 0,00 |
| 29/07/2014 | | 2,76 | 0 | 0 | 2,76 | 0,00 |
| 30/07/2014 | | 1,74 | 7,9 | 13,2 | 1,74 | 9,93 |
| 31/07/2014 | | 0,26 | 3,3 | 0 | 0,26 | 2,03 |
| 1/08/2014 | | 0,14 | 0,6 | 7,7 | 0,14 | 3,32 |
| 2/08/2014 | | 0,01 | 2,8 | 2,2 | 0,01 | 2,57 |
| 3/08/2014 | | 0 | 0,7 | 1,1 | 0 | 0,85 |
| 4/08/2014 | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,00 |
| 5/08/2014 | | 0,3 | 0 | 1 | 0,3 | 0,38 |
| 6/08/2014 | | 0,14 | 30,8 | 10 | 0,14 | 22,82 |
| 7/08/2014 | | 1,88 | 0,5 | 3,5 | 1,88 | 1,65 |

Tabla 23. Llenado de Datos en fechas vacías con el Método de Razones de Distancia
(24/07/2015 a 14/08/2015)

| | | | | | | |
|------------|--|------|------|------|------|-------|
| 24/07/2015 | | 1,23 | 0 | 0,3 | 1,23 | 0,12 |
| 25/07/2015 | | 0,02 | 0 | 0 | 0,02 | 0,00 |
| 26/07/2015 | | 2,57 | 3,7 | 0 | 2,57 | 2,28 |
| 27/07/2015 | | 0,99 | 0 | 0 | 0,99 | 0,00 |
| 28/07/2015 | | 1,52 | 0,9 | 0 | 1,52 | 0,55 |
| 29/07/2015 | | 1,23 | 0,2 | 0 | 1,23 | 0,12 |
| 30/07/2015 | | 0,73 | 2,4 | 0 | 0,73 | 1,48 |
| 31/07/2015 | | 0,03 | 0 | 0,6 | 0,03 | 0,23 |
| 1/08/2015 | | 0,01 | 0 | 0 | 0,01 | 0,00 |
| 2/08/2015 | | 0,06 | 0,4 | 0 | 0,06 | 0,25 |
| 3/08/2015 | | 0,74 | 5,6 | 7,2 | 0,74 | 6,21 |
| 4/08/2015 | | 3,23 | 0,1 | 35,8 | 3,23 | 13,80 |
| 5/08/2015 | | 0,17 | 0 | 0 | 0,17 | 0,00 |
| 6/08/2015 | | 0,03 | 5,5 | 1,9 | 0,03 | 4,12 |
| 7/08/2015 | | 1,18 | 30,2 | 2,9 | 1,18 | 19,73 |
| 8/08/2015 | | 1,68 | 33,6 | 4,2 | 1,68 | 22,32 |
| 9/08/2015 | | 0,08 | 0 | 0 | 0,08 | 0,00 |
| 10/08/2015 | | 1,04 | 16 | 2,6 | 1,04 | 10,86 |
| 11/08/2015 | | 1,23 | 0,1 | 0 | 1,23 | 0,06 |
| 12/08/2015 | | 1,79 | 0 | 0 | 1,79 | 0,00 |
| 13/08/2015 | | 2,32 | 2,5 | 1,6 | 2,32 | 2,15 |
| 14/08/2015 | | 0,77 | 16,8 | 0,5 | 0,77 | 10,55 |

Tabla 24. Llenado de Datos en fechas vacías con el Método de Razones de Distancia
(17/03/2016 a 06/04/2016)

| | | | | | | |
|------------|--|-------|------|-----|-------|-------|
| 17/03/2016 | | 6,72 | 0,8 | 0,3 | 6,72 | 0,61 |
| 18/03/2016 | | 0,36 | 0 | 0 | 0,36 | 0,00 |
| 19/03/2016 | | 1,21 | 0 | 3,5 | 1,21 | 1,34 |
| 20/03/2016 | | 0,48 | 0 | 0 | 0,48 | 0,00 |
| 21/03/2016 | | 0,11 | 0 | 0 | 0,11 | 0,00 |
| 22/03/2016 | | 0,05 | 0 | 0 | 0,05 | 0,00 |
| 23/03/2016 | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,00 |
| 24/03/2016 | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,00 |
| 25/03/2016 | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,00 |
| 26/03/2016 | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,00 |
| 27/03/2016 | | 14,63 | 99,5 | 0,6 | 14,63 | 61,56 |
| 28/03/2016 | | 4,04 | 0 | 0,7 | 4,04 | 0,27 |
| 29/03/2016 | | 0,1 | 0 | 0,6 | 0,1 | 0,23 |
| 30/03/2016 | | 0,23 | 12,7 | 7,5 | 0,23 | 10,71 |
| 31/03/2016 | | 0,97 | 0 | 0 | 0,97 | 0,00 |
| 1/04/2016 | | 8,26 | 6,8 | 0,1 | 8,26 | 4,23 |
| 2/04/2016 | | 5,5 | 6,7 | 4,6 | 5,5 | 5,89 |
| 3/04/2016 | | 7,39 | 2,6 | 0,2 | 7,39 | 1,68 |
| 4/04/2016 | | 0,38 | 3,2 | 6,6 | 0,38 | 4,50 |
| 5/04/2016 | | 4,12 | 0,1 | 0 | 4,12 | 0,06 |
| 6/04/2016 | | 2,56 | 0 | 0 | 2,56 | 0,00 |

4.4.3 Método por promedios vecinales

Se aplica la fórmula relacionada al promedio con las 4 fuentes de datos completos de precipitación, la primera es la fuente satelital de los datos obtenidos de la estación NasaPower, la segunda y la tercera pertenecen a dos estaciones del Ideam: Piedecuesta Granja y La Floresta. Finalmente se utiliza los datos obtenidos del método IDW. La Tabla 25, muestra la aplicación de la metodología para las primeras fechas de datos, es decir, del 16/04/2009 al 3/05/2009, cabe aclarar que de estas fechas se tienen valores de registro de precipitación en la estación principal que se encuentra ubicada en la Universidad Pontificia Bolivariana. Además, es notorio que las alteraciones de valores por sus diferentes condiciones hacen que el promedio vecinal, en ocasiones, se aleje de los datos base de precipitación. De esta tabla, la primera columna refiere a la fecha de los datos; la segunda columna evidencia los datos obtenidos de la estación UPB; la tercera Columna son los datos de precipitación obtenidos por NasaPower; la cuarta columna pertenece a los valores de la estación Ideam Piedecuesta; la quinta columna a los datos obtenidos por el método IDW; la sexta Columna a la Precipitación de la Estación Ideam La Floresta; finalmente, la sexta columna refiere al resultado de los cuatro promedios vecinales y que llenan el vacío faltante de la estación UPB entre los años 2013 a 2015 y sus

faltantes, está encerrada en un cuadro naranja.

Tabla 25.Llenado de datos con la metodología de Promedios Vecinales (16/04/2009 a 3/05/2009)

| FECHA | PRECIPITACIÓN UPB (mm) | PRECIPITACIÓN NASA (mm) | PRECIPITACIÓN IDEAM PCTA (mm) | Precipitación IDW(mm) | PRECIPITACIÓN IDEAM LA FLORESTA | Metodología de Llenado PROMEDIO VECINAL |
|------------|------------------------|-------------------------|-------------------------------|-----------------------|---------------------------------|---|
| 16/04/2009 | 0,6 | 4,53 | 8 | 5,77 | 0 | 4,57 |
| 17/04/2009 | 0,4 | 1,29 | 0 | 2,40 | 8,6 | 3,07 |
| 18/04/2009 | 0,2 | 4,11 | 6,5 | 4,69 | 0 | 3,82 |
| 19/04/2009 | 8,6 | 0,9 | 0,3 | 2,70 | 8,9 | 3,20 |
| 20/04/2009 | 12,6 | 2,79 | 17,3 | 15,07 | 9,3 | 11,11 |
| 21/04/2009 | 1,8 | 5,54 | 0,7 | 0,50 | 0 | 1,69 |
| 22/04/2009 | 0,2 | 2,02 | 0 | 0,00 | 0 | 0,51 |
| 23/04/2009 | 0 | 1,01 | 0,3 | 0,22 | 0 | 0,38 |
| 24/04/2009 | 0 | 0,11 | 0 | 0,00 | 0 | 0,03 |
| 25/04/2009 | 0 | 0,13 | 0 | 0,00 | 0 | 0,03 |
| 26/04/2009 | 1 | 0,12 | 0 | 0,00 | 0 | 0,03 |
| 27/04/2009 | 1 | 0,05 | 0,2 | 0,14 | 0 | 0,10 |
| 28/04/2009 | 3 | 0,07 | 29,3 | 24,89 | 13,5 | 16,94 |
| 29/04/2009 | 3,2 | 0,24 | 1,8 | 1,30 | 0 | 0,83 |
| 30/04/2009 | 6 | 0,12 | 3,2 | 3,06 | 2,7 | 2,27 |
| 1/05/2009 | 0,2 | 0,08 | 1,1 | 1,13 | 1,2 | 0,88 |
| 2/05/2009 | 15,4 | 3,6 | 0,7 | 0,50 | 0 | 1,20 |
| 3/05/2009 | 7,6 | 36,92 | 55,2 | 42,44 | 9,5 | 36,02 |

Así como en el método de regresión lineal, se escogen tres rangos de fechas aleatorios para analizar el comportamiento y similitud de la metodología de promedios vecinales, en este caso se analiza la Tabla 26 con las fechas de 13/09/2013 a 08/10/2013; la Tabla 27 del 09/04/2014 a 06/15/2014; la Tabla 28 del 29/08/2015 a 25/09/2015; la Tabla 29 del 08/03/2016 a 04/04/2016. Se puede ver la segunda columna, vacía, correspondiente a los datos faltantes de precipitación en la estación UPB en el periodo de tiempo seleccionado.

Tabla 26. Llenado de Datos en fechas vacías con el Método de Promedios Vecinales
(13/09/2013 a 08/10/2013)

| | | | | | | |
|------------|--|-------|-----|------|------|------|
| 13/09/2013 | | 3,85 | 0,1 | 0,07 | 0 | 1,01 |
| 14/09/2013 | | 0,23 | 0 | 0,00 | 0 | 0,06 |
| 15/09/2013 | | 0,52 | 0,3 | 0,36 | 0,5 | 0,42 |
| 16/09/2013 | | 0,23 | 0 | 0,03 | 0,1 | 0,09 |
| 17/09/2013 | | 0,24 | 0 | 0,00 | 0 | 0,06 |
| 18/09/2013 | | 0,76 | 4,1 | 3,01 | 0,2 | 2,02 |
| 19/09/2013 | | 0,07 | 0,2 | 0,40 | 0,9 | 0,39 |
| 20/09/2013 | | 0,23 | 0 | 0,00 | 0 | 0,06 |
| 21/09/2013 | | 0 | 0 | 0,00 | 0 | 0,00 |
| 22/09/2013 | | 0,17 | 0 | 0,00 | 0 | 0,04 |
| 23/09/2013 | | 3,53 | 0,3 | 3,79 | 12,8 | 5,11 |
| 24/09/2013 | | 0,36 | 0 | 0,00 | 0 | 0,09 |
| 25/09/2013 | | 3,71 | 1,9 | 1,62 | 0,9 | 2,03 |
| 26/09/2013 | | 3,82 | 0 | 0,00 | 0 | 0,96 |
| 27/09/2013 | | 27,17 | 0,1 | 0,07 | 0 | 6,84 |
| 28/09/2013 | | 11,15 | 1,1 | 0,79 | 0 | 3,26 |
| 29/09/2013 | | 0,48 | 2,8 | 2,02 | 0 | 1,32 |
| 30/09/2013 | | 24,95 | 0 | 0,81 | 2,9 | 7,16 |
| 1/10/2013 | | 11,74 | 0,1 | 0,07 | 0 | 2,98 |
| 2/10/2013 | | 0,1 | 0,1 | 0,07 | 0 | 0,07 |
| 3/10/2013 | | 4,4 | 2 | 1,55 | 0,4 | 2,09 |
| 4/10/2013 | | 6,44 | 7,6 | 7,40 | 6,9 | 7,09 |
| 5/10/2013 | | 0,08 | 4,4 | 3,17 | 0 | 1,91 |
| 6/10/2013 | | 0,01 | 0 | 0,00 | 0 | 0,00 |
| 7/10/2013 | | 3,55 | 3,7 | 3,84 | 4,2 | 3,82 |
| 8/10/2013 | | 0,38 | 0,7 | 0,50 | 0 | 0,40 |

Tabla 27. Llenado de Datos en fechas vacías con el Método de Promedios Vecinales
(09/04/2014 a 06/15/2014)

| | | | | | | |
|------------|--|-------|------|-------|------|-------|
| 9/04/2014 | | 0,32 | 0,1 | 0,07 | 0 | 0,12 |
| 10/04/2014 | | 0,07 | 0 | 0,00 | 0 | 0,02 |
| 11/04/2014 | | 0,04 | 0 | 0,00 | 0 | 0,01 |
| 12/04/2014 | | 4,58 | 0 | 3,21 | 11,5 | 4,82 |
| 13/04/2014 | | 0,31 | 0 | 0,00 | 0 | 0,08 |
| 14/04/2014 | | 0,01 | 0 | 0,00 | 0 | 0,00 |
| 15/04/2014 | | 3,78 | 1,5 | 1,53 | 1,6 | 2,10 |
| 16/04/2014 | | 2,95 | 0 | 0,25 | 0,9 | 1,03 |
| 17/04/2014 | | 0,64 | 12,3 | 10,37 | 5,4 | 7,18 |
| 18/04/2014 | | 4,09 | 1,3 | 0,94 | 0 | 1,58 |
| 19/04/2014 | | 1,3 | 0 | 1,90 | 6,8 | 2,50 |
| 20/04/2014 | | 0,66 | 3 | 2,16 | 0 | 1,46 |
| 21/04/2014 | | 8,9 | 19,3 | 15,64 | 6,2 | 12,51 |
| 22/04/2014 | | 3,81 | 0 | 0,00 | 0 | 0,95 |
| 23/04/2014 | | 18,43 | 52,2 | 55,97 | 65,7 | 48,07 |
| 24/04/2014 | | 3,98 | 1,3 | 1,27 | 1,2 | 1,94 |
| 25/04/2014 | | 5,7 | 1,5 | 1,33 | 0,9 | 2,36 |
| 26/04/2014 | | 2,88 | 0 | 0,00 | 0 | 0,72 |
| 27/04/2014 | | 0,52 | 0 | 0,00 | 0 | 0,13 |
| 28/04/2014 | | 0,03 | 8 | 5,77 | 0 | 3,45 |
| 29/04/2014 | | 0,06 | 0,1 | 0,07 | 0 | 0,06 |
| 30/04/2014 | | 1,16 | 5 | 3,80 | 0,7 | 2,66 |
| 1/05/2014 | | 0,62 | 6,5 | 5,10 | 1,5 | 3,43 |
| 2/05/2014 | | 0,46 | 0,3 | 0,22 | 0 | 0,24 |
| 3/05/2014 | | 8,63 | 0,7 | 1,04 | 1,9 | 3,07 |
| 4/05/2014 | | 13,01 | 0,3 | 0,41 | 0,7 | 3,61 |
| 5/05/2014 | | 3,46 | 0 | 0,00 | 0 | 0,87 |
| 6/05/2014 | | 0,73 | 7,5 | 8,09 | 9,6 | 6,48 |

Tabla 28. Llenado de Datos en fechas vacías con el Método de Promedios Vecinales
(29/08/2015 a 25/09/2015)

| | | | | | | |
|------------|--|-------|------|-------|------|-------|
| 29/08/2015 | | 0,2 | 0,2 | 0,23 | 0,3 | 0,23 |
| 30/08/2015 | | 1,65 | 0 | 0,00 | 0 | 0,41 |
| 31/08/2015 | | 3,92 | 20,6 | 16,05 | 4,3 | 11,22 |
| 1/09/2015 | | 1,39 | 0 | 0,00 | 0 | 0,35 |
| 2/09/2015 | | 0,93 | 7,3 | 7,27 | 7,2 | 5,68 |
| 3/09/2015 | | 0,3 | 0,1 | 0,16 | 0,3 | 0,21 |
| 4/09/2015 | | 0,09 | 0 | 0,00 | 0 | 0,02 |
| 5/09/2015 | | 3,28 | 5 | 3,60 | 0 | 2,97 |
| 6/09/2015 | | 0,76 | 6 | 4,32 | 0 | 2,77 |
| 7/09/2015 | | 0,1 | 0,4 | 2,02 | 6,2 | 2,18 |
| 8/09/2015 | | 0,04 | 0 | 0,00 | 0 | 0,01 |
| 9/09/2015 | | 0,06 | 0 | 0,00 | 0 | 0,02 |
| 10/09/2015 | | 0,86 | 8,4 | 6,39 | 1,2 | 4,21 |
| 11/09/2015 | | 0,44 | 0,4 | 0,29 | 0 | 0,28 |
| 12/09/2015 | | 0,01 | 0 | 0,00 | 0 | 0,00 |
| 13/09/2015 | | 0,07 | 0,3 | 0,22 | 0 | 0,15 |
| 14/09/2015 | | 0,11 | 2,1 | 1,99 | 1,7 | 1,47 |
| 15/09/2015 | | 0,03 | 0 | 0,00 | 0 | 0,01 |
| 16/09/2015 | | 9,3 | 2 | 1,53 | 0,3 | 3,28 |
| 17/09/2015 | | 6,54 | 0 | 0,00 | 0 | 1,64 |
| 18/09/2015 | | 10,92 | 2,8 | 3,72 | 6,1 | 5,89 |
| 19/09/2015 | | 7,97 | 17,8 | 15,96 | 11,2 | 13,23 |
| 20/09/2015 | | 7,42 | 8,9 | 14,29 | 28,2 | 14,70 |
| 21/09/2015 | | 0,76 | 0 | 0,00 | 0 | 0,19 |
| 22/09/2015 | | 0,5 | 0 | 0,22 | 0,8 | 0,38 |
| 23/09/2015 | | 5,38 | 1 | 1,22 | 1,8 | 2,35 |
| 24/09/2015 | | 1,01 | 0 | 0,00 | 0 | 0,25 |
| 25/09/2015 | | 0,15 | 0 | 0,00 | 0 | 0,04 |

Tabla 29. Llenado de Datos en fechas vacías con el Método de Promedios Vecinales
(08/03/2016 a 04/04/2016)

| | | | | | | |
|------------|--|-------|------|-------|-----|-------|
| 8/03/2016 | | 4,54 | 0,1 | 2,33 | 8,1 | 3,77 |
| 9/03/2016 | | 0,72 | 58 | 41,81 | 0 | 25,13 |
| 10/03/2016 | | 0,05 | 0,2 | 0,14 | 0 | 0,10 |
| 11/03/2016 | | 0,07 | 0 | 0,00 | 0 | 0,02 |
| 12/03/2016 | | 0,04 | 0 | 0,00 | 0 | 0,01 |
| 13/03/2016 | | 0,06 | 0 | 0,00 | 0 | 0,02 |
| 14/03/2016 | | 0,06 | 6,7 | 4,89 | 0,2 | 2,96 |
| 15/03/2016 | | 0,01 | 0 | 0,00 | 0 | 0,00 |
| 16/03/2016 | | 3,89 | 18,2 | 17,59 | 16 | 13,92 |
| 17/03/2016 | | 6,72 | 0,8 | 0,66 | 0,3 | 2,12 |
| 18/03/2016 | | 0,36 | 0 | 0,00 | 0 | 0,09 |
| 19/03/2016 | | 1,21 | 0 | 0,98 | 3,5 | 1,42 |
| 20/03/2016 | | 0,48 | 0 | 0,00 | 0 | 0,12 |
| 21/03/2016 | | 0,11 | 0 | 0,00 | 0 | 0,03 |
| 22/03/2016 | | 0,05 | 0 | 0,00 | 0 | 0,01 |
| 23/03/2016 | | 0 | 0 | 0,00 | 0 | 0,00 |
| 24/03/2016 | | 0 | 0 | 0,00 | 0 | 0,00 |
| 25/03/2016 | | 0 | 0 | 0,00 | 0 | 0,00 |
| 26/03/2016 | | 0 | 0 | 0,00 | 0 | 0,00 |
| 27/03/2016 | | 14,63 | 99,5 | 71,89 | 0,6 | 46,65 |
| 28/03/2016 | | 4,04 | 0 | 0,20 | 0,7 | 1,23 |
| 29/03/2016 | | 0,1 | 0 | 0,17 | 0,6 | 0,22 |
| 30/03/2016 | | 0,23 | 12,7 | 11,25 | 7,5 | 7,92 |
| 31/03/2016 | | 0,97 | 0 | 0,00 | 0 | 0,24 |
| 1/04/2016 | | 8,26 | 6,8 | 4,93 | 0,1 | 5,02 |
| 2/04/2016 | | 5,5 | 6,7 | 6,11 | 4,6 | 5,73 |
| 3/04/2016 | | 7,39 | 2,6 | 1,93 | 0,2 | 3,03 |
| 4/04/2016 | | 0,38 | 3,2 | 4,15 | 6,6 | 3,58 |

4.4.4 Método por razones promedio

Este método es igual al método de estimación por la razón de valores normales donde se ponderan precipitaciones de estaciones índices con las debidas proporciones de precipitación normal de la estación a estudio, de aquí que la fórmula pueda presentarse de otra manera como puede representarse en la Ecuación 15 siguiendo los mismos parámetros:

Ecuación 15. Ecuación estimación por la razón de los valores normales

$$P_x = \frac{1}{n} \left[\left(\frac{N_x}{N_1} \right) P_1 + \left(\frac{N_x}{N_2} \right) P_2 + \dots + \left(\frac{N_x}{N_n} \right) P_n \right]$$

Donde:

- P_x : precipitación (faltante) de la estación en estudio "x" durante el período de tiempo por completar.
- n : número de estaciones pluviométricas con datos de registros continuos cercanas a la estación en estudio "x", a la cual se le va a completar su registro.
- N_x : precipitación normal media anual a nivel multianual de la estación en estudio "x".
- N_1, \dots, N_n : precipitación normal media anual a nivel multianual de las estaciones índices (1 a n).
- P_1, \dots, P_n : precipitación de las estaciones índice (1 a n) durante el mismo período de tiempo por completar (del dato faltante)

Siguiendo la metodología planteada anteriormente, se procede a calcular el promedio de las precipitaciones anuales en un periodo común, en este caso se escoge el año 2011 ya que presenta un registro completo y además presenta más afinidad entre los valores de los datos comparados con las otras estaciones. Se calculan las precipitaciones en este año para cada estación incluida la UPB. Se conoce que los años completos del 2014 y del 2015 presentan nulidad completa a registros de precipitación, por ende, se procede a calcular el promedio de precipitación para cada uno de estos años obtenidos de cada estación. Finalmente, se aplica la Ecuación 4 o la Ecuación 15, obteniendo como resultado un dato anual por cada año vacío para el llenado de registro. En la Tabla 30 se puede ver el resultado de estos cálculos, las celdas amarillas representan el resultado del promedio de precipitación anual faltante, se aclara que el número de estaciones es de cuatro. Los

nombres de las variables son irrelevantes ya que la “P” inicial refiere a precipitación y su acompañamiento son las siglas de las estaciones, en su orden, UPB, NasaPower, Ideam Piedecuesta Granja, Método IDW, Ideam La Floresta.

Tabla 30. Aplicación Método por razones promedio

| | Variables | Precipitación Promedio Anual | Número de Estaciones | 4 |
|--|-------------|------------------------------|----------------------|---|
| Promedio Precipitación anual periodo común 2011 | PUPB | 4,7310 | | |
| | PN | 5,0454 | | |
| | PIPG | 5,1145 | | |
| | PIDW | 4,9469 | | |
| | PILF | 4,5142 | | |
| Precipitación de las estaciones en el periodo faltante 2014 | PUPB | 3,9068 | | |
| | PN | 3,2648 | | |
| | PIPG | 4,7362 | | |
| | PIDW | 4,4585 | | |
| | PILF | 3,7416 | | |
| Precipitación de las estaciones en el periodo faltante 2015 | PUPB | 2,8624 | | |
| | PN | 2,6094 | | |
| | PIPG | 3,7290 | | |
| | PIDW | 3,3198 | | |
| | PILF | 2,2695 | | |

4.4.5 Método por correlación con estaciones vecinas

Para la aplicación de este método es necesario conocer las correlaciones ya que es válido para valores menores a 0,8, la Tabla 31 representa los valores de correlación entre las estaciones elaborados por la herramienta de Excel.

Tabla 31. Valores de Correlación entre las estaciones

| Correlación | <i>PRECIPITACIÓN UPB (mm)</i> | <i>PRECIPITACIÓN NASA (mm)</i> | <i>PRECIPITACIÓN PCTA (mm)</i> | <i>IDW</i> |
|----------------------------|-----------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|------------|
| PRECIPITACIÓN UPB (mm) | 1 | | | |
| PRECIPITACIÓN NASA (mm) | 0,292083982 | 1 | | |
| PRECIPITACIÓN PCTA (mm) | 0,341033434 | 0,324714056 | 1 | |
| IDW | 0,367629303 | 0,357535378 | 0,9443392 | 1 |

Para la aplicación del método se usan las correlaciones relacionadas con la estación principal, además, se realizan dos variantes del método, la primera es la realización de este con dos estaciones y la otra variante es hacerlo con tres estaciones. Las estaciones que se utilizaron en su orden fueron la estación NasaPower, la estación Ideam Piedecuesta Granja y el método IDW, la razón es porque poseen ubicaciones en el punto exacto o se encuentran ubicadas lo más cerca posible sin variaciones altimétricas. Como refiere la Ecuación 5 se multiplican los valores de precipitación de cada estación por su respectivo coeficiente y se divide en la suma de los coeficientes de correlación. La Tabla 32 representa la aplicación del método en las primeras fechas de registro (de estas fechas se tienen datos de la estación UPB), las últimas dos columnas señaladas de amarillo son los resultados estimados.

Tabla 32. Aplicación del Método de Correlación Estaciones Vecinas (16/04/2009 a 03/05/2009)

| FECHA | PRECIPITACIÓN NASA (mm) | PRECIPITACIÓN PCTA GRANJA (mm) | IDW (mm) | Precipitación Estimada 2 Estaciones (mm) | Precipitación Estimada 3 Estaciones (mm) |
|------------|----------------------------|-----------------------------------|----------|---|---|
| 16/04/2009 | 4,53 | 8 | 5,77 | 6,3991 | 6,167 |
| 17/04/2009 | 1,29 | 0 | 2,40 | 0,5951 | 1,259 |
| 18/04/2009 | 4,11 | 6,5 | 4,69 | 5,3974 | 5,136 |
| 19/04/2009 | 0,9 | 0,3 | 2,70 | 0,5768 | 1,357 |
| 20/04/2009 | 2,79 | 17,3 | 15,07 | 10,6059 | 12,244 |
| 21/04/2009 | 5,54 | 0,7 | 0,50 | 2,9329 | 2,041 |
| 22/04/2009 | 2,02 | 0 | 0,00 | 0,9319 | 0,590 |
| 23/04/2009 | 1,01 | 0,3 | 0,22 | 0,6276 | 0,476 |
| 24/04/2009 | 0,11 | 0 | 0,00 | 0,0507 | 0,032 |
| 25/04/2009 | 0,13 | 0 | 0,00 | 0,0600 | 0,038 |
| 26/04/2009 | 0,12 | 0 | 0,00 | 0,0554 | 0,035 |
| 27/04/2009 | 0,05 | 0,2 | 0,14 | 0,1308 | 0,136 |
| 28/04/2009 | 0,07 | 29,3 | 24,89 | 15,8150 | 19,148 |
| 29/04/2009 | 0,24 | 1,8 | 1,30 | 1,0803 | 1,160 |
| 30/04/2009 | 0,12 | 3,2 | 3,06 | 1,7791 | 2,250 |
| 1/05/2009 | 0,08 | 1,1 | 1,13 | 0,6294 | 0,813 |
| 2/05/2009 | 3,6 | 0,7 | 0,50 | 2,0379 | 1,475 |
| 3/05/2009 | 36,92 | 55,2 | 42,44 | 46,7667 | 45,177 |

Se escogen tres rangos de fechas aleatorios para analizar el comportamiento de la metodología de correlación estaciones vecinas, la primera columna representa sus fechas, la segunda columna los datos de precipitación de la NasaPower, la tercera columna los datos de precipitación registrados en la estación Piedecuesta Granja, estas dos estaciones se utilizan para aplicar la correlación de dos estaciones vecinas. La cuarta columna refiere a los datos de precipitación obtenidos de la relocalización por el método IDW, con esta estación se aplica el método de correlación con tres estaciones vecinas, cabe aclarar que el uso de dos y tres estaciones es el más frecuente en la literatura. Las columnas quinta y sexta refieren los resultados aplicados con cada variante. En este caso se analiza la

Tabla 33 en el rango de fecha de 12/09/2013 a 01/10/2013; la Tabla 34 de 01/06/2014 a 22/06/2014 y la Tabla 35 13/03/2016 a 03/04/2016. Estos rangos de fechas no tienen datos de precipitación en la estación UPB, de ahí su color rojo representativo.

Tabla 33. Aplicación del Método de Correlación Estaciones Vecinas (12/09/2013 a 01/10/2013)

| | | | | | |
|------------|---|-------|------|-------|------|
| 12/09/2013 | 1 | 8,46 | 21,2 | 15,92 | 2,3 |
| 13/09/2013 | | 3,85 | 0,1 | 0,07 | 0 |
| 14/09/2013 | | 0,23 | 0 | 0,00 | 0 |
| 15/09/2013 | | 0,52 | 0,3 | 0,36 | 0,5 |
| 16/09/2013 | | 0,23 | 0 | 0,03 | 0,1 |
| 17/09/2013 | | 0,24 | 0 | 0,00 | 0 |
| 18/09/2013 | | 0,76 | 4,1 | 3,01 | 0,2 |
| 19/09/2013 | | 0,07 | 0,2 | 0,40 | 0,9 |
| 20/09/2013 | | 0,23 | 0 | 0,00 | 0 |
| 21/09/2013 | | 0 | 0 | 0,00 | 0 |
| 22/09/2013 | | 0,17 | 0 | 0,00 | 0 |
| 23/09/2013 | | 3,53 | 0,3 | 3,79 | 12,8 |
| 24/09/2013 | | 0,36 | 0 | 0,00 | 0 |
| 25/09/2013 | | 3,71 | 1,9 | 1,62 | 0,9 |
| 26/09/2013 | | 3,82 | 0 | 0,00 | 0 |
| 27/09/2013 | | 27,17 | 0,1 | 0,07 | 0 |
| 28/09/2013 | | 11,15 | 1,1 | 0,79 | 0 |
| 29/09/2013 | | 0,48 | 2,8 | 2,02 | 0 |
| 30/09/2013 | | 24,95 | 0 | 0,81 | 2,9 |
| 1/10/2013 | | 11,74 | 0,1 | 0,07 | 0 |

Tabla 34. Aplicación del Método de Correlación Estaciones Vecinas (01/06/2014 a 22/06/2014)

| | | | | | |
|------------|--|------|-----|-------|------|
| 1/06/2014 | | 1,41 | 0 | 0,00 | 0 |
| 2/06/2014 | | 1,02 | 0,1 | 0,10 | 0,1 |
| 3/06/2014 | | 0,12 | 0,1 | 0,07 | 0 |
| 4/06/2014 | | 7,24 | 1,5 | 1,08 | 0 |
| 5/06/2014 | | 2,7 | 2,2 | 4,60 | 10,8 |
| 6/06/2014 | | 8,42 | 0,4 | 5,45 | 18,5 |
| 7/06/2014 | | 1,11 | 0,9 | 0,84 | 0,7 |
| 8/06/2014 | | 0,2 | 0 | 0,00 | 0 |
| 9/06/2014 | | 1,57 | 0 | 0,00 | 0 |
| 10/06/2014 | | 0,69 | 0,6 | 3,84 | 12,2 |
| 11/06/2014 | | 0,59 | 0 | 0,00 | 0 |
| 12/06/2014 | | 0,61 | 0,8 | 0,72 | 0,5 |
| 13/06/2014 | | 2,19 | 0 | 0,00 | 0 |
| 14/06/2014 | | 8,48 | 2,3 | 12,99 | 40,6 |
| 15/06/2014 | | 1,17 | 3,3 | 2,49 | 0,4 |
| 16/06/2014 | | 0,29 | 0 | 0,03 | 0,1 |
| 17/06/2014 | | 1,48 | 0 | 0,00 | 0 |
| 18/06/2014 | | 0,1 | 0 | 0,00 | 0 |
| 19/06/2014 | | 5 | 2,3 | 16,57 | 53,4 |
| 20/06/2014 | | 3,44 | 3,3 | 3,69 | 4,7 |
| 21/06/2014 | | 1,47 | 0,2 | 0,17 | 0,1 |
| 22/06/2014 | | 0,81 | 2,4 | 1,76 | 0,1 |

Tabla 35. Aplicación del Método de Correlación Estaciones Vecinas (13/03/2016 a 03/04/2016)

| | | | | | |
|------------|--|-------|------|-------|-----|
| 13/03/2016 | | 0,06 | 0 | 0,00 | 0 |
| 14/03/2016 | | 0,06 | 6,7 | 4,89 | 0,2 |
| 15/03/2016 | | 0,01 | 0 | 0,00 | 0 |
| 16/03/2016 | | 3,89 | 18,2 | 17,59 | 16 |
| 17/03/2016 | | 6,72 | 0,8 | 0,66 | 0,3 |
| 18/03/2016 | | 0,36 | 0 | 0,00 | 0 |
| 19/03/2016 | | 1,21 | 0 | 0,98 | 3,5 |
| 20/03/2016 | | 0,48 | 0 | 0,00 | 0 |
| 21/03/2016 | | 0,11 | 0 | 0,00 | 0 |
| 22/03/2016 | | 0,05 | 0 | 0,00 | 0 |
| 23/03/2016 | | 0 | 0 | 0,00 | 0 |
| 24/03/2016 | | 0 | 0 | 0,00 | 0 |
| 25/03/2016 | | 0 | 0 | 0,00 | 0 |
| 26/03/2016 | | 0 | 0 | 0,00 | 0 |
| 27/03/2016 | | 14,63 | 99,5 | 71,89 | 0,6 |
| 28/03/2016 | | 4,04 | 0 | 0,20 | 0,7 |
| 29/03/2016 | | 0,1 | 0 | 0,17 | 0,6 |
| 30/03/2016 | | 0,23 | 12,7 | 11,25 | 7,5 |
| 31/03/2016 | | 0,97 | 0 | 0,00 | 0 |
| 1/04/2016 | | 8,26 | 6,8 | 4,93 | 0,1 |
| 2/04/2016 | | 5,5 | 6,7 | 6,11 | 4,6 |
| 3/04/2016 | | 7,39 | 2,6 | 1,93 | 0,2 |

4.4.6 Método por regresiones múltiples

Para aplicar este método deben conocerse de igual manera las correlaciones, ver Tabla 36, en este caso de todas las estaciones ya que son regresiones múltiples, se utilizan las cuatro estaciones para estimar la precipitación de los datos faltantes en la estación UPB, esta tabla se hace a través del programa Microsoft Excel y su herramienta análisis de datos.

Tabla 36. Correlaciones de precipitación de todas las estaciones

| <i>Precipitaciones</i> | <i>P UPB (mm)</i> | <i>P NASAPOW (mm)</i> | <i>P PCTA (mm)</i> | <i>IDW (mm)</i> | <i>P LA FLORESTA (mm)</i> |
|------------------------------------|-------------------|---------------------------|------------------------|-----------------|-------------------------------|
| PRECIPITACIÓN UPB (mm) | 1 | | | | |
| PRECIPITACIÓN NASA (mm) | 0,2920 | 1 | | | |
| PRECIPITACIÓN PCTA (mm) | 0,3410 | 0,3247 | 1 | | |
| IDW (mm) | 0,3816 | 0,3712 | 0,9794 | 1 | |
| P IDEAM FLORESTA (mm) | 0,3860 | 0,3997 | 0,5552 | 0,7116 | 1 |

La aplicación del método consiste en multiplicar la precipitación de cada estación con su respectivo coeficiente de correlación, comparado con la estación UPB, sumando los resultados de cada estación. La Tabla 37 representa la aplicación del método para las primeras fechas, de 16/04/2009 a 04/05/2009, de registro de datos (de estas fechas hay valores de precipitación en la estación UPB). Las columnas conservan el mismo orden que las metodologías anteriores de fecha, valores de precipitación de la estación NasaPower, Ideam Piedecuesta Granja, método IDW e Ideam La Floresta. Finalmente, la última columna señalada de amarillo representa los resultados del método para estimar los valores faltantes.

Tabla 37. Aplicación del método Regresiones Múltiples (16/04/2009 a 04/05/2009)

| FECHA | PRECIPITACIÓN NASA (mm) | PRECIPITACIÓN PCTA (mm) | IDW (mm) | P IDEAM FLORESTA (mm) | PRECIPITACIÓN ESTIMADA (mm) |
|------------|-------------------------|-------------------------|----------|-----------------------|-----------------------------|
| 16/04/2009 | 4,53 | 8 | 5,77 | 0 | 6,25 |
| 17/04/2009 | 1,29 | 0 | 2,40 | 8,6 | 4,61 |
| 18/04/2009 | 4,11 | 6,5 | 4,69 | 0 | 5,20 |
| 19/04/2009 | 0,9 | 0,3 | 2,70 | 8,9 | 4,83 |
| 20/04/2009 | 2,79 | 17,3 | 15,07 | 9,3 | 16,05 |
| 21/04/2009 | 5,54 | 0,7 | 0,50 | 0 | 2,05 |
| 22/04/2009 | 2,02 | 0 | 0,00 | 0 | 0,59 |
| 23/04/2009 | 1,01 | 0,3 | 0,22 | 0 | 0,48 |
| 24/04/2009 | 0,11 | 0 | 0,00 | 0 | 0,03 |
| 25/04/2009 | 0,13 | 0 | 0,00 | 0 | 0,04 |
| 26/04/2009 | 0,12 | 0 | 0,00 | 0 | 0,04 |
| 27/04/2009 | 0,05 | 0,2 | 0,14 | 0 | 0,14 |
| 28/04/2009 | 0,07 | 29,3 | 24,89 | 13,5 | 24,72 |
| 29/04/2009 | 0,24 | 1,8 | 1,30 | 0 | 1,18 |
| 30/04/2009 | 0,12 | 3,2 | 3,06 | 2,7 | 3,34 |
| 1/05/2009 | 0,08 | 1,1 | 1,13 | 1,2 | 1,29 |
| 2/05/2009 | 3,6 | 0,7 | 0,50 | 0 | 1,48 |
| 3/05/2009 | 36,92 | 55,2 | 42,44 | 9,5 | 49,47 |
| 4/05/2009 | 11,13 | 0,7 | 1,12 | 2,2 | 4,77 |

Se escogen tres rangos de fechas aleatorios para analizar el comportamiento de la metodología de regresiones múltiples, la primera columna representa sus fechas, la segunda columna los datos de precipitación de la NasaPower, la tercera columna los datos de precipitación registrados en la estación Piedecuesta Granja, la cuarta columna refiere a los datos de precipitación obtenidos de la relocalización por el método IDW, la quinta columna refiere la precipitación de la estación Ideam La floresta y la última columna, señalada de amarillo, representa los resultados de precipitación estimada.

La Tabla 38 representa la precipitación estimada para el rango de fechas de 12/09/2013 a 03/10/2013; la Tabla 39 en el rango de fechas de 01/12/2015 a 22/12/2015, y la Tabla 40 de 15/03/2016 a 05/04/2016. Estos rangos de fechas no tienen datos de precipitación en la estación UPB, de ahí su color rojo representativo.

Tabla 38. Aplicación del método Regresiones Múltiples (12/09/2013 a 03/10/2013)

| | | | | | |
|------------|-------|------|-------|------|-------|
| 12/09/2013 | 8,46 | 21,2 | 15,92 | 2,3 | 16,66 |
| 13/09/2013 | 3,85 | 0,1 | 0,07 | 0 | 1,19 |
| 14/09/2013 | 0,23 | 0 | 0,00 | 0 | 0,07 |
| 15/09/2013 | 0,52 | 0,3 | 0,36 | 0,5 | 0,58 |
| 16/09/2013 | 0,23 | 0 | 0,03 | 0,1 | 0,12 |
| 17/09/2013 | 0,24 | 0 | 0,00 | 0 | 0,07 |
| 18/09/2013 | 0,76 | 4,1 | 3,01 | 0,2 | 2,85 |
| 19/09/2013 | 0,07 | 0,2 | 0,40 | 0,9 | 0,59 |
| 20/09/2013 | 0,23 | 0 | 0,00 | 0 | 0,07 |
| 21/09/2013 | 0 | 0 | 0,00 | 0 | 0,00 |
| 22/09/2013 | 0,17 | 0 | 0,00 | 0 | 0,05 |
| 23/09/2013 | 3,53 | 0,3 | 3,79 | 12,8 | 7,52 |
| 24/09/2013 | 0,36 | 0 | 0,00 | 0 | 0,11 |
| 25/09/2013 | 3,71 | 1,9 | 1,62 | 0,9 | 2,70 |
| 26/09/2013 | 3,82 | 0 | 0,00 | 0 | 1,12 |
| 27/09/2013 | 27,17 | 0,1 | 0,07 | 0 | 8,00 |
| 28/09/2013 | 11,15 | 1,1 | 0,79 | 0 | 3,93 |
| 29/09/2013 | 0,48 | 2,8 | 2,02 | 0 | 1,87 |
| 30/09/2013 | 24,95 | 0 | 0,81 | 2,9 | 8,71 |
| 1/10/2013 | 11,74 | 0,1 | 0,07 | 0 | 3,49 |
| 2/10/2013 | 0,1 | 0,1 | 0,07 | 0 | 0,09 |
| 3/10/2013 | 4,4 | 2 | 1,55 | 0,4 | 2,71 |

Tabla 39. Aplicación del método Regresiones Múltiples (01/12/2015 a 22/12/2015)

| | | | | | |
|------------|------|-----|------|-----|------|
| 1/12/2015 | 5,38 | 0 | 0,00 | 0 | 1,57 |
| 2/12/2015 | 0,21 | 0 | 0,00 | 0 | 0,06 |
| 3/12/2015 | 6,06 | 0,3 | 0,36 | 0,5 | 2,20 |
| 4/12/2015 | 6,21 | 0 | 0,00 | 0 | 1,81 |
| 5/12/2015 | 3,2 | 3 | 2,22 | 0,2 | 2,88 |
| 6/12/2015 | 0,67 | 0 | 0,00 | 0 | 0,20 |
| 7/12/2015 | 0 | 0 | 0,00 | 0 | 0,00 |
| 8/12/2015 | 0 | 0 | 0,00 | 0 | 0,00 |
| 9/12/2015 | 0 | 0 | 0,00 | 0 | 0,00 |
| 10/12/2015 | 0 | 0 | 0,00 | 0 | 0,00 |
| 11/12/2015 | 0 | 0 | 0,00 | 0 | 0,00 |
| 12/12/2015 | 0 | 0 | 0,00 | 0 | 0,00 |
| 13/12/2015 | 0,01 | 0 | 0,00 | 0 | 0,00 |
| 14/12/2015 | 2,3 | 2,7 | 2,53 | 2,1 | 3,37 |
| 15/12/2015 | 1,68 | 0,1 | 0,07 | 0 | 0,55 |
| 16/12/2015 | 0,05 | 0 | 0,00 | 0 | 0,01 |
| 17/12/2015 | 0,8 | 3,7 | 2,81 | 0,5 | 2,76 |
| 18/12/2015 | 0,31 | 0,9 | 0,70 | 0,2 | 0,74 |
| 19/12/2015 | 0,01 | 0 | 0,00 | 0 | 0,00 |
| 20/12/2015 | 0 | 0 | 0,00 | 0 | 0,00 |
| 21/12/2015 | 0 | 0 | 0,00 | 0 | 0,00 |
| 22/12/2015 | 0 | 0 | 0,00 | 0 | 0,00 |

Tabla 40. Aplicación del método Regresiones Múltiples (15/03/2016 a 05/04/2016)

| | | | | | |
|------------|-------|------|-------|-----|-------|
| 15/03/2016 | 0,01 | 0 | 0,00 | 0 | 0,00 |
| 16/03/2016 | 3,89 | 18,2 | 17,59 | 16 | 20,23 |
| 17/03/2016 | 6,72 | 0,8 | 0,66 | 0,3 | 2,60 |
| 18/03/2016 | 0,36 | 0 | 0,00 | 0 | 0,11 |
| 19/03/2016 | 1,21 | 0 | 0,98 | 3,5 | 2,08 |
| 20/03/2016 | 0,48 | 0 | 0,00 | 0 | 0,14 |
| 21/03/2016 | 0,11 | 0 | 0,00 | 0 | 0,03 |
| 22/03/2016 | 0,05 | 0 | 0,00 | 0 | 0,01 |
| 23/03/2016 | 0 | 0 | 0,00 | 0 | 0,00 |
| 24/03/2016 | 0 | 0 | 0,00 | 0 | 0,00 |
| 25/03/2016 | 0 | 0 | 0,00 | 0 | 0,00 |
| 26/03/2016 | 0 | 0 | 0,00 | 0 | 0,00 |
| 27/03/2016 | 14,63 | 99,5 | 71,89 | 0,6 | 65,87 |
| 28/03/2016 | 4,04 | 0 | 0,20 | 0,7 | 1,52 |
| 29/03/2016 | 0,1 | 0 | 0,17 | 0,6 | 0,32 |
| 30/03/2016 | 0,23 | 12,7 | 11,25 | 7,5 | 11,59 |
| 31/03/2016 | 0,97 | 0 | 0,00 | 0 | 0,28 |
| 1/04/2016 | 8,26 | 6,8 | 4,93 | 0,1 | 6,65 |
| 2/04/2016 | 5,5 | 6,7 | 6,11 | 4,6 | 8,00 |
| 3/04/2016 | 7,39 | 2,6 | 1,93 | 0,2 | 3,86 |
| 4/04/2016 | 0,38 | 3,2 | 4,15 | 6,6 | 5,33 |
| 5/04/2016 | 4,12 | 0,1 | 0,07 | 0 | 1,26 |

4.4.7 Método del vector regional

Este método no pudo ser aplicado debido a que no fue posible encontrar el índice pluviométrico regional.

4.4.8 Razón Q

Para la evaluación de este método se deben hallar de primera mano los valores de “q” como lo especifica la Ecuación 8, esto se hace con la sumatoria de la estación principal (UPB) sobre la sumatoria de la estación secundaria, estos valores se muestran en la Tabla 41. Luego se multiplica la precipitación diaria obtenida de cada estación por el factor “q” encontrado anteriormente.

Tabla 41. Valores “Q”

| VALORES Q | |
|---------------|------------|
| UPB/NASAPOWER | 0,67211214 |
| UPB/PCTA | 0,56283505 |
| UPB/IDW | 0,6132215 |
| UPB/FLORESTA | 0,79754791 |

Nuevamente, en la Tabla 42 se aplica la metodología para los primeros valores de fechas desde el 16/04/2009 a 3/05/2009 donde ya se conocen los datos de precipitación de la estación inicial (UPB). Las últimas cuatro columnas señaladas de amarillo representan los resultados del método de Razón Q a partir de la estación NasaPower, Ideam Piedecuesta Granja, los valores obtenidos del método IDW y la estación del Ideam La Floresta, los datos obtenidos en mm representan valores de lluvia.

Tabla 42. Llenado de datos con la metodología de Razón Q (16/04/2009 a 3/05/2009)

| FECHA | PRECIPITACIÓN UPB (mm) | PRECIPITACIÓN NASAPOWEE (mm) | PRECIPITACIÓN IDEAM PCTA (mm) | IDW | PRECIPITACIÓN IDEAM LA FLORESTA | UPB/nasa | UPB/PCTA | UPB/IDW | UPB/FLORESTA |
|------------|------------------------|------------------------------|-------------------------------|-------|---------------------------------|----------|----------|---------|--------------|
| 16/04/2009 | 0,6 | 4,53 | 8 | 5,77 | 0 | 3,04 | 4,50 | 3,54 | 0,00 |
| 17/04/2009 | 0,4 | 1,29 | 0 | 2,40 | 8,6 | 0,87 | 0,00 | 1,47 | 6,86 |
| 18/04/2009 | 0,2 | 4,11 | 6,5 | 4,69 | 0 | 2,76 | 3,66 | 2,87 | 0,00 |
| 19/04/2009 | 8,6 | 0,9 | 0,3 | 2,70 | 8,9 | 0,60 | 0,17 | 1,66 | 7,10 |
| 20/04/2009 | 12,6 | 2,79 | 17,3 | 15,07 | 9,3 | 1,88 | 9,74 | 9,24 | 7,42 |
| 21/04/2009 | 1,8 | 5,54 | 0,7 | 0,50 | 0 | 3,72 | 0,39 | 0,31 | 0,00 |
| 22/04/2009 | 0,2 | 2,02 | 0 | 0,00 | 0 | 1,36 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 23/04/2009 | 0 | 1,01 | 0,3 | 0,22 | 0 | 0,68 | 0,17 | 0,13 | 0,00 |
| 24/04/2009 | 0 | 0,11 | 0 | 0,00 | 0 | 0,07 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 25/04/2009 | 0 | 0,13 | 0 | 0,00 | 0 | 0,09 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 26/04/2009 | 1 | 0,12 | 0 | 0,00 | 0 | 0,08 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 27/04/2009 | 1 | 0,05 | 0,2 | 0,14 | 0 | 0,03 | 0,11 | 0,09 | 0,00 |
| 28/04/2009 | 3 | 0,07 | 29,3 | 24,89 | 13,5 | 0,05 | 16,49 | 15,26 | 10,77 |
| 29/04/2009 | 3,2 | 0,24 | 1,8 | 1,30 | 0 | 0,16 | 1,01 | 0,80 | 0,00 |
| 30/04/2009 | 6 | 0,12 | 3,2 | 3,06 | 2,7 | 0,08 | 1,80 | 1,88 | 2,15 |
| 1/05/2009 | 0,2 | 0,08 | 1,1 | 1,13 | 1,2 | 0,05 | 0,62 | 0,69 | 0,96 |
| 2/05/2009 | 15,4 | 3,6 | 0,7 | 0,50 | 0 | 2,42 | 0,39 | 0,31 | 0,00 |
| 3/05/2009 | 7,6 | 36,92 | 55,2 | 42,44 | 9,5 | 24,81 | 31,07 | 26,03 | 7,58 |

Así como en los demás métodos, se escogen tres rangos de fechas aleatorias para analizar el comportamiento y similitud de la metodología de Razón Q, la primera columna característica por su color rojo que representa las fechas de nulidad de datos; la segunda columna representa los datos faltantes de precipitación de la estación principal (UPB) característico de todos los métodos; la tercera, cuarta, quinta y sexta identifican los valores ya conocidos de precipitación a partir de las diferentes fuentes, en su orden precipitación obtenida de la estación NasaPower, Ideam Piedecuesta Granja, metodología IDW y precipitación Ideam La Floresta. Las cuatro columnas siguientes representan los valores de precipitación hallados a partir del método Razón Q de las estaciones de datos comparadas con la estación UPB, esto puede comprobarse en la ya que todas las demás tablas se hacen bajo el mismo parámetro de referencia, pero en diferentes periodos de tiempo. Por ejemplo, la Tabla 43 representa los valores que se obtuvieron al aplicar este método en el rango vacío de datos del 12/09/2013 a 02/10/2013; la Tabla 44 en el rango de fechas de 31/05/2015 a 21/06/2015, la Tabla 45 del 15/12/2015 a 05/01/2016; y la Tabla 46 del 14/03/2016 a 04/04/2016.

Tabla 43. Llenado de Datos en fechas vacías con el Método de Razón Q (12/09/2013 a 02/10/2013)

| | | | | | | | | | |
|------------|---|-------|------|-------|------|-------|-------|------|-------|
| 12/09/2013 | 1 | 8,46 | 21,2 | 15,92 | 2,3 | 5,69 | 11,93 | 9,76 | 1,83 |
| 13/09/2013 | | 3,85 | 0,1 | 0,07 | 0 | 2,59 | 0,06 | 0,04 | 0,00 |
| 14/09/2013 | | 0,23 | 0 | 0,00 | 0 | 0,15 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 15/09/2013 | | 0,52 | 0,3 | 0,36 | 0,5 | 0,35 | 0,17 | 0,22 | 0,40 |
| 16/09/2013 | | 0,23 | 0 | 0,03 | 0,1 | 0,15 | 0,00 | 0,02 | 0,08 |
| 17/09/2013 | | 0,24 | 0 | 0,00 | 0 | 0,16 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 18/09/2013 | | 0,76 | 4,1 | 3,01 | 0,2 | 0,51 | 2,31 | 1,85 | 0,16 |
| 19/09/2013 | | 0,07 | 0,2 | 0,40 | 0,9 | 0,05 | 0,11 | 0,24 | 0,72 |
| 20/09/2013 | | 0,23 | 0 | 0,00 | 0 | 0,15 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 21/09/2013 | | 0 | 0 | 0,00 | 0 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 22/09/2013 | | 0,17 | 0 | 0,00 | 0 | 0,11 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 23/09/2013 | | 3,53 | 0,3 | 3,79 | 12,8 | 2,37 | 0,17 | 2,32 | 10,21 |
| 24/09/2013 | | 0,36 | 0 | 0,00 | 0 | 0,24 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 25/09/2013 | | 3,71 | 1,9 | 1,62 | 0,9 | 2,49 | 1,07 | 0,99 | 0,72 |
| 26/09/2013 | | 3,82 | 0 | 0,00 | 0 | 2,57 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 27/09/2013 | | 27,17 | 0,1 | 0,07 | 0 | 18,26 | 0,06 | 0,04 | 0,00 |
| 28/09/2013 | | 11,15 | 1,1 | 0,79 | 0 | 7,49 | 0,62 | 0,49 | 0,00 |
| 29/09/2013 | | 0,48 | 2,8 | 2,02 | 0 | 0,32 | 1,58 | 1,24 | 0,00 |
| 30/09/2013 | | 24,95 | 0 | 0,81 | 2,9 | 16,77 | 0,00 | 0,50 | 2,31 |
| 1/10/2013 | | 11,74 | 0,1 | 0,07 | 0 | 7,89 | 0,06 | 0,04 | 0,00 |
| 2/10/2013 | | 0,1 | 0,1 | 0,07 | 0 | 0,07 | 0,06 | 0,04 | 0,00 |

Tabla 44. Llenado de Datos en fechas vacías con el Método de Razón Q (31/05/2015 a 21/06/2015)

| | | | | | | | | | |
|------------|--|------|-----|------|------|------|------|------|------|
| 31/05/2015 | | 2,1 | 2,4 | 3,32 | 5,7 | 1,41 | 1,35 | 2,04 | 4,55 |
| 1/06/2015 | | 1,96 | 1,4 | 1,43 | 1,5 | 1,32 | 0,79 | 0,88 | 1,20 |
| 2/06/2015 | | 1,79 | 1,8 | 1,97 | 2,4 | 1,20 | 1,01 | 1,21 | 1,91 |
| 3/06/2015 | | 0,25 | 0 | 0,00 | 0 | 0,17 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 4/06/2015 | | 0,32 | 0 | 0,00 | 0 | 0,22 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 5/06/2015 | | 0,24 | 0 | 0,00 | 0 | 0,16 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 6/06/2015 | | 1,56 | 0,7 | 3,69 | 11,4 | 1,05 | 0,39 | 2,26 | 9,09 |
| 7/06/2015 | | 1,93 | 8,7 | 8,92 | 9,5 | 1,30 | 4,90 | 5,47 | 7,58 |
| 8/06/2015 | | 4,08 | 1 | 1,70 | 3,5 | 2,74 | 0,56 | 1,04 | 2,79 |
| 9/06/2015 | | 4,54 | 0 | 0,00 | 0 | 3,05 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 10/06/2015 | | 0,26 | 9,5 | 6,85 | 0 | 0,17 | 5,35 | 4,20 | 0,00 |
| 11/06/2015 | | 0,34 | 0 | 0,00 | 0 | 0,23 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 12/06/2015 | | 3,17 | 3 | 2,16 | 0 | 2,13 | 1,69 | 1,33 | 0,00 |
| 13/06/2015 | | 1,18 | 0 | 0,00 | 0 | 0,79 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 14/06/2015 | | 1,34 | 2,5 | 2,22 | 1,5 | 0,90 | 1,41 | 1,36 | 1,20 |
| 15/06/2015 | | 1,17 | 2 | 1,61 | 0,6 | 0,79 | 1,13 | 0,99 | 0,48 |
| 16/06/2015 | | 0,55 | 0 | 0,00 | 0 | 0,37 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 17/06/2015 | | 0,2 | 0 | 0,00 | 0 | 0,13 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 18/06/2015 | | 0,08 | 0 | 0,00 | 0 | 0,05 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 19/06/2015 | | 1,33 | 0,3 | 0,44 | 0,8 | 0,89 | 0,17 | 0,27 | 0,64 |
| 20/06/2015 | | 0,15 | 0,2 | 0,14 | 0 | 0,10 | 0,11 | 0,09 | 0,00 |
| 21/06/2015 | | 1,15 | 1,1 | 1,49 | 2,5 | 0,77 | 0,62 | 0,91 | 1,99 |

Tabla 45. Llenado de Datos en fechas vacías con el Método de Razón Q (15/12/2015 a 05/01/2016)

| | | | | | | | | | |
|------------|--|------|-----|------|-----|------|------|------|------|
| 15/12/2015 | | 1,68 | 0,1 | 0,07 | 0 | 1,13 | 0,06 | 0,04 | 0,00 |
| 16/12/2015 | | 0,05 | 0 | 0,00 | 0 | 0,03 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 17/12/2015 | | 0,8 | 3,7 | 2,81 | 0,5 | 0,54 | 2,08 | 1,72 | 0,40 |
| 18/12/2015 | | 0,31 | 0,9 | 0,70 | 0,2 | 0,21 | 0,51 | 0,43 | 0,16 |
| 19/12/2015 | | 0,01 | 0 | 0,00 | 0 | 0,01 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 20/12/2015 | | 0 | 0 | 0,00 | 0 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 21/12/2015 | | 0 | 0 | 0,00 | 0 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 22/12/2015 | | 0 | 0 | 0,00 | 0 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 23/12/2015 | | 0 | 0 | 0,00 | 0 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 24/12/2015 | | 0 | 0 | 0,00 | 0 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 25/12/2015 | | 0 | 0 | 0,00 | 0 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 26/12/2015 | | 0 | 0 | 0,00 | 0 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 27/12/2015 | | 0 | 0 | 0,00 | 0 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 28/12/2015 | | 0 | 0 | 0,00 | 0 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 29/12/2015 | | 0 | 0 | 0,00 | 0 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 30/12/2015 | | 0 | 0 | 0,00 | 0 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 31/12/2015 | | 0,26 | 1,7 | 1,28 | 0,2 | 0,17 | 0,96 | 0,79 | 0,16 |
| 1/01/2016 | | 0,81 | 0,7 | 0,53 | 0,1 | 0,54 | 0,39 | 0,33 | 0,08 |
| 2/01/2016 | | 0,43 | 2,4 | 2,04 | 1,1 | 0,29 | 1,35 | 1,25 | 0,88 |
| 3/01/2016 | | 0,56 | 1,2 | 1,34 | 1,7 | 0,38 | 0,68 | 0,82 | 1,36 |
| 4/01/2016 | | 0,62 | 0,4 | 0,65 | 1,3 | 0,42 | 0,23 | 0,40 | 1,04 |
| 5/01/2016 | | 3,05 | 0 | 0,00 | 0 | 2,05 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |

Tabla 46. Llenado de Datos en fechas vacías con el Método de Razón Q (14/03/2016 a 04/04/2016)

| | | | | | | | | | |
|------------|--|-------|------|-------|-----|------|-------|-------|-------|
| 14/03/2016 | | 0,06 | 6,7 | 4,89 | 0,2 | 0,04 | 3,77 | 3,00 | 0,16 |
| 15/03/2016 | | 0,01 | 0 | 0,00 | 0 | 0,01 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 16/03/2016 | | 3,89 | 18,2 | 17,59 | 16 | 2,61 | 10,24 | 10,78 | 12,76 |
| 17/03/2016 | | 6,72 | 0,8 | 0,66 | 0,3 | 4,52 | 0,45 | 0,40 | 0,24 |
| 18/03/2016 | | 0,36 | 0 | 0,00 | 0 | 0,24 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 19/03/2016 | | 1,21 | 0 | 0,98 | 3,5 | 0,81 | 0,00 | 0,60 | 2,79 |
| 20/03/2016 | | 0,48 | 0 | 0,00 | 0 | 0,32 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 21/03/2016 | | 0,11 | 0 | 0,00 | 0 | 0,07 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 22/03/2016 | | 0,05 | 0 | 0,00 | 0 | 0,03 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 23/03/2016 | | 0 | 0 | 0,00 | 0 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 24/03/2016 | | 0 | 0 | 0,00 | 0 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 25/03/2016 | | 0 | 0 | 0,00 | 0 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 26/03/2016 | | 0 | 0 | 0,00 | 0 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 27/03/2016 | | 14,63 | 99,5 | 71,89 | 0,6 | 9,83 | 56,00 | 44,08 | 0,48 |
| 28/03/2016 | | 4,04 | 0 | 0,20 | 0,7 | 2,72 | 0,00 | 0,12 | 0,56 |
| 29/03/2016 | | 0,1 | 0 | 0,17 | 0,6 | 0,07 | 0,00 | 0,10 | 0,48 |
| 30/03/2016 | | 0,23 | 12,7 | 11,25 | 7,5 | 0,15 | 7,15 | 6,90 | 5,98 |
| 31/03/2016 | | 0,97 | 0 | 0,00 | 0 | 0,65 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 1/04/2016 | | 8,26 | 6,8 | 4,93 | 0,1 | 5,55 | 3,83 | 3,02 | 0,08 |
| 2/04/2016 | | 5,5 | 6,7 | 6,11 | 4,6 | 3,70 | 3,77 | 3,75 | 3,67 |
| 3/04/2016 | | 7,39 | 2,6 | 1,93 | 0,2 | 4,97 | 1,46 | 1,18 | 0,16 |
| 4/04/2016 | | 0,38 | 3,2 | 4,15 | 6,6 | 0,26 | 1,80 | 2,54 | 5,26 |

Adicionalmente se evalúa el método de Media Aritmética y se concluye que no puede aplicarse ya que los datos faltantes no son menores al 10% de la totalidad de los datos.

4.5 VALIDACIÓN DE LAS METODOLOGÍAS DE LLENADO UTILIZADAS

4.5.1 . Correlación Estadística y Coeficiente de Correlación de Pearson

La aplicación de las metodologías de llenado se hizo de manera directa, a través de fórmulas en Excel, con los métodos de correlación estadística y el coeficiente de correlación de Pearson, la característica general de estas 2 ecuaciones es que se calculan a partir de sumatorias totales, obteniendo resultados generales para la totalidad de los datos evaluados a partir de las diferentes metodologías de llenado. Para el método de Correlación estadística se aplica la fórmula de Excel de =COEF.DE.CORREL (Matriz 1; Matriz 2) la matriz UPB siempre va de manera constante comparada con los resultados de las demás metodologías. El coeficiente de Pearson se aplica bajo la fórmula =PEARSON (Matriz 1; Matriz 2), ambas concluyen el mismo resultado.

El coeficiente de determinación se realiza para comparar ambos coeficientes, conociendo que es definido como una proporción de varianza general de la regresión, mostrando la bondad de ajuste de las metodologías a la variable de precipitación que se explica, si su valor es cercano a 1 tendrá mayor ajuste, si al contrario si es cercano a cero está poco ajustado y no es tan fiable. La Tabla 47 muestra a modo de resumen los resultados de la aplicación de estas dos metodologías, como puede verse los resultados se encuentran entre los valores de 0 y 1; para el coeficiente de Pearson esto significa que existe una correlación positiva moderada, es decir, que la relación entre los métodos y la estación UPB en cuanto a precipitación es en sentido directo, ambas aumentan o disminuyen de manera simultánea asemejando una línea recta con la cercanía de puntos gráficos.

Para los resultados de la correlación estadística indican que su correlación es fuerte y directa, que sea fuerte significa que hay más puntos cercanos a la recta, la parte directa quiere decir que cuando al aumentar una variable la otra se comporta de la misma manera en forma creciente.

Tabla 47. Resultado Validación de Metodologías con Correlación Estadística y Coeficiente de Pearson

| Correlación Estadística | Coeficiente de Correlación de Pearson | Coeficiente de determinación | Validación de las Metodologías | | | | Reg. Múlt | Prome. Vecinal | Razones de Distancia | | Razón Q | | | | | | | |
|-------------------------|---------------------------------------|------------------------------|--|--|--|--|-----------|----------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|----------------|---------------------|---------------|---------------|--------------|-------------------|
| | | | REG LINEAL | | | | | | Correlación Estaciones Vec. | Precipitación Estimada (mm) | Precipitación Estimada (mm) | Precipitación Estimada (mm) | NASA/PCTA (mm) | PCTA/ FLORESTA (mm) | UPB/NASA (mm) | UPB/PCTA (mm) | UPB/IDW (mm) | UPB/FLORESTA (mm) |
| 0,2921 | 0,2921 | 0,10265 | NASA POWER | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0,3410 | 0,3410 | 0,17161 | IDEAM PCTA | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0,3816 | 0,3816 | 0,19273 | IDW | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0,3861 | 0,3861 | 0,11686 | Floresta | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0,3842 | 0,3842 | 0,21253 | Precipitación Estimada 2 Estaciones (mm) | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0,3888 | 0,3888 | 0,21094 | Precipitación Estimada 3 Estaciones (mm) | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0,4173 | 0,4173 | 0,21903 | Precipitación Estimada (mm) | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0,4181 | 0,4181 | 0,22195 | Precipitación Estimada (mm) | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0,2921 | 0,2921 | 0,10265 | NASA/PCTA (mm) | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0,3951 | 0,3951 | 0,19786 | PCTA/ FLORESTA (mm) | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0,2921 | 0,2921 | 0,10265 | UPB/NASA (mm) | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0,3410 | 0,3410 | 0,17161 | UPB/PCTA (mm) | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0,3816 | 0,3816 | 0,19273 | UPB/IDW (mm) | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0,3861 | 0,3861 | 0,11686 | UPB/FLORESTA (mm) | | | | | | | | | | | | | | | |

4.5.1 Error medio absoluto

Para la aplicación del error medio absoluto se aplicó la Ecuación 11 para cada celda, es decir para cada fecha, para dividir los datos fijos de la estación UPB comparados con los datos obtenidos de la metodología de llenado. La Tabla 48 evidencia unas celdas amarillas que representan el porcentaje de error evaluado por cada una de las 14 metodologías usadas, cabe aclarar que como en métodos como regresión lineal se obtienen datos por cada estación de medición pluviométrica; esta misma tabla se captura para el rango de fecha de 16/04/2009 a

04/05/2009, donde se conocen también los datos registrados por la estación UPB y se realiza la diferencia entre las mediciones registradas por la UPB y el resultado de la metodología de llenado de datos, esto se divide sobre la cantidad de datos registrados.

Los resultados del error medio absoluto son muy pequeños, tanto así que es necesario tomar 4 cifras significativas para poder diferenciarlos entre ellos, sus resultados reflejan comportamientos lineales igualando en el promedio las diferencias individuales, entre menos valor tenga el resultado más parecido es al valor observado, sin embargo, debe recordarse que es un valor medio. Se realizan dos partes de la misma sección como se puede ver en la Tabla 48 y la Tabla 49 ya que la es muy extensa, de manera horizontal, la captura de datos de validación.

Tabla 48. Validación de resultados por el método de error medio absoluto (16/04/2009 a 04/05/2009) Parte 1

| FECHA | UPB | REGRESIÓN LINEAL | | | | | | | | Correlación Estaciones Vecinas | | | | Regresiones M |
|------------|------------------------|------------------|---------|------------|---------|-------|---------|----------|---------|--|---------|--|---------|-----------------------------|
| | PRECIPITACIÓN UPB (mm) | NASAPOWER | Error % | IDEAM PCTA | Error % | IDW | Error % | Floresta | Error % | Precipitación Estimada 2 Estaciones (mm) | Error % | Precipitación Estimada 3 Estaciones (mm) | Error % | PRECIPITACIÓN ESTIMADA (mm) |
| 16/04/2009 | 0,60 | 1,08 | 0,0002 | 2,25 | 0,00064 | 1,78 | 0,00046 | 0,13 | 0,00018 | 6,40 | 0,00224 | 6,17 | 0,00215 | 6,25 |
| 17/04/2009 | 0,40 | 0,33 | 0,00003 | 0,10 | 0,00012 | 0,81 | 0,00016 | 3,32 | 0,00113 | 0,60 | 0,00008 | 1,26 | 0,00033 | 4,61 |
| 18/04/2009 | 0,20 | 0,99 | 0,00030 | 1,84 | 0,00064 | 1,47 | 0,00049 | 0,13 | 0,00003 | 5,40 | 0,00201 | 5,14 | 0,00191 | 5,20 |
| 19/04/2009 | 8,60 | 0,24 | 0,00323 | 0,18 | 0,00325 | 0,89 | 0,00298 | 3,44 | 0,00199 | 0,58 | 0,00310 | 1,36 | 0,00280 | 4,83 |
| 20/04/2009 | 12,60 | 0,68 | 0,00460 | 4,74 | 0,00303 | 4,49 | 0,00313 | 3,58 | 0,00348 | 10,61 | 0,00077 | 12,24 | 0,00014 | 16,05 |
| 21/04/2009 | 1,80 | 1,32 | 0,00019 | 0,29 | 0,00058 | 0,25 | 0,00060 | 0,13 | 0,00064 | 2,93 | 0,00044 | 2,04 | 0,00009 | 2,05 |
| 22/04/2009 | 0,20 | 0,50 | 0,00012 | 0,10 | 0,00004 | 0,11 | 0,00004 | 0,13 | 0,00003 | 0,93 | 0,00028 | 0,59 | 0,00015 | 0,59 |
| 23/04/2009 | 0,00 | 0,27 | 0,00010 | 0,18 | 0,00007 | 0,17 | 0,00007 | 0,13 | 0,00005 | 0,63 | 0,00024 | 0,48 | 0,00018 | 0,48 |
| 24/04/2009 | 0,00 | 0,06 | 0,00002 | 0,10 | 0,00004 | 0,11 | 0,00004 | 0,13 | 0,00005 | 0,05 | 0,00002 | 0,03 | 0,00001 | 0,03 |
| 25/04/2009 | 0,00 | 0,06 | 0,00002 | 0,10 | 0,00004 | 0,11 | 0,00004 | 0,13 | 0,00005 | 0,06 | 0,00002 | 0,04 | 0,00001 | 0,04 |
| 26/04/2009 | 1,00 | 0,06 | 0,00036 | 0,10 | 0,00035 | 0,11 | 0,00034 | 0,13 | 0,00033 | 0,06 | 0,00036 | 0,04 | 0,00037 | 0,04 |
| 27/04/2009 | 1,00 | 0,05 | 0,00037 | 0,15 | 0,00033 | 0,15 | 0,00033 | 0,13 | 0,00033 | 0,13 | 0,00034 | 0,14 | 0,00033 | 0,14 |
| 28/04/2009 | 3,00 | 0,05 | 0,00114 | 7,96 | 0,00192 | 7,35 | 0,00168 | 5,14 | 0,00083 | 15,81 | 0,00495 | 19,15 | 0,00624 | 24,72 |
| 29/04/2009 | 3,20 | 0,09 | 0,00120 | 0,58 | 0,00101 | 0,48 | 0,00105 | 0,13 | 0,00118 | 1,08 | 0,00082 | 1,16 | 0,00079 | 1,18 |
| 30/04/2009 | 6,00 | 0,06 | 0,00229 | 0,96 | 0,00195 | 1,00 | 0,00193 | 1,14 | 0,00188 | 1,78 | 0,00163 | 2,25 | 0,00145 | 3,34 |
| 01/05/2009 | 0,20 | 0,05 | 0,00006 | 0,40 | 0,00008 | 0,44 | 0,00009 | 0,58 | 0,00015 | 0,63 | 0,00017 | 0,81 | 0,00024 | 1,29 |
| 02/05/2009 | 15,40 | 0,87 | 0,00561 | 0,29 | 0,00584 | 0,25 | 0,00585 | 0,13 | 0,00590 | 2,04 | 0,00516 | 1,47 | 0,00538 | 1,48 |
| 03/05/2009 | 7,60 | 8,60 | 0,00039 | 14,91 | 0,00282 | 12,45 | 0,00187 | 3,66 | 0,00152 | 46,77 | 0,01513 | 45,18 | 0,01451 | 49,47 |
| 04/05/2009 | 41,40 | 2,62 | 0,01498 | 0,29 | 0,01588 | 0,43 | 0,01582 | 0,95 | 0,01562 | 5,51 | 0,01386 | 3,90 | 0,01449 | 4,77 |

Tabla 49. Validación de resultados por el método de error medio absoluto (16/04/2009 a 03/05/2009) Parte 2

| FECHA | Promedio Vecinal | | Razones de Distancia | | | | Razón Q | | | | | | | |
|------------|-----------------------------|---------|----------------------|---------|--------------------|---------|---------------|---------|---------------|---------|--------------|---------|-------------------|---------|
| | Precipitación Estimada (mm) | Error % | NASA/PCTA (mm) | Error % | PCTA/FLORESTA (mm) | Error % | UPB/NASA (mm) | Error % | UPB/PCTA (mm) | Error % | UPB/IDW (mm) | Error % | UPB/FLORESTA (mm) | Error % |
| 16/04/2009 | 4,57 | 0,00153 | 4,53 | 0,00152 | 4,93 | 0,00167 | 3,04 | 0,00094 | 4,50 | 0,00151 | 3,54 | 0,00113 | 0,00 | 0,00023 |
| 17/04/2009 | 3,07 | 0,00103 | 1,29 | 0,00034 | 3,30 | 0,00112 | 0,87 | 0,00018 | 0,00 | 0,00015 | 1,47 | 0,00041 | 6,86 | 0,00249 |
| 18/04/2009 | 3,82 | 0,00140 | 4,11 | 0,00151 | 4,01 | 0,00147 | 2,76 | 0,00099 | 3,66 | 0,00134 | 2,87 | 0,00103 | 0,00 | 0,00008 |
| 19/04/2009 | 3,20 | 0,00209 | 0,90 | 0,00297 | 3,60 | 0,00193 | 0,60 | 0,00309 | 0,17 | 0,00326 | 1,66 | 0,00268 | 7,10 | 0,00058 |
| 20/04/2009 | 11,11 | 0,00057 | 2,79 | 0,00379 | 14,23 | 0,00063 | 1,88 | 0,00414 | 9,74 | 0,00111 | 9,24 | 0,00130 | 7,42 | 0,00200 |
| 21/04/2009 | 1,69 | 0,00004 | 5,54 | 0,00144 | 0,43 | 0,00053 | 3,72 | 0,00074 | 0,39 | 0,00054 | 0,31 | 0,00058 | 0,00 | 0,00070 |
| 22/04/2009 | 0,51 | 0,00012 | 2,02 | 0,00070 | 0,00 | 0,00008 | 1,36 | 0,00045 | 0,00 | 0,00008 | 0,00 | 0,00008 | 0,00 | 0,00008 |
| 23/04/2009 | 0,38 | 0,00015 | 1,01 | 0,00039 | 0,18 | 0,00007 | 0,68 | 0,00026 | 0,17 | 0,00007 | 0,13 | 0,00005 | 0,00 | 0,00000 |
| 24/04/2009 | 0,03 | 0,00001 | 0,11 | 0,00004 | 0,00 | 0,00000 | 0,07 | 0,00003 | 0,00 | 0,00000 | 0,00 | 0,00000 | 0,00 | 0,00000 |
| 25/04/2009 | 0,03 | 0,00001 | 0,13 | 0,00005 | 0,00 | 0,00000 | 0,09 | 0,00003 | 0,00 | 0,00000 | 0,00 | 0,00000 | 0,00 | 0,00000 |
| 26/04/2009 | 0,03 | 0,00037 | 0,12 | 0,00034 | 0,00 | 0,00039 | 0,08 | 0,00036 | 0,00 | 0,00039 | 0,00 | 0,00039 | 0,00 | 0,00039 |
| 27/04/2009 | 0,10 | 0,00035 | 0,05 | 0,00037 | 0,12 | 0,00034 | 0,03 | 0,00037 | 0,11 | 0,00034 | 0,09 | 0,00035 | 0,00 | 0,00039 |
| 28/04/2009 | 16,94 | 0,00538 | 0,07 | 0,00113 | 23,24 | 0,00782 | 0,05 | 0,00114 | 16,49 | 0,00521 | 15,26 | 0,00474 | 10,77 | 0,00300 |
| 29/04/2009 | 0,83 | 0,00091 | 0,24 | 0,00114 | 1,11 | 0,00081 | 0,16 | 0,00117 | 1,01 | 0,00084 | 0,80 | 0,00093 | 0,00 | 0,00124 |
| 30/04/2009 | 2,27 | 0,00144 | 0,12 | 0,00227 | 3,01 | 0,00116 | 0,08 | 0,00229 | 1,80 | 0,00162 | 1,88 | 0,00159 | 2,15 | 0,00149 |
| 1/05/2009 | 0,88 | 0,00026 | 0,08 | 0,00005 | 1,14 | 0,00036 | 0,05 | 0,00006 | 0,62 | 0,00016 | 0,69 | 0,00019 | 0,96 | 0,00029 |
| 2/05/2009 | 1,20 | 0,00548 | 3,60 | 0,00456 | 0,43 | 0,00578 | 2,42 | 0,00501 | 0,39 | 0,00580 | 0,31 | 0,00583 | 0,00 | 0,00595 |
| 3/05/2009 | 36,02 | 0,01098 | 36,92 | 0,01132 | 37,67 | 0,01161 | 24,81 | 0,00665 | 31,07 | 0,00906 | 26,03 | 0,00712 | 7,58 | 0,00001 |

Aleatoriamente se seleccionan cuatro tablas en diferentes rangos de fechas para la evaluación de las metodologías, no necesariamente tiene que ser en las fechas donde hay vacío de datos ya que no se podría hacer la comparación, pero si en fechas de registros completos. Por ejemplo: La Tabla 50 del rango de 18/08/2010 a 03/09/2010; la Tabla 51 del 16/05/2016 a 01/06/2016; la Tabla 52 del 12/05/2018 a 28/05/2018; y la Tabla 53 del 20/11/2018 a 06/12/2018, último periodo de registro.

Tabla 50. Validación de resultados por el método de error medio absoluto (18/08/2010 a 03/09/2010)

| FECHA | UPB | REGRESIÓN LINEAL | | | | | | | | Correlación Estaciones Vecinas | | | | Regresiones Múltiples | | Promedio Vecinal | | Razones c | |
|------------|------------------------|------------------|---------|------------|---------|------|---------|----------|---------|--|---------|--|---------|-----------------------------|---------|-----------------------------|---------|----------------|---------|
| | PRECIPITACIÓN UPB (mm) | NASA POWER | Error % | IDEAM PCTA | Error % | IDW | Error % | Floresta | Error % | Precipitación Estimada 2 Estaciones (mm) | Error % | Precipitación Estimada 3 Estaciones (mm) | Error % | PRECIPITACIÓN ESTIMADA (mm) | Error % | Precipitación Estimada (mm) | Error % | NASA/PCTA (mm) | Error % |
| 18/08/2010 | 0,00 | 0,44 | 0,00017 | 0,10 | 0,00004 | 0,11 | 0,00004 | 0,13 | 0,00005 | 0,82 | 0,00032 | 0,52 | 0,00020 | 0,52 | 0,00020 | 0,44 | 0,00017 | 1,77 | 0,00068 |
| 19/08/2010 | 0,80 | 8,05 | 0,00280 | 2,01 | 0,00047 | 4,49 | 0,00143 | 13,38 | 0,00486 | 19,77 | 0,00733 | 18,05 | 0,00666 | 32,05 | 0,01207 | 23,11 | 0,00862 | 34,56 | 0,01304 |
| 20/08/2010 | 1,80 | 1,47 | 0,00013 | 0,13 | 0,00065 | 0,40 | 0,00054 | 1,36 | 0,00017 | 2,92 | 0,00043 | 2,21 | 0,00016 | 3,50 | 0,00066 | 2,65 | 0,00033 | 6,21 | 0,00170 |
| 21/08/2010 | 0,60 | 0,53 | 0,00003 | 0,37 | 0,00009 | 0,73 | 0,00005 | 2,03 | 0,00055 | 1,52 | 0,00036 | 1,75 | 0,00044 | 3,75 | 0,00122 | 2,59 | 0,00077 | 2,13 | 0,00059 |
| 22/08/2010 | 0,40 | 0,13 | 0,00010 | 0,26 | 0,00005 | 0,36 | 0,00002 | 0,69 | 0,00011 | 0,51 | 0,00004 | 0,64 | 0,00009 | 1,23 | 0,00032 | 0,84 | 0,00017 | 0,41 | 0,00000 |
| 23/08/2010 | 0,20 | 0,16 | 0,00001 | 0,21 | 0,00000 | 0,19 | 0,00000 | 0,13 | 0,00003 | 0,47 | 0,00010 | 0,40 | 0,00008 | 0,41 | 0,00008 | 0,31 | 0,00004 | 0,55 | 0,00014 |
| 24/08/2010 | 18,80 | 0,68 | 0,00700 | 10,97 | 0,00302 | 8,80 | 0,00386 | 1,06 | 0,00685 | 23,10 | 0,00166 | 25,60 | 0,00263 | 27,00 | 0,00317 | 18,92 | 0,00005 | 2,79 | 0,00618 |
| 25/08/2010 | 0,00 | 2,50 | 0,00097 | 0,10 | 0,00004 | 0,18 | 0,00007 | 0,47 | 0,00018 | 4,90 | 0,00189 | 3,19 | 0,00123 | 3,55 | 0,00137 | 2,95 | 0,00114 | 10,63 | 0,00411 |
| 26/08/2010 | 0,60 | 0,95 | 0,00014 | 2,62 | 0,00078 | 2,28 | 0,00065 | 1,06 | 0,00018 | 6,89 | 0,00243 | 7,10 | 0,00251 | 8,18 | 0,00293 | 5,83 | 0,00202 | 3,96 | 0,00130 |
| 27/08/2010 | 12,20 | 1,13 | 0,00428 | 2,65 | 0,00369 | 2,37 | 0,00380 | 1,36 | 0,00419 | 7,29 | 0,00190 | 7,47 | 0,00183 | 8,85 | 0,00129 | 6,32 | 0,00227 | 4,71 | 0,00289 |
| 28/08/2010 | 1,60 | 1,28 | 0,00012 | 0,10 | 0,00058 | 0,11 | 0,00058 | 0,13 | 0,00057 | 2,48 | 0,00034 | 1,57 | 0,00001 | 1,57 | 0,00001 | 1,34 | 0,00010 | 5,37 | 0,00146 |
| 29/08/2010 | 0,20 | 0,18 | 0,00001 | 0,10 | 0,00004 | 0,16 | 0,00001 | 0,39 | 0,00007 | 0,29 | 0,00004 | 0,26 | 0,00002 | 0,53 | 0,00013 | 0,38 | 0,00007 | 0,63 | 0,00017 |
| 30/08/2010 | 1,20 | 3,63 | 0,00094 | 0,10 | 0,00042 | 0,15 | 0,00041 | 0,32 | 0,00034 | 7,15 | 0,00230 | 4,58 | 0,00130 | 4,77 | 0,00138 | 4,03 | 0,00109 | 15,50 | 0,00552 |
| 31/08/2010 | 1,00 | 5,58 | 0,00177 | 2,70 | 0,00066 | 3,48 | 0,00096 | 6,26 | 0,00203 | 16,25 | 0,00589 | 14,54 | 0,00523 | 21,08 | 0,00776 | 15,42 | 0,00557 | 23,90 | 0,00885 |
| 1/09/2010 | 5,80 | 1,02 | 0,00185 | 1,58 | 0,00163 | 1,54 | 0,00164 | 1,43 | 0,00169 | 4,92 | 0,00034 | 4,93 | 0,00034 | 6,35 | 0,00021 | 4,55 | 0,00048 | 4,25 | 0,00060 |
| 2/09/2010 | 0,20 | 0,54 | 0,00013 | 0,13 | 0,00003 | 0,13 | 0,00003 | 0,13 | 0,00003 | 1,06 | 0,00033 | 0,70 | 0,00019 | 0,70 | 0,00019 | 0,59 | 0,00015 | 2,18 | 0,00076 |
| 3/09/2010 | 0,00 | 0,51 | 0,00020 | 0,10 | 0,00004 | 0,11 | 0,00004 | 0,13 | 0,00005 | 0,95 | 0,00037 | 0,60 | 0,00023 | 0,60 | 0,00023 | 0,51 | 0,00020 | 2,05 | 0,00079 |

Tabla 51. Validación de resultados por el método de error medio absoluto (16/05/2016 a 01/06/2016)

| FECHA | UPB | REGRESIÓN LINEAL | | | | | | | | Correlación Estaciones Vecinas | | | | Regresiones Múltiples | | Promedio Vecinal | | Razones | |
|------------|------------------------|------------------|---------|------------|---------|-------|---------|----------|---------|--|---------|--|---------|-----------------------------|---------|-----------------------------|---------|-----------------|---------|
| | PRECIPITACIÓN UPB (mm) | NASA POWER | Error % | IDEAM PCTA | Error % | IDW | Error % | Floresta | Error % | Precipitación Estimada 2 Estaciones (mm) | Error % | Precipitación Estimada 3 Estaciones (mm) | Error % | PRECIPITACIÓN ESTIMADA (mm) | Error % | Precipitación Estimada (mm) | Error % | NASA/ PCTA (mm) | Error % |
| 16/05/2016 | 0,00 | 0,10 | 0,00004 | 0,10 | 0,00004 | 0,11 | 0,00004 | 0,13 | 0,00005 | 0,12 | 0,00005 | 0,08 | 0,00003 | 0,08 | 0,00003 | 0,07 | 0,00003 | 0,27 | 0,00010 |
| 17/05/2016 | 0,00 | 0,38 | 0,00015 | 0,18 | 0,00007 | 0,20 | 0,00008 | 0,28 | 0,00011 | 0,86 | 0,00033 | 0,66 | 0,00026 | 0,82 | 0,00032 | 0,63 | 0,00025 | 1,51 | 0,00058 |
| 18/05/2016 | 0,00 | 1,46 | 0,00057 | 0,37 | 0,00014 | 0,46 | 0,00018 | 0,76 | 0,00030 | 3,39 | 0,00131 | 2,58 | 0,00100 | 3,26 | 0,00126 | 2,52 | 0,00097 | 6,17 | 0,00238 |
| 19/05/2016 | 0,00 | 0,22 | 0,00009 | 0,10 | 0,00004 | 0,11 | 0,00004 | 0,13 | 0,00005 | 0,38 | 0,00015 | 0,24 | 0,00009 | 0,24 | 0,00009 | 0,21 | 0,00008 | 0,82 | 0,00032 |
| 20/05/2016 | 0,00 | 0,06 | 0,00002 | 0,15 | 0,00006 | 0,15 | 0,00006 | 0,13 | 0,00005 | 0,17 | 0,00006 | 0,16 | 0,00006 | 0,16 | 0,00006 | 0,12 | 0,00005 | 0,13 | 0,00005 |
| 21/05/2016 | 0,00 | 0,03 | 0,00001 | 0,10 | 0,00004 | 0,11 | 0,00004 | 0,13 | 0,00005 | 0,00 | 0,00000 | 0,00 | 0,00000 | 0,00 | 0,00000 | 0,00 | 0,00000 | 0,00 | 0,00000 |
| 22/05/2016 | 0,40 | 0,06 | 0,00013 | 0,10 | 0,00012 | 0,11 | 0,00011 | 0,13 | 0,00010 | 0,06 | 0,00013 | 0,04 | 0,00014 | 0,04 | 0,00014 | 0,03 | 0,00014 | 0,12 | 0,00011 |
| 23/05/2016 | 1,60 | 0,04 | 0,00060 | 6,51 | 0,00190 | 5,16 | 0,00137 | 0,32 | 0,00049 | 12,89 | 0,00436 | 14,53 | 0,00500 | 14,98 | 0,00517 | 10,45 | 0,00342 | 0,03 | 0,00061 |
| 24/05/2016 | 1,40 | 1,35 | 0,00002 | 0,50 | 0,00035 | 0,50 | 0,00035 | 0,51 | 0,00035 | 3,43 | 0,00079 | 2,67 | 0,00049 | 3,08 | 0,00065 | 2,39 | 0,00038 | 5,69 | 0,00166 |
| 25/05/2016 | 3,20 | 1,22 | 0,00077 | 1,74 | 0,00057 | 1,89 | 0,00051 | 2,43 | 0,00030 | 5,64 | 0,00094 | 5,82 | 0,00101 | 8,30 | 0,00197 | 5,88 | 0,00104 | 5,10 | 0,00073 |
| 26/05/2016 | 1,80 | 0,58 | 0,00047 | 0,21 | 0,00062 | 0,19 | 0,00062 | 0,13 | 0,00064 | 1,30 | 0,00019 | 0,93 | 0,00034 | 0,93 | 0,00034 | 0,76 | 0,00040 | 2,35 | 0,00021 |
| 27/05/2016 | 12,80 | 0,13 | 0,00490 | 0,13 | 0,00489 | 0,13 | 0,00489 | 0,13 | 0,00489 | 0,24 | 0,00485 | 0,18 | 0,00488 | 0,18 | 0,00488 | 0,14 | 0,00489 | 0,40 | 0,00479 |
| 28/05/2016 | 1,60 | 0,53 | 0,00041 | 1,31 | 0,00011 | 1,22 | 0,00015 | 0,91 | 0,00027 | 3,42 | 0,00070 | 3,57 | 0,00076 | 4,43 | 0,00109 | 3,14 | 0,00060 | 2,15 | 0,00021 |
| 29/05/2016 | 5,00 | 0,68 | 0,00167 | 0,18 | 0,00186 | 0,27 | 0,00183 | 0,58 | 0,00171 | 1,44 | 0,00138 | 1,11 | 0,00150 | 1,58 | 0,00132 | 1,21 | 0,00147 | 2,77 | 0,00086 |
| 30/05/2016 | 11,20 | 3,49 | 0,00298 | 12,28 | 0,00042 | 12,48 | 0,00050 | 13,19 | 0,00077 | 31,32 | 0,00777 | 35,45 | 0,00937 | 49,66 | 0,01485 | 34,51 | 0,00900 | 14,89 | 0,00143 |
| 31/05/2016 | 32,20 | 2,84 | 0,01134 | 0,37 | 0,01229 | 0,32 | 0,01231 | 0,13 | 0,01239 | 6,12 | 0,01007 | 4,14 | 0,01084 | 4,15 | 0,01083 | 3,46 | 0,01110 | 12,10 | 0,00776 |
| 1/06/2016 | 2,80 | 0,54 | 0,00087 | 1,82 | 0,00038 | 1,68 | 0,00043 | 1,21 | 0,00061 | 4,46 | 0,00064 | 4,82 | 0,00078 | 6,01 | 0,00124 | 4,23 | 0,00055 | 2,20 | 0,00023 |

Tabla 52. Validación de resultados por el método de error medio absoluto (12/05/2018 a 28/05/2018)

| FECHA | UPB | REGRESIÓN LINEAL | | | | | | | | Correlación Estaciones Vecinas | | | | Regresiones Múltiples | | Promedio Vecinal | | Razones | |
|------------|------------------------|------------------|---------|------------|---------|-------|---------|----------|---------|--|---------|--|---------|-----------------------------|---------|-----------------------------|---------|-----------------|---------|
| | PRECIPITACIÓN UPB (mm) | NASA POWER | Error % | IDEAM PCTA | Error % | IDW | Error % | Floresta | Error % | Precipitación Estimada 2 Estaciones (mm) | Error % | Precipitación Estimada 3 Estaciones (mm) | Error % | PRECIPITACIÓN ESTIMADA (mm) | Error % | Precipitación Estimada (mm) | Error % | NASA/ PCTA (mm) | Error % |
| 12/05/2018 | 1,00 | 0,22 | 0,00030 | 4,93 | 0,00152 | 3,97 | 0,00115 | 0,54 | 0,00018 | 10,06 | 0,00350 | 11,24 | 0,00396 | 11,86 | 0,00420 | 8,29 | 0,00282 | 0,79 | 0,00008 |
| 13/05/2018 | 1,00 | 0,23 | 0,00030 | 8,31 | 0,00282 | 6,98 | 0,00231 | 2,21 | 0,00047 | 16,87 | 0,00613 | 19,35 | 0,00709 | 21,85 | 0,00806 | 15,16 | 0,00547 | 0,84 | 0,00006 |
| 14/05/2018 | 9,80 | 4,75 | 0,00195 | 9,17 | 0,00024 | 10,29 | 0,00019 | 14,27 | 0,00173 | 27,58 | 0,00687 | 30,31 | 0,00792 | 45,52 | 0,01380 | 31,81 | 0,00850 | 20,32 | 0,00406 |
| 15/05/2018 | 23,60 | 1,37 | 0,00859 | 2,01 | 0,00834 | 2,03 | 0,00833 | 2,14 | 0,00829 | 6,49 | 0,00661 | 6,54 | 0,00659 | 8,72 | 0,00575 | 6,22 | 0,00671 | 5,77 | 0,00689 |
| 16/05/2018 | 0,00 | 0,14 | 0,00006 | 0,10 | 0,00004 | 0,11 | 0,00004 | 0,13 | 0,00005 | 0,22 | 0,00008 | 0,14 | 0,00005 | 0,14 | 0,00005 | 0,12 | 0,00005 | 0,47 | 0,00018 |
| 17/05/2018 | 0,00 | 1,09 | 0,00042 | 0,10 | 0,00004 | 0,11 | 0,00004 | 0,13 | 0,00005 | 2,10 | 0,00081 | 1,33 | 0,00051 | 1,33 | 0,00051 | 1,14 | 0,00044 | 4,55 | 0,00176 |
| 18/05/2018 | 0,00 | 1,67 | 0,00065 | 0,26 | 0,00010 | 0,23 | 0,00009 | 0,13 | 0,00005 | 3,58 | 0,00138 | 2,42 | 0,00094 | 2,43 | 0,00094 | 2,02 | 0,00078 | 7,06 | 0,00273 |
| 19/05/2018 | 0,60 | 0,21 | 0,00015 | 0,50 | 0,00004 | 0,53 | 0,00003 | 0,62 | 0,00001 | 1,17 | 0,00022 | 1,27 | 0,00026 | 1,79 | 0,00046 | 1,26 | 0,00025 | 0,78 | 0,00007 |
| 20/05/2018 | 2,40 | 0,31 | 0,00081 | 1,87 | 0,00020 | 1,60 | 0,00031 | 0,65 | 0,00067 | 4,11 | 0,00066 | 4,49 | 0,00081 | 5,11 | 0,00105 | 3,59 | 0,00046 | 1,21 | 0,00046 |
| 21/05/2018 | 2,00 | 0,41 | 0,00061 | 1,17 | 0,00032 | 1,12 | 0,00034 | 0,91 | 0,00042 | 2,91 | 0,00035 | 3,12 | 0,00043 | 3,98 | 0,00076 | 2,80 | 0,00031 | 1,64 | 0,00014 |
| 22/05/2018 | 0,00 | 0,32 | 0,00013 | 0,10 | 0,00004 | 0,14 | 0,00005 | 0,28 | 0,00011 | 0,58 | 0,00022 | 0,41 | 0,00016 | 0,56 | 0,00022 | 0,44 | 0,00017 | 1,25 | 0,00048 |
| 23/05/2018 | 0,80 | 0,42 | 0,00015 | 0,18 | 0,00024 | 0,24 | 0,00021 | 0,47 | 0,00013 | 0,93 | 0,00005 | 0,76 | 0,00001 | 1,12 | 0,00012 | 0,83 | 0,00001 | 1,67 | 0,00034 |
| 24/05/2018 | 2,40 | 0,54 | 0,00072 | 0,72 | 0,00065 | 0,70 | 0,00066 | 0,65 | 0,00067 | 2,25 | 0,00006 | 2,18 | 0,00009 | 2,75 | 0,00013 | 1,98 | 0,00016 | 2,19 | 0,00008 |
| 25/05/2018 | 0,00 | 0,63 | 0,00024 | 0,10 | 0,00004 | 0,11 | 0,00004 | 0,13 | 0,00005 | 1,18 | 0,00045 | 0,74 | 0,00029 | 0,74 | 0,00029 | 0,64 | 0,00025 | 2,55 | 0,00098 |
| 26/05/2018 | 0,60 | 0,57 | 0,00001 | 4,26 | 0,00141 | 3,53 | 0,00113 | 0,91 | 0,00012 | 9,41 | 0,00340 | 10,28 | 0,00374 | 11,26 | 0,00412 | 7,92 | 0,00283 | 2,31 | 0,00066 |
| 27/05/2018 | 5,20 | 4,08 | 0,00043 | 0,15 | 0,00195 | 0,34 | 0,00188 | 1,02 | 0,00161 | 8,16 | 0,00114 | 5,46 | 0,00010 | 6,40 | 0,00047 | 5,22 | 0,00001 | 17,46 | 0,00474 |
| 28/05/2018 | 0,20 | 1,02 | 0,00032 | 0,10 | 0,00004 | 0,86 | 0,00026 | 3,58 | 0,00131 | 1,96 | 0,00068 | 2,19 | 0,00077 | 5,82 | 0,00217 | 4,04 | 0,00148 | 4,25 | 0,00156 |

Tabla 53. Validación de resultados por el método de error medio absoluto (20/11/2018 a 06/12/2018)

| FECHA | UPB | REGRESIÓN LINEAL | | | | | | | Correlación Estaciones Vecinas | | | | Regresiones Múltiples | | Promedio Vecinal | | Razones c | | |
|------------|------------------------|------------------|---------|------------|---------|------|---------|----------|--------------------------------|--|---------|--|-----------------------|-----------------------------|------------------|-----------------------------|-----------|----------------|---------|
| | PRECIPITACIÓN UPB (mm) | NASA POWER | Error % | IDEAM PCTA | Error % | IDW | Error % | Floresta | Error % | Precipitación Estimada 2 Estaciones (mm) | Error % | Precipitación Estimada 3 Estaciones (mm) | Error % | PRECIPITACIÓN ESTIMADA (mm) | Error % | Precipitación Estimada (mm) | Error % | NASA/PCTA (mm) | Error % |
| 20/11/2018 | 0,00 | 0,39 | 0,00015 | 0,10 | 0,00004 | 0,11 | 0,00004 | 0,13 | 0,00005 | 0,71 | 0,00027 | 0,45 | 0,00017 | 0,45 | 0,00017 | 0,38 | 0,00015 | 1,53 | 0,00059 |
| 21/11/2018 | 0,00 | 2,33 | 0,00090 | 0,10 | 0,00004 | 0,16 | 0,00006 | 0,36 | 0,00014 | 4,56 | 0,00176 | 2,95 | 0,00114 | 3,18 | 0,00123 | 2,66 | 0,00103 | 9,89 | 0,00382 |
| 22/11/2018 | 0,00 | 3,29 | 0,00127 | 0,10 | 0,00004 | 0,11 | 0,00004 | 0,13 | 0,00005 | 6,47 | 0,00250 | 4,09 | 0,00158 | 4,10 | 0,00158 | 3,51 | 0,00135 | 14,03 | 0,00542 |
| 23/11/2018 | 0,00 | 1,90 | 0,00074 | 0,10 | 0,00004 | 0,12 | 0,00005 | 0,21 | 0,00008 | 3,72 | 0,00144 | 2,37 | 0,00092 | 2,45 | 0,00095 | 2,08 | 0,00080 | 8,06 | 0,00311 |
| 24/11/2018 | 0,00 | 0,34 | 0,00013 | 0,10 | 0,00004 | 0,11 | 0,00004 | 0,13 | 0,00005 | 0,61 | 0,00024 | 0,39 | 0,00015 | 0,39 | 0,00015 | 0,33 | 0,00013 | 1,32 | 0,00051 |
| 25/11/2018 | 0,00 | 0,11 | 0,00004 | 0,13 | 0,00005 | 0,13 | 0,00005 | 0,13 | 0,00005 | 0,21 | 0,00008 | 0,16 | 0,00006 | 0,16 | 0,00006 | 0,13 | 0,00005 | 0,34 | 0,00013 |
| 26/11/2018 | 0,00 | 1,58 | 0,00061 | 0,10 | 0,00004 | 0,11 | 0,00004 | 0,13 | 0,00005 | 3,07 | 0,00119 | 1,94 | 0,00075 | 1,94 | 0,00075 | 1,67 | 0,00064 | 6,66 | 0,00257 |
| 27/11/2018 | 0,40 | 2,31 | 0,00074 | 0,10 | 0,00012 | 0,11 | 0,00011 | 0,13 | 0,00010 | 4,53 | 0,00160 | 2,87 | 0,00095 | 2,87 | 0,00095 | 2,46 | 0,00079 | 9,82 | 0,00364 |
| 28/11/2018 | 4,00 | 0,66 | 0,00129 | 0,29 | 0,00143 | 0,25 | 0,00145 | 0,13 | 0,00149 | 1,63 | 0,00091 | 1,22 | 0,00107 | 1,23 | 0,00107 | 0,98 | 0,00117 | 2,72 | 0,00049 |
| 29/11/2018 | 0,40 | 0,32 | 0,00003 | 3,83 | 0,00132 | 3,05 | 0,00102 | 0,28 | 0,00005 | 8,06 | 0,00296 | 8,82 | 0,00325 | 9,12 | 0,00337 | 6,42 | 0,00232 | 1,24 | 0,00032 |
| 30/11/2018 | 0,00 | 0,16 | 0,00006 | 0,10 | 0,00004 | 0,11 | 0,00004 | 0,13 | 0,00005 | 0,25 | 0,00010 | 0,16 | 0,00006 | 0,16 | 0,00006 | 0,14 | 0,00005 | 0,54 | 0,00021 |
| 1/12/2018 | 0,00 | 0,05 | 0,00002 | 0,10 | 0,00004 | 0,11 | 0,00004 | 0,13 | 0,00005 | 0,04 | 0,00001 | 0,02 | 0,00001 | 0,02 | 0,00001 | 0,02 | 0,00001 | 0,08 | 0,00003 |
| 2/12/2018 | 0,00 | 0,03 | 0,00001 | 0,10 | 0,00004 | 0,11 | 0,00004 | 0,13 | 0,00005 | 0,00 | 0,00000 | 0,00 | 0,00000 | 0,00 | 0,00000 | 0,00 | 0,00000 | 0,00 | 0,00000 |
| 3/12/2018 | 0,00 | 0,61 | 0,00023 | 0,10 | 0,00004 | 0,11 | 0,00004 | 0,13 | 0,00005 | 1,14 | 0,00044 | 0,72 | 0,00028 | 0,72 | 0,00028 | 0,62 | 0,00024 | 2,47 | 0,00095 |
| 4/12/2018 | 0,00 | 0,64 | 0,00025 | 0,10 | 0,00004 | 0,11 | 0,00004 | 0,13 | 0,00005 | 1,20 | 0,00047 | 0,76 | 0,00029 | 0,76 | 0,00029 | 0,65 | 0,00025 | 2,61 | 0,00101 |
| 5/12/2018 | 0,00 | 0,69 | 0,00027 | 0,10 | 0,00004 | 0,11 | 0,00004 | 0,13 | 0,00005 | 1,31 | 0,00051 | 0,83 | 0,00032 | 0,83 | 0,00032 | 0,71 | 0,00028 | 2,85 | 0,00110 |
| 6/12/2018 | 0,00 | 0,13 | 0,00005 | 0,10 | 0,00004 | 0,11 | 0,00004 | 0,13 | 0,00005 | 0,18 | 0,00007 | 0,12 | 0,00005 | 0,12 | 0,00005 | 0,10 | 0,00004 | 0,40 | 0,00015 |

4.5.2 Error cuadrático medio:

Para la metodología del error cuadrático medio primero se hizo la resta elevada al cuadrado de cada dato registrado con el valor obtenido de la estación UPB, seguidamente se procede a realizar la sumatoria de los valores, se divide sobre el total de los datos y al resultado se le aplica raíz cuadrada, de manera general se obtienen los siguientes valores para la validación de este método, ver

Tabla 54. Aunque entre sí se obtienen valores relativamente cercanos, en general sus números son muy altos debido a que al duplicar el error entre estaciones se eleva el resultado final.

Tabla 54. Validación de datos Metodología Error Cuadrático medio

| Error cuadrático | Validación de las Metodologías | | | | Correlación Estaciones Vec. | Reg. Múlt | Prome. Vecinal | Razones de Distancia | Razón Q |
|------------------|--------------------------------|------------|------------|-----------------|--|-----------------------------|-----------------------------|----------------------|---------|
| | REG LINEAL | NASA POWER | IDEAM PCTA | IDW Floresta | | | | | |
| 9,3212 | | | | | Precipitación Estimada 2 Estaciones (mm) | Precipitación Estimada (mm) | Precipitación Estimada (mm) | NASA/PCTA (mm) | |
| 9,2035 | | | | | Precipitación Estimada 3 Estaciones (mm) | | | PCTA/ FLORESTA (mm) | |
| 9,0501 | | | | | | | | UPB/NASA (mm) | |
| 9,0445 | | | | | | | | UPB/PCTA (mm) | |
| 10,7956 | | | | | | | | UPB/IDW (mm) | |
| 11,3141 | | | | | | | | UPB/FLORESTA (mm) | |
| 13,5150 | | | | | | | | | |
| 10,5762 | | | | | | | | | |
| 10,0763 | | | | | | | | | |
| 12,1286 | | | | | | | | | |
| 9,2521 | | | | | | | | | |
| 10,3634 | | | | | | | | | |
| 9,8608 | | | | | | | | | |
| 10,2446 | | | | | | | | | |

5. DETERMINACIÓN DE ANOMALÍAS, CORRELACIÓN Y PRUEBAS DE CONSISTENCIA

Los valores de correlación se aplicaron en cada metodología, sin embargo, de manera general se aplicó el coeficiente de correlación a las metodologías utilizadas para el llenado de datos comparado con la estación UPB como se muestra en la Tabla 55, aquí se muestra la relación entre metodologías, de aquí puede analizarse que las metodologías de correlación de estaciones vecinas con 2 y 3 estaciones se relacionan bastante con los métodos de regresión múltiple y promedio vecinal (0,989). A su vez, la metodología de Razón Q desde la relación UPB/IDW con la correlación de 3 estaciones vecinas (0,982), esto se hace con valores que son muy cercanos a 1.

Tabla 55. Análisis de Datos Correlación lineal con las metodologías de Llenado.

| Estaciones | PRECIPIT UPB (mm) | NASA POWER | IDEAM PCTA | IDW | Floresta | Precipitación 2 Estaciones (mm) | Precipitación 3 Estaciones (mm) | PRECIPITACIÓN Reg. Múltiple (mm) | Precipitación Prom. Vecinal(mm) | NASA/ PCTA (mm) | PCTA/ FLORESTA | UPB/ NASA (mm) | UPB/ PCTA (mm) | UPB/ IDW (mm) | UPB/ FLORESTA |
|---|-------------------|------------|------------|-------|----------|---------------------------------|---------------------------------|----------------------------------|---------------------------------|-----------------|----------------|----------------|----------------|---------------|---------------|
| PRECIPITACIÓN UPB (mm) | 1,000 | | | | | | | | | | | | | | |
| NASAPOWER | 0,292 | 1,000 | | | | | | | | | | | | | |
| IDEAM PCTA | 0,341 | 0,325 | 1,000 | | | | | | | | | | | | |
| IDW | 0,382 | 0,371 | 0,979 | 1,000 | | | | | | | | | | | |
| Floresta | 0,386 | 0,400 | 0,555 | 0,712 | 1,000 | | | | | | | | | | |
| Precipitación Estimada 2 Estaciones (mm) | 0,384 | 0,619 | 0,944 | 0,943 | 0,601 | 1,000 | | | | | | | | | |
| Precipitación Estimada 3 Estaciones (mm) | 0,389 | 0,519 | 0,973 | 0,982 | 0,658 | 0,989 | 1,000 | | | | | | | | |
| PRECIPITACIÓN ESTIMADA Reg. Múltiple (mm) | 0,417 | 0,521 | 0,921 | 0,976 | 0,814 | 0,947 | 0,973 | 1,000 | | | | | | | |
| Precipitación Estimada Prom. vecinal (mm) | 0,418 | 0,547 | 0,921 | 0,973 | 0,803 | 0,955 | 0,977 | 0,999 | 1,000 | | | | | | |
| NASA/PCTA (mm) | 0,292 | 1,000 | 0,325 | 0,371 | 0,400 | 0,619 | 0,519 | 0,521 | 0,547 | 1,000 | | | | | |

| PROM. TOTALES | | | | | | | | | | | | | | | | |
|----------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 2010 | 4,28 | 1,38 | 1,68 | 1,72 | 1,87 | 5,85 | 5,74 | 7,62 | 5,48 | 5,81 | 5,42 | 3,90 | 3,31 | 3,40 | 3,72 | 2,64 |
| 2011 | 4,73 | 1,20 | 1,47 | 1,55 | 1,81 | 5,08 | 5,03 | 6,85 | 4,91 | 5,05 | 4,88 | 3,39 | 2,88 | 3,03 | 3,60 | 2,64 |
| 2012 | 3,50 | 0,94 | 1,40 | 1,40 | 1,40 | 4,41 | 4,43 | 5,81 | 4,16 | 3,91 | 4,30 | 2,63 | 2,73 | 2,73 | 2,73 | 2,64 |
| 2013 | | 0,97 | 1,33 | 1,31 | 1,24 | 4,32 | 4,25 | 5,47 | 3,93 | 4,03 | 3,96 | 2,71 | 2,58 | 2,53 | 2,38 | 2,64 |
| 2014 | | 0,79 | 1,37 | 1,40 | 1,52 | 4,06 | 4,20 | 5,71 | 4,05 | 3,26 | 4,35 | 2,19 | 2,67 | 2,73 | 2,98 | 2,64 |
| 2015 | | 0,64 | 1,10 | 1,07 | 0,97 | 3,21 | 3,25 | 4,17 | 2,98 | 2,61 | 3,17 | 1,75 | 2,10 | 2,04 | 1,81 | 2,64 |
| 2016 | 2,99 | 0,81 | 1,27 | 1,26 | 1,19 | 3,89 | 3,91 | 5,06 | 3,62 | 3,33 | 3,79 | 2,24 | 2,46 | 2,42 | 2,26 | 2,64 |
| 2017 | 2,71 | 0,96 | 1,41 | 1,38 | 1,24 | 4,48 | 4,44 | 5,66 | 4,06 | 4,01 | 4,17 | 2,69 | 2,76 | 2,68 | 2,39 | 2,64 |
| 2018 | 3,19 | 0,96 | 1,19 | 1,16 | 1,02 | 4,04 | 3,88 | 4,86 | 3,52 | 4,01 | 3,43 | 2,70 | 2,29 | 2,21 | 1,91 | 2,64 |

Por años, las mejores estaciones que se adaptan según los promedios de precipitación son los mostrados en la Tabla 57, esta tabla muestra más preciso y resumido la metodología que más se asemeja a los datos obtenidos de la estación UPB con sus respectivos valores de precipitación. Se muestran los valores en mm y el nombre de la metodología que posee el valor más cercano; se evidencia que los resultados no son tan lejanos a los datos de la estación principal, y, por el contrario, se asemejan bastante entre sí.

Tabla 57. Comparación de valores de precipitación promedio obtenidos desde la metodología con la UPB

| AÑO | VALOR PRECIPITACIÓN UPB (mm) | VALOR PRECIPITACIÓN METODOLOGÍA (mm) | TIPO DE METODOLOGÍA USADA |
|-------------|-------------------------------------|---|---------------------------------------|
| 2010 | 4,28 | 5,42 | Razones de Distancia PCTA/ FLORESTA |
| 2011 | 4,73 | 4,88 | Razones de Distancia PCTA/ FLORESTA |
| 2012 | 3,50 | 3,91 | Razones de Distancia NASA/PCTA |
| 2016 | 2,99 | 3,33 | Razones de Distancia NASA/PCTA |
| 2017 | 2,71 | 2,76 | RAZÓN Q UPB/PCTA |
| 2018 | 3,19 | 3,52 | RAZONES DE DISTANCIA PCTA/LA FLORESTA |

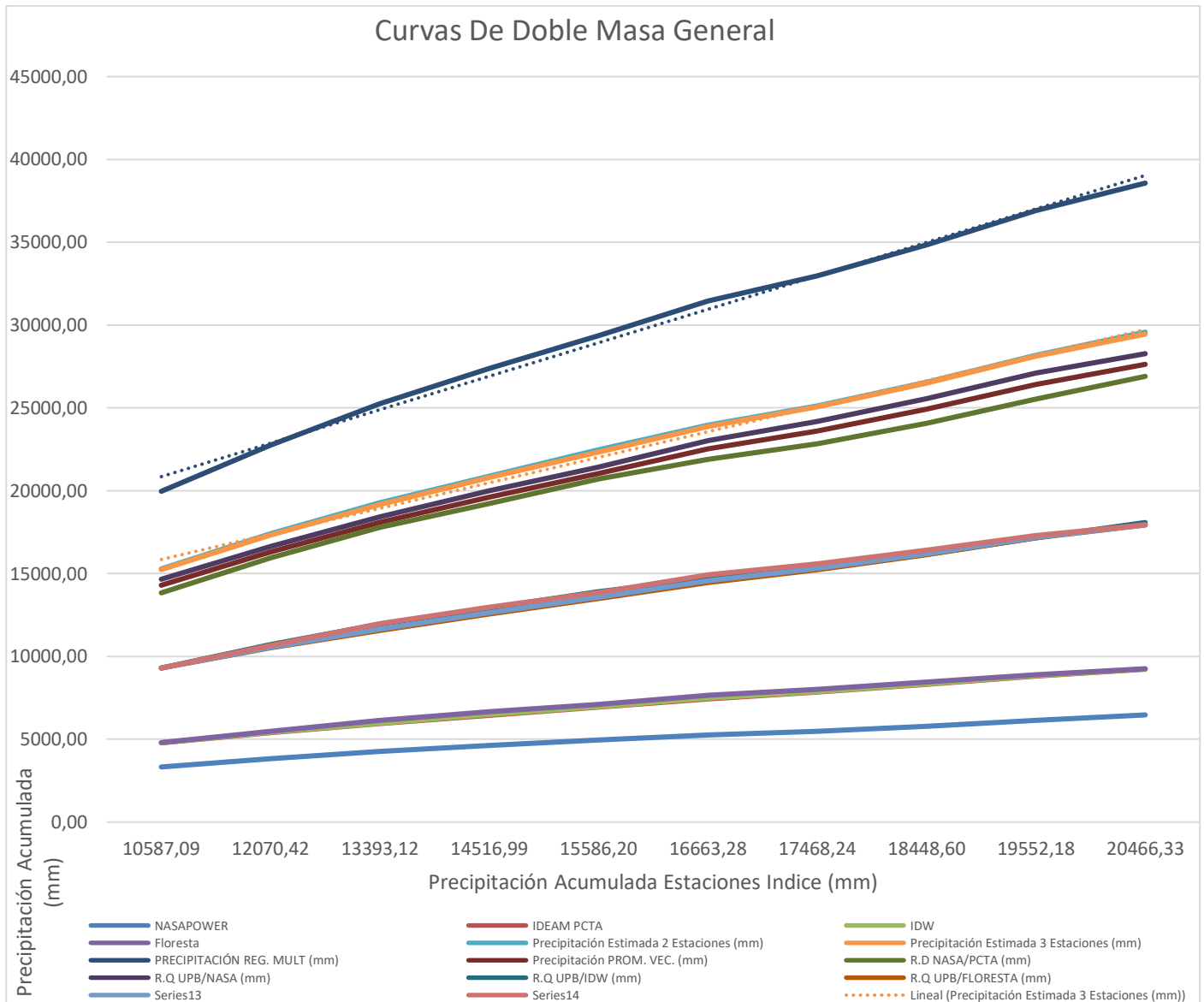
CURVAS DE DOBLE MASA

La metodología de curvas de doble masa sirve para analizar cuál es el grado de consistencia que presentan las series hidrometeorológicas comparando una estación principal, con los datos de otras estaciones. Además de homogenizar las series se aplica con éxito interpolando para llenar los valores de datos vacíos o con rellenos de faltantes. En nuestro caso se utiliza la precipitación de lluvia en periodos anuales acumulados de cada metodología aplicada para el relleno de datos faltantes comparados con la estación UPB, de esta manera se observa la pendiente y su comportamiento lineal. Si se evidencia un cambio de pendiente, es necesario organizar la homogeneidad a partir de fuentes más confiables [32]

El Gráfico 12 representa el gráfico de la curva de doble masa acumulado general de todas las metodologías de llenado utilizadas y abarcadas por año, se observa que todas las 14 metodologías presentan un comportamiento casi lineal con coeficientes “r cuadrado” superiores a 0,9, sin embargo, se presentara de manera detallada las curvas de masa para cada metodología siendo comparadas con la estación UPB, cabe aclarar que es necesario realizar

el cálculo de valores acumulados tanto para cada estación, como para el total de cada año en todas las metodologías.

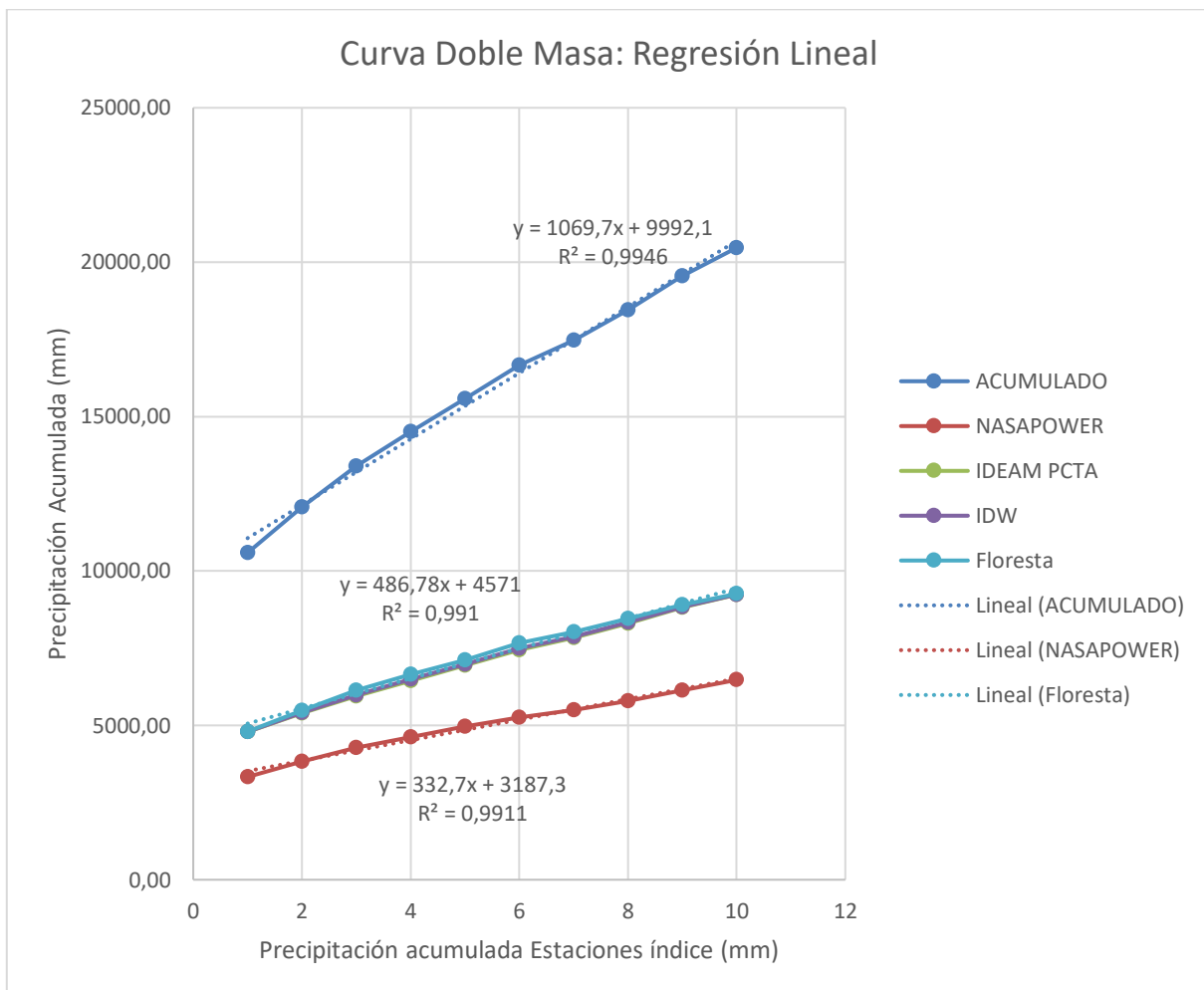
Gráfico 12. Gráfica Curva de Doble masa a nivel General de las metodologías usadas para el llenado de datos.



De manera más particular se realiza la curva de doble masa para la metodología de regresión lineal que incluye las metodologías de la estación por separado de NasaPower, Ideam Piedecuesta Granja, IDW, Ideam La Floresta; el Gráfico 13 representa a modo de resumen los resultados obtenidos de correlación y las ecuaciones de la recta. Las líneas de la estación La

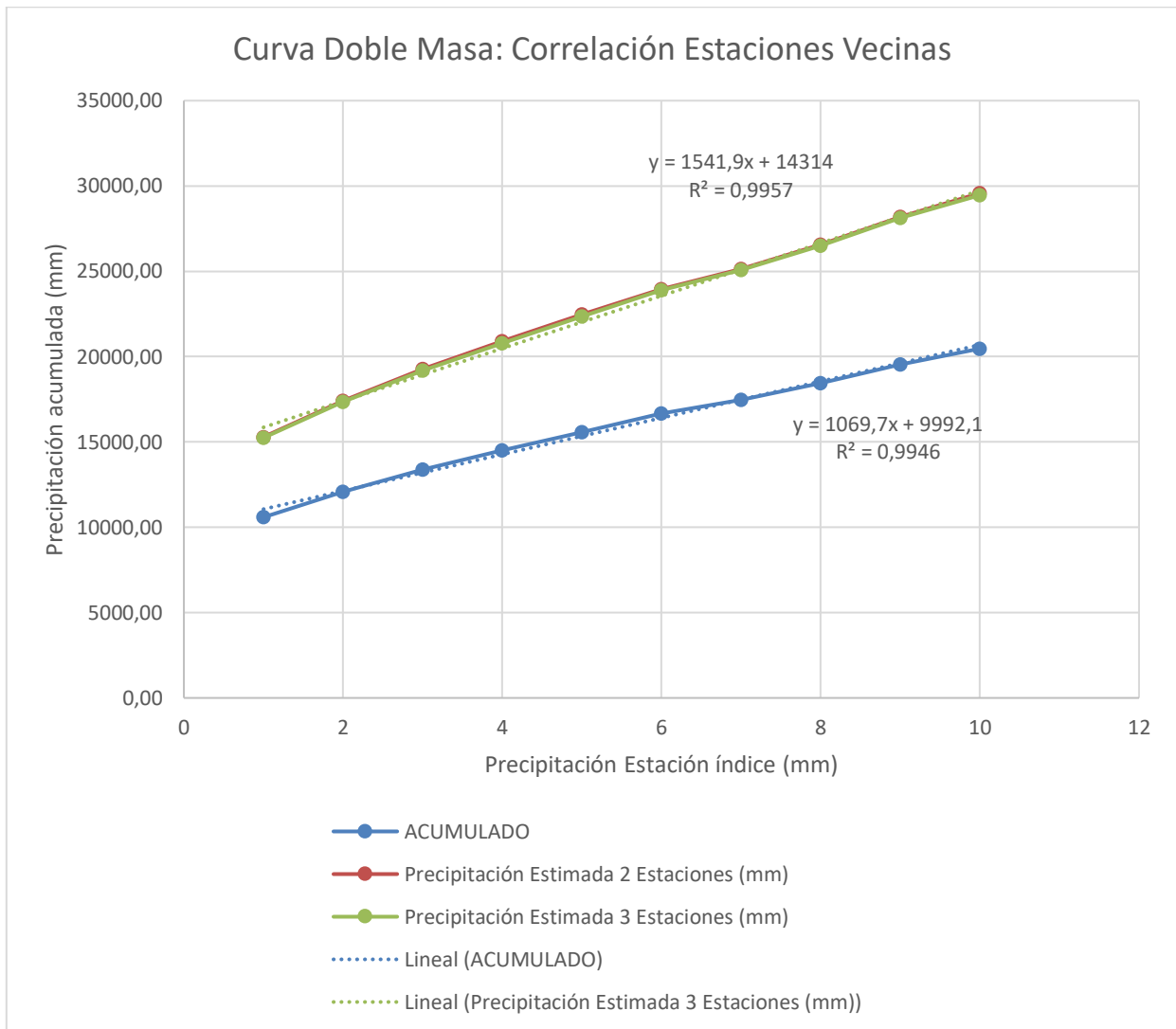
Floresta, IDW, Ideam Piedecuesta Granja poseen valores similares de tendencia, sin embargo, la estación satelital NasaPower, aunque conserva la misma estructura los valores de precipitación son menores.

Gráfico 13. Curva Doble Masa Metodología regresión lineal



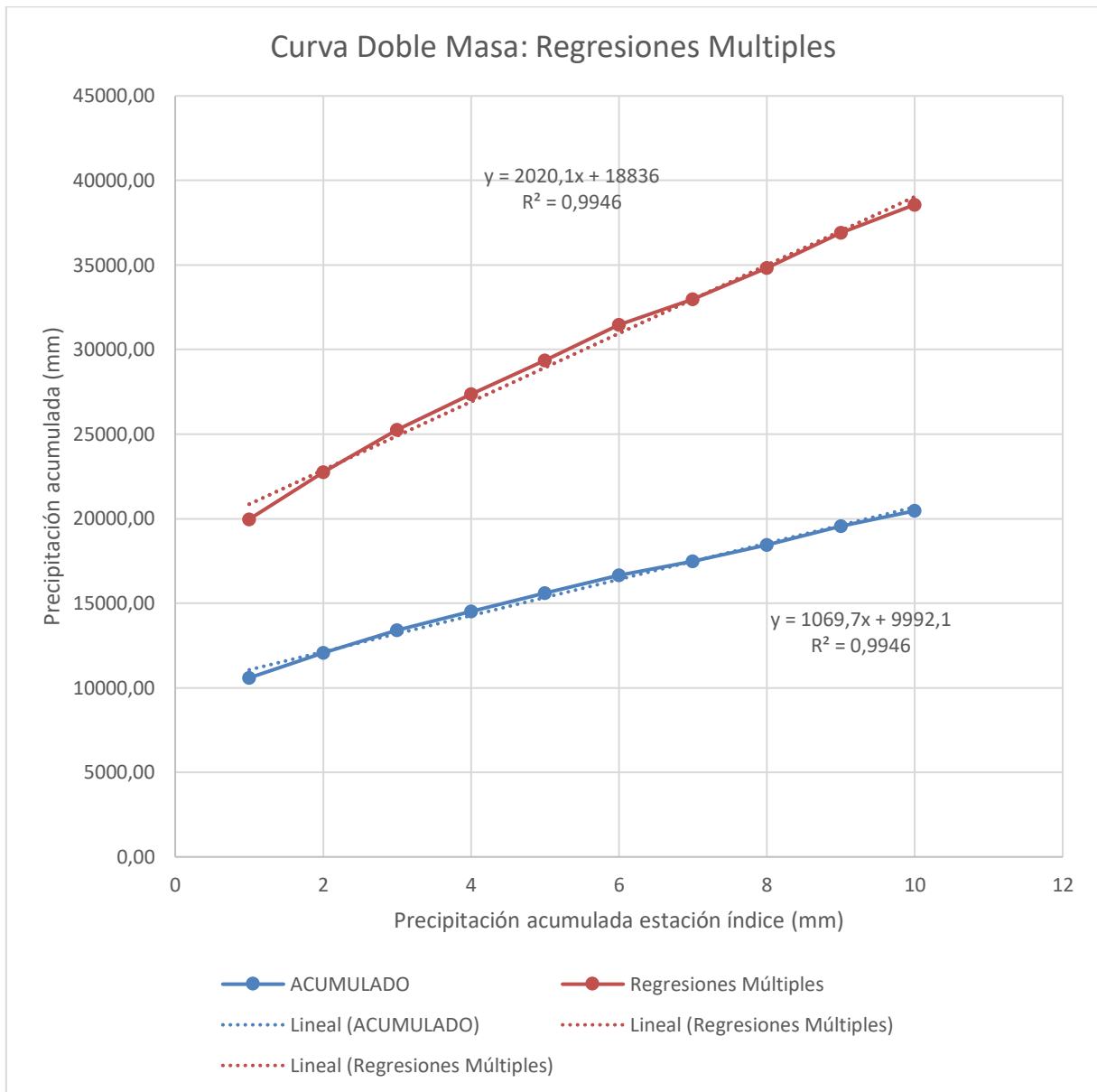
El Gráfico 14, representa la curva de doble masa correspondiente a la metodología de correlación de estaciones vecinas que se usa a partir de 2 estaciones y 3 estaciones, entre ellas mismas los datos de precipitación son similares, además, se encuentran por encima de la recta de precipitación acumulada de comparación. Los coeficientes de correlación son muy próximos a uno, esto indica la tendencia lineal.

Gráfico 14. Curva de Doble masa metodología correlación estaciones vecinas



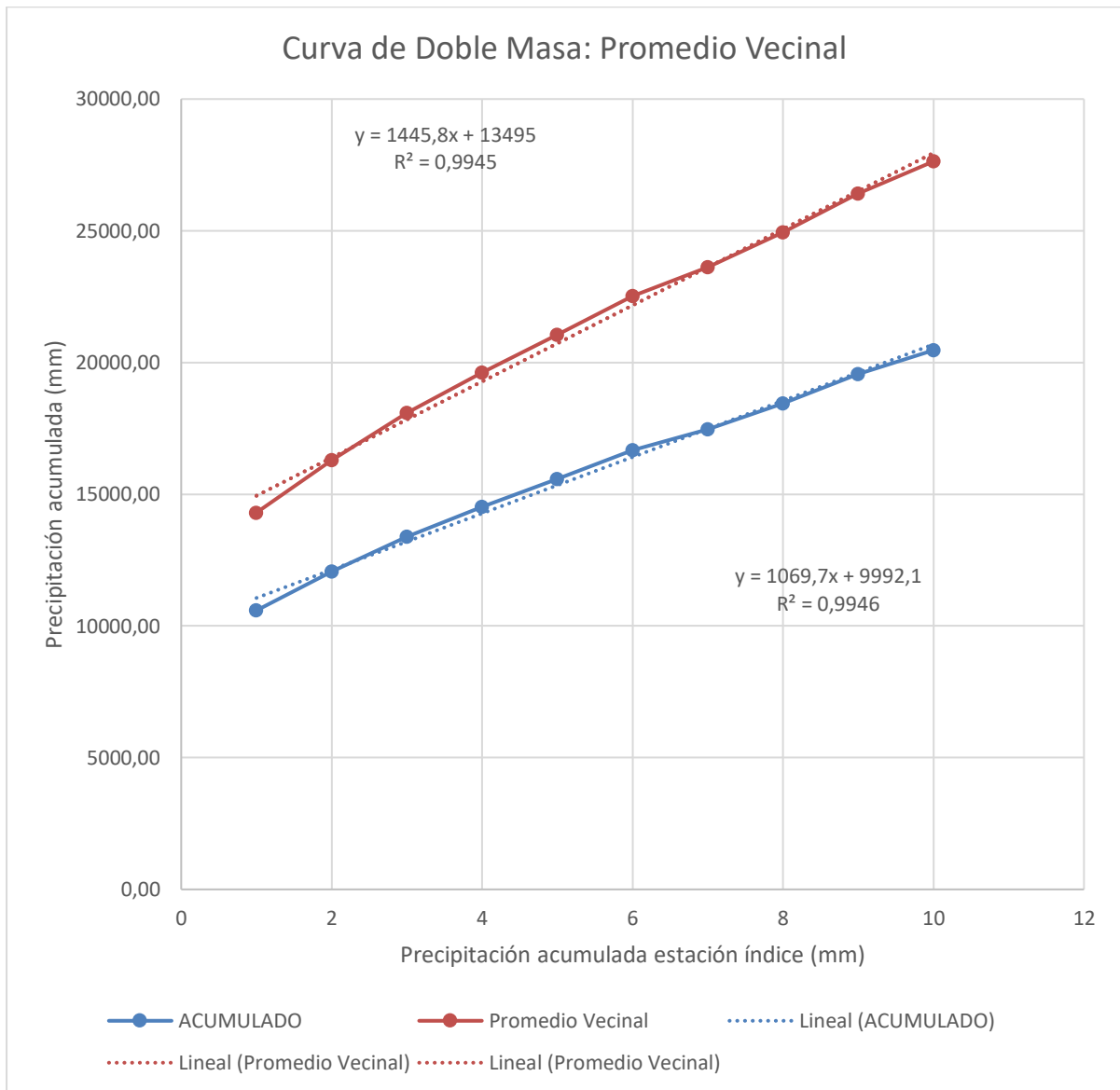
El Gráfico 15 representa la curva de doble masa a partir de la metodología de regresiones múltiples, los valores de precipitación acumulados representan una tendencia lineal con coeficiente de correlación de 0,9946, el mismo valor que la precipitación acumulada total, pero con valores de precipitación superior.

Gráfico 15. Curva Doble Masa Metodología Regresiones Múltiples



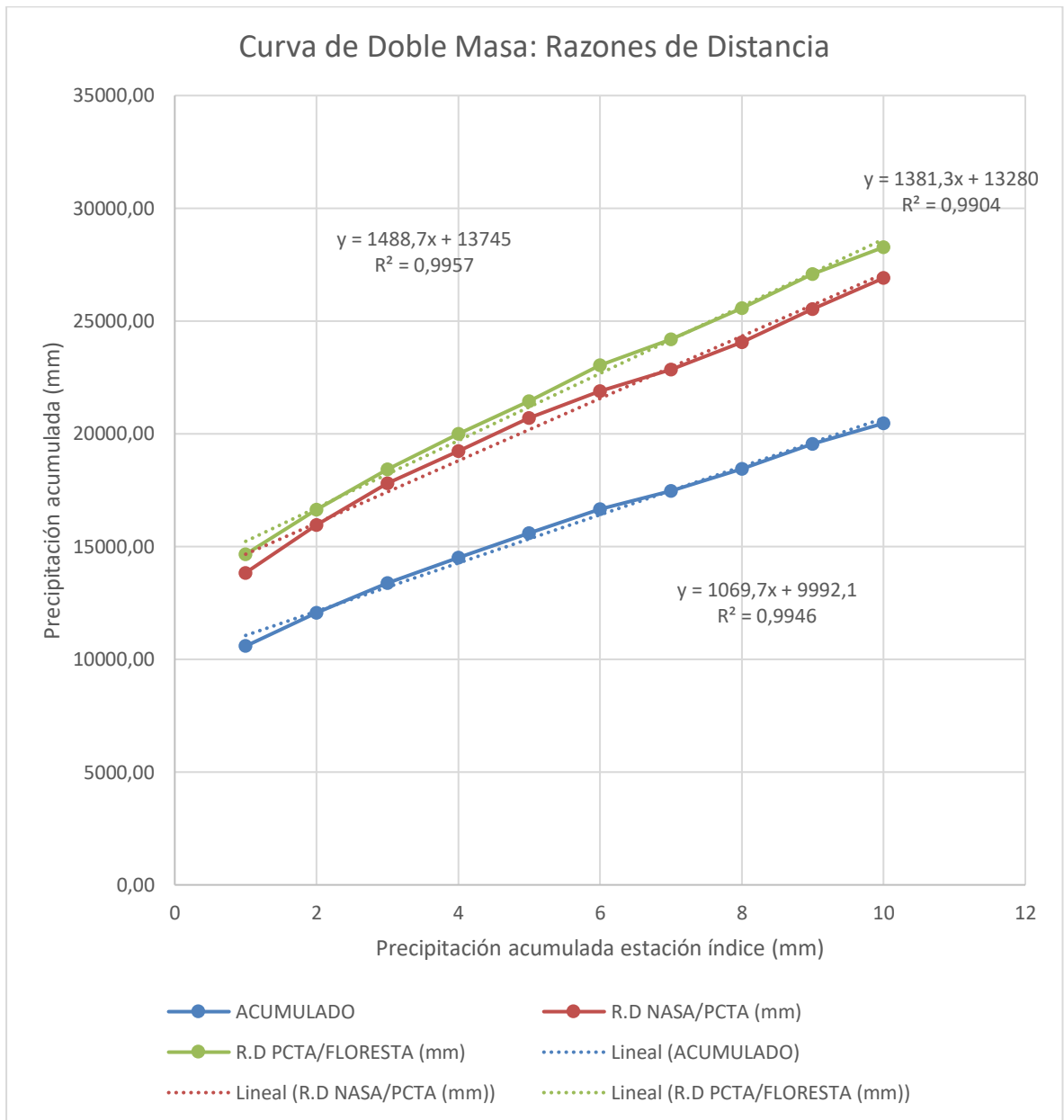
El Gráfico 16 representa la curva de doble masa con la metodología de promedio vecinal, su coeficiente de correlación es muy similar y presenta también tendencia lineal. No se evidencia cambios en la recta, sus valores se encuentran por encima de la precipitación total acumulada.

Gráfico 16. Curva de Doble Masa Metodología Promedio Vecinal



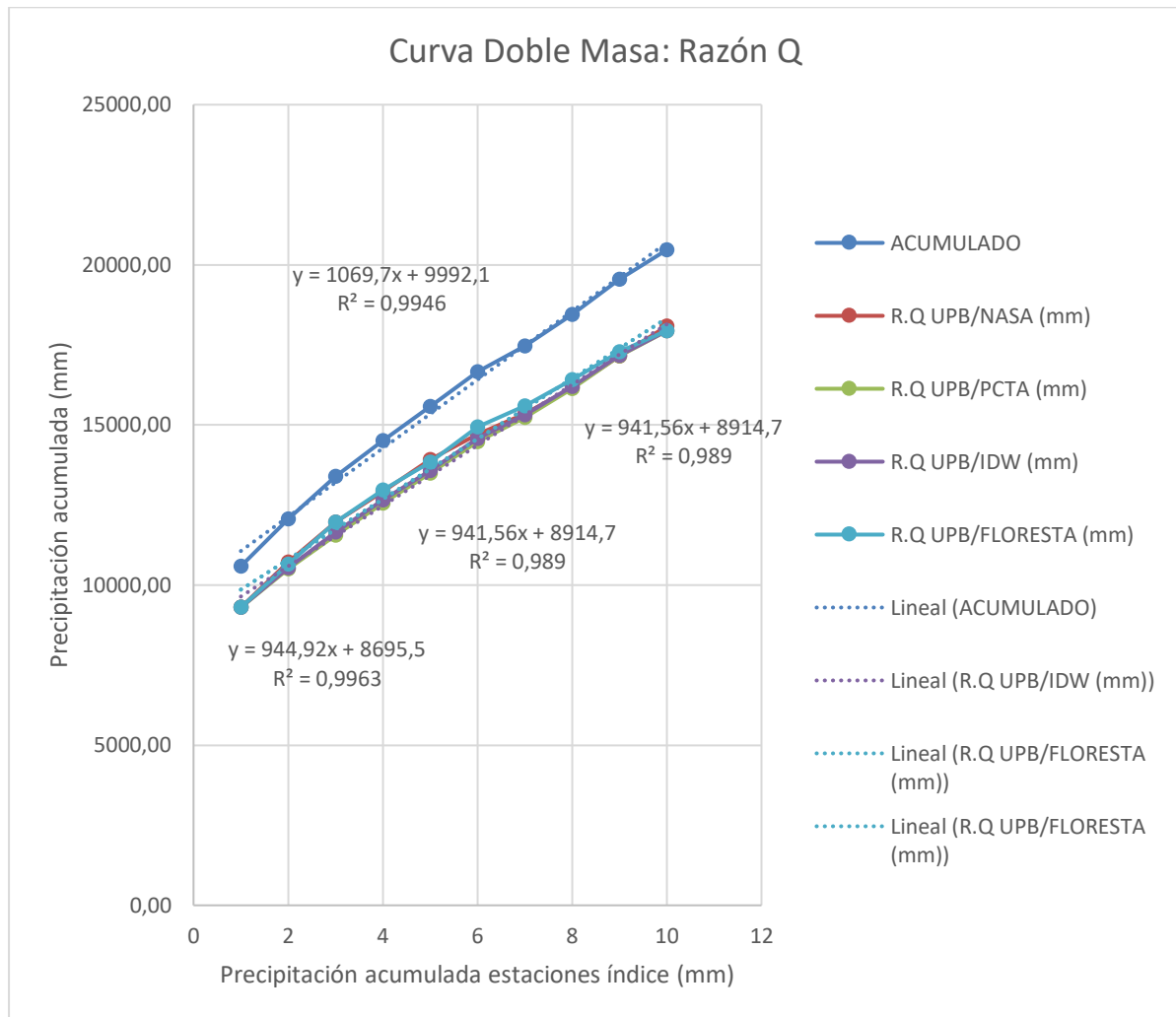
Para el uso de la metodología de razones de distancia se utilizan dos pares de datos de precipitación de estaciones, el primero (Ideam Piedecuesta Granja/ Ideam La Floresta); el segundo estación (Ideam Piedecuesta Granja/ estación satelital NasaPower), estos valores acumulados también están por encima de los valores anuales. Las líneas de los pares de estaciones son similares y poseen casi el mismo registro de datos, sus coeficientes de correlación son superiores a 0.99, ver Gráfico 17.

Gráfico 17. Curva de Doble Masa Metodología Razones de Distancia



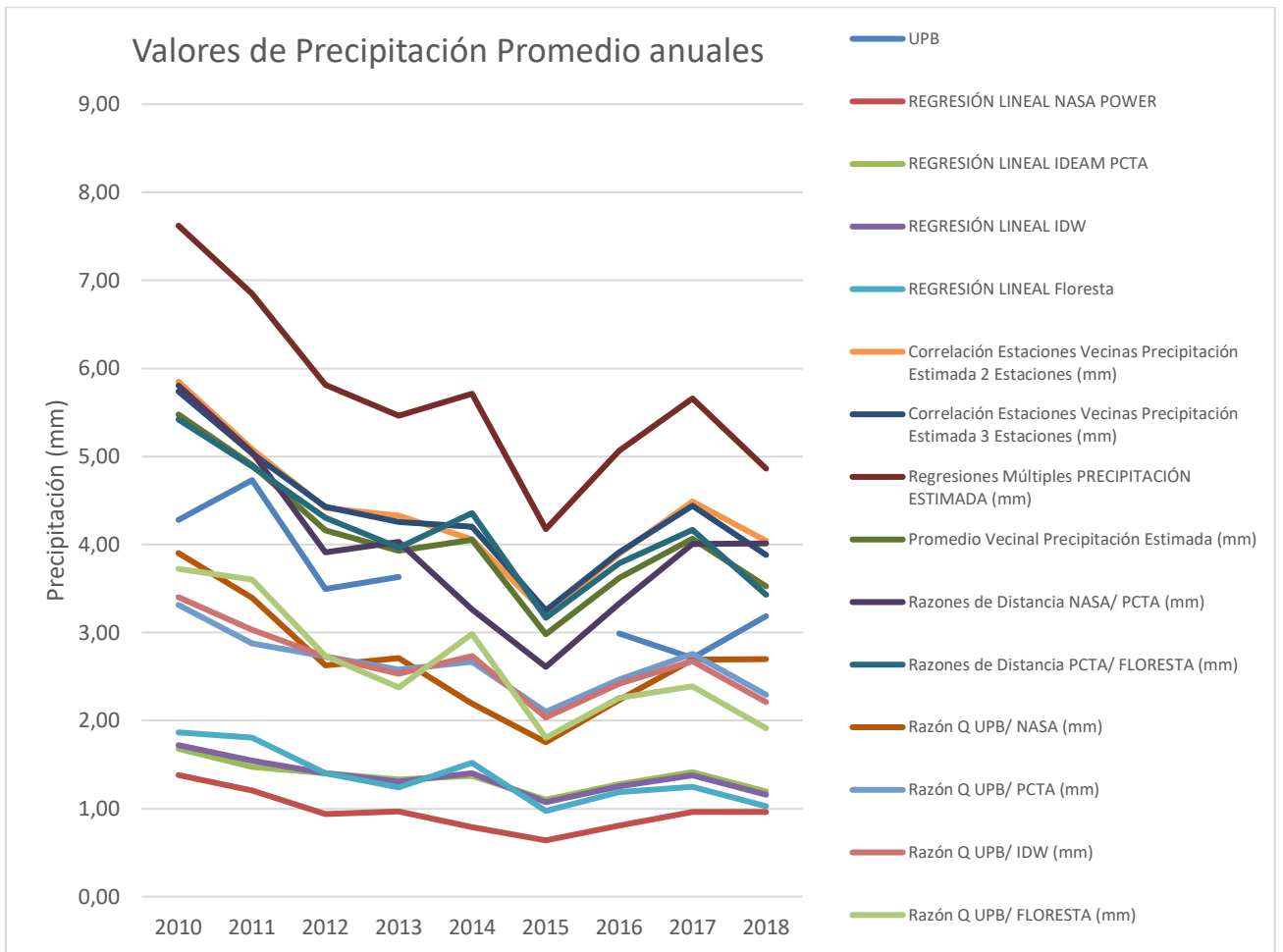
Para la metodología de Razón Q se utilizan 4 pares de estaciones tomando como base la estación UPB, sus combinaciones se realizan con la estación satelital NasaPower, estación Ideam Piedecuesta Granja, Metodología IDW y estación Ideam La Floresta. Como lo muestra el Gráfico 18, en esta ocasión los valores acumulados se encuentran por debajo del promedio acumulado, sin embargo, sus coeficientes de relación son altos guardando bastante similitud entre sí, tanto en la forma de la recta como en la cercanía de los valores.

Gráfico 18. Curva Doble Masa Metodología Razón Q



Con el fin de comparar las metodologías en el periodo de vacíos se grafica en su totalidad las precipitaciones promedio anuales desde el 2009 hasta el 2018 con todas las metodologías usadas para el llenado de datos, esto puede verse en la Gráfico 19. La línea azul más oscura (que presenta una discontinuidad del 2014 al 2015) simboliza las precipitaciones promedio de la UPB, este gráfico permite comparar que valores están más cerca a los registrados en la estación principal dentro de la universidad, además, evaluar que metodologías presentan tendencias similares o valores muy cercanos, por ejemplo, regresión lineal IDW (línea morada) y el método razón Q con las estaciones UPB y la estación Ideam La Floresta (verde olivo) a pesar que las precipitaciones sean más bajas comparadas con las registradas en la UPB.

Gráfico 19. Valores de Precipitación promedio anuales



6. TEMPERATURA

Hoy en día las personas tienen a relacionar el clima con factores de precipitación excluyendo variables importantes como dirección y velocidad del viento, evaporación o la misma humedad relativa. Sin embargo, la temperatura se caracteriza por medir la cantidad de frío o calor a partir de los grados, en nuestro caso, centígrados. La temperatura es una variable que no varía en gran cantidad comparado con los registros de las demás estaciones, reconociendo que factores como el horario, los periodos estacionales y el día pueden hacer pequeñas variaciones en los registros de esta variable.

A pesar de que constantemente se solicitaron los datos de temperatura de las diferentes estaciones trabajadas del Ideam en distintos periodos de tiempo, esta información nunca se obtuvo. De igual manera, se buscaron otras metodologías para obtener información de temperaturas como estaciones cercanas o estaciones satelitales. De aquí se concluye que de

la estación NasaPower se pueden obtener los valores de temperatura de la estación UPB, comparando con datos satelitales dentro del mismo rango se prueba que los valores varían por decimales y en valores máximo de un grado. Por esta razón se realiza un promedio con la temperatura registrada por la UPB, la temperatura registrada satelitalmente por la estación NasaPower y la temperatura de la estación descartada de Weather Underground (ubicada en Ruitoque frente a la universidad), esta última estación se escoge ya que la temperatura no es un factor tan alterable y sirve para promediar los datos desde el 2015 hasta el 2018.

La Tabla 58 muestra la temperatura promedio de la estación UPB en el rango de fechas de 16/04/2009 a 04/05/2009, como puede verse la segunda columna representa los valores de precipitación obtenidos por la estación meteorológica, la tercera columna los valores obtenidos de la estación satelital NasaPower y la cuarta columna la temperatura obtenida de la estación Weather Underground. Esta última columna mencionada no posee registro de datos sino a partir del 2015, por esta razón cuando no hallan registros de ella se hará un promedio entre la estación UPB y la estación NasaPower como se muestra en la tabla.

Tabla 58. Temperatura promedio estación UPB (16/04/2009 a 04/05/2009)

| FECHA | TEMPERATURA UPB (°C) | TEMPERATURA NASA POWER (°C) | TEMPERATURA UNDERGROUND (°c) | TEMPERATURA PROMEDIO (°C) |
|------------|----------------------|-----------------------------|------------------------------|---------------------------|
| 16/04/2009 | 24,5 | 21,68 | | 23,1 |
| 17/04/2009 | 23,8 | 22,27 | | 23,0 |
| 18/04/2009 | 23,7 | 21,88 | | 22,8 |
| 19/04/2009 | 24,1 | 21,44 | | 22,8 |
| 20/04/2009 | 22,4 | 22,92 | | 22,7 |
| 21/04/2009 | 22,4 | 22,11 | | 22,3 |
| 22/04/2009 | 22,4 | 21,11 | | 21,7 |
| 23/04/2009 | 22,9 | 22,02 | | 22,5 |
| 24/04/2009 | 23,0 | 22,02 | | 22,5 |
| 25/04/2009 | 24,2 | 22,62 | | 23,4 |
| 26/04/2009 | 24,0 | 22,73 | | 23,4 |
| 27/04/2009 | 24,4 | 23,63 | | 24,0 |
| 28/04/2009 | 23,2 | 22,88 | | 23,0 |
| 29/04/2009 | 23,4 | 22,77 | | 23,1 |
| 30/04/2009 | 21,3 | 20,64 | | 21,0 |
| 1/05/2009 | 22,9 | 22,35 | | 22,6 |
| 2/05/2009 | 22,5 | 21,36 | | 21,9 |
| 3/05/2009 | 22,8 | 20,39 | | 21,6 |
| 4/05/2009 | 20,6 | 19,41 | | 20,0 |

Aleatoriamente se realiza una evaluación de este parámetro en diferentes rangos de fechas, por ejemplo, la Tabla 59 representa otro caso encontrado para completar los datos de

temperatura que es cuando solamente hay registro de una estación para la variable de precipitación (en este caso la estación satelital) en la fecha de 08/03/2013 a 02/04/2013, debido a su año, tampoco hay registro de la estación Underground ni de la UPB se escoge la misma temperatura registrada por esta estación. Los valores de “N/A” simbolizan el vacío de datos al igual que las celdas blancas.

Tabla 59. Temperatura promedio estación UPB (08/03/2013 a 02/04/2013)

| FECHA | TEMPERATURA UPB (°C) | TEMPERATURA NASA POWER (°C) | TEMPERATURA UNDERGROUND (°c) | TEMPERATURA PROMEDIO (°C) |
|------------|----------------------|-----------------------------|------------------------------|---------------------------|
| 8/03/2013 | N/A | 23,2 | | 23,2 |
| 9/03/2013 | N/A | 23,5 | | 23,5 |
| 10/03/2013 | N/A | 22,3 | | 22,3 |
| 11/03/2013 | N/A | 22,2 | | 22,2 |
| 12/03/2013 | N/A | 21,9 | | 21,9 |
| 13/03/2013 | N/A | 22,1 | | 22,1 |
| 14/03/2013 | N/A | 21,6 | | 21,6 |
| 15/03/2013 | N/A | 20,3 | | 20,3 |
| 16/03/2013 | N/A | 21,0 | | 21,0 |
| 17/03/2013 | N/A | 21,8 | | 21,8 |
| 18/03/2013 | N/A | 21,7 | | 21,7 |
| 19/03/2013 | N/A | 21,2 | | 21,2 |
| 20/03/2013 | N/A | 20,3 | | 20,3 |
| 21/03/2013 | N/A | 19,5 | | 19,5 |
| 22/03/2013 | N/A | 20,5 | | 20,5 |
| 23/03/2013 | N/A | 20,0 | | 20,0 |
| 24/03/2013 | N/A | 21,9 | | 21,9 |
| 25/03/2013 | N/A | 21,9 | | 21,9 |
| 26/03/2013 | N/A | 22,5 | | 22,5 |
| 27/03/2013 | N/A | 22,0 | | 22,0 |
| 28/03/2013 | N/A | 21,9 | | 21,9 |
| 29/03/2013 | N/A | 22,1 | | 22,1 |
| 30/03/2013 | N/A | 22,5 | | 22,5 |
| 31/03/2013 | N/A | 22,4 | | 22,4 |
| 1/04/2013 | N/A | 23,3 | | 23,3 |
| 2/04/2013 | 24,5 | 21,9 | | 23,2 |

La Tabla 60 es otra referencia del valor de temperatura promedio para la fecha de 01/01/2018 a 19/01/2018, también se realiza un promedio, pero esta vez entre la estación satelital NasaPower y la estación Weather Underground (por el año si hay registro de esta estación). Cabe aclarar que desde que la estación UPB mostró el vacío de registro desde octubre de 2013 nunca más registro valores de temperatura hasta la fecha (2018).

Tabla 60. Temperatura promedio estación UPB (01/01/2018 a 19/01/2018)

| FECHA | TEMPERATURA UPB (°C) | TEMPERATURA NASA POWER (°C) | TEMPERATURA UNDERGROUND (°C) | TEMPERATURA PROMEDIO (°C) |
|------------|----------------------|-----------------------------|------------------------------|---------------------------|
| 1/01/2018 | 0,0 | 19,7 | 24,44 | 22,1 |
| 2/01/2018 | 0,0 | 20,0 | 23,83 | 21,9 |
| 3/01/2018 | 0,0 | 19,9 | 23,33 | 21,6 |
| 4/01/2018 | 0,0 | 20,7 | 20,50 | 20,6 |
| 5/01/2018 | 0,0 | 20,3 | 25,28 | 22,8 |
| 6/01/2018 | 0,0 | 20,4 | 23,78 | 22,1 |
| 7/01/2018 | 0,0 | 20,0 | 23,11 | 21,6 |
| 8/01/2018 | 0,0 | 20,5 | 22,67 | 21,6 |
| 9/01/2018 | 0,0 | 19,7 | 23,78 | 21,7 |
| 10/01/2018 | 0,0 | 20,3 | 24,22 | 22,3 |
| 11/01/2018 | 0,0 | 20,8 | 22,44 | 21,6 |
| 12/01/2018 | 0,0 | 20,3 | 23,33 | 21,8 |
| 13/01/2018 | 0,0 | 19,4 | 22,39 | 20,9 |
| 14/01/2018 | 0,0 | 20,1 | 22,39 | 21,2 |
| 15/01/2018 | 0,0 | 20,4 | 22,39 | 21,4 |
| 16/01/2018 | 0,0 | 20,3 | 22,17 | 21,3 |
| 17/01/2018 | 0,0 | 20,9 | 22,28 | 21,6 |
| 18/01/2018 | 0,0 | 20,2 | 21,61 | 20,9 |
| 19/01/2018 | 0,0 | 20,2 | 22,06 | 21,1 |

La Tabla 61 representa la temperatura promedio para la fecha de 22/11/2018 a 10/12/2018, esta es la última fecha de datos trabajada con las estaciones, se evidencia que de la temperatura UPB no existen valores de precipitación, sin embargo, se realiza el cálculo promedio de las estaciones NasaPower y Weather Underground para el cálculo de la misma.

Tabla 61. Temperatura promedio estación UPB (15/11/2018 a 10/12/2018)

| FECHA | TEMPERATURA UPB (°C) | TEMPERATURA NASA POWER (°C) | TEMPERATURA UNDERGROUND (°C) | TEMPERATURA PROMEDIO (°C) |
|------------|----------------------|-----------------------------|------------------------------|---------------------------|
| 15/11/2018 | 0,0 | 21,4 | 23,33 | 22,4 |
| 16/11/2018 | 0,0 | 21,6 | 23,33 | 22,5 |
| 17/11/2018 | 0,0 | 20,9 | 23,33 | 22,1 |
| 18/11/2018 | 0,0 | 21,3 | 23,33 | 22,3 |
| 19/11/2018 | 0,0 | 21,5 | 22,39 | 21,9 |
| 20/11/2018 | 0,0 | 21,5 | 23,06 | 22,3 |
| 21/11/2018 | 0,0 | 20,9 | 23,89 | 22,4 |
| 22/11/2018 | 0,0 | 20,9 | 24,11 | 22,5 |
| 23/11/2018 | 0,0 | 20,5 | 23,56 | 22,0 |
| 24/11/2018 | 0,0 | 20,7 | 23,39 | 22,0 |
| 25/11/2018 | 0,0 | 21,4 | 23,61 | 22,5 |
| 26/11/2018 | 0,0 | 21,4 | 23,89 | 22,6 |
| 27/11/2018 | 0,0 | 20,6 | 22,67 | 21,6 |
| 28/11/2018 | 0,0 | 19,8 | 22,39 | 21,1 |
| 29/11/2018 | 0,0 | 20,2 | 22,78 | 21,5 |
| 30/11/2018 | 0,0 | 20,9 | 23,33 | 22,1 |
| 1/12/2018 | 0,0 | 20,6 | 23,22 | 21,9 |
| 2/12/2018 | 0,0 | 19,4 | 22,83 | 21,1 |
| 3/12/2018 | 0,0 | 20,1 | 23,11 | 21,6 |
| 4/12/2018 | 0,0 | 20,1 | 23,56 | 21,8 |
| 5/12/2018 | 0,0 | 20,4 | 22,72 | 21,5 |
| 6/12/2018 | 0,0 | 20,3 | 22,67 | 21,5 |
| 7/12/2018 | 0,0 | 19,2 | 22,78 | 21,0 |
| 8/12/2018 | 0,0 | 20,6 | 23,06 | 21,8 |
| 9/12/2018 | 0,0 | 20,6 | 23,33 | 22,0 |
| 10/12/2018 | 0,0 | 20,6 | 23,89 | 22,2 |

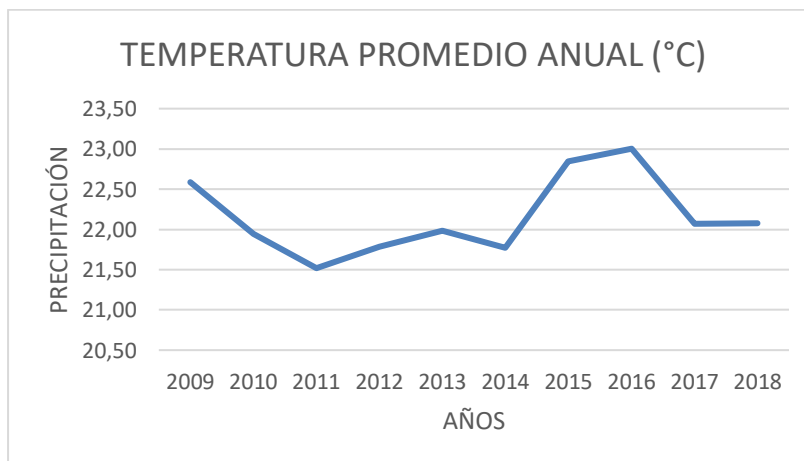
La Tabla 62 representa a modo resumen los resultados de las temperaturas promedio por año desde el 2009 hasta el 2018, como puede observarse la temperatura no varía a nivel general, pero si se encuentran algunos días donde los valores exceden los datos registrados en su normalidad, sin embargo, esto no afecta el promedio total. Además, se evidencia un aumento gradual de la temperatura hasta el 2016 y luego una disminución gradual de esta.

Tabla 62. Temperatura Promedio Anual

| VALORES ANUALES | |
|-----------------|---------------------------|
| AÑO | TEMPERATURA PROMEDIO (°C) |
| 2009 | 22,59 |
| 2010 | 21,94 |
| 2011 | 21,52 |
| 2012 | 21,79 |
| 2013 | 21,98 |
| 2014 | 21,77 |
| 2015 | 22,84 |
| 2016 | 23,00 |
| 2017 | 22,07 |
| 2018 | 22,08 |

El Gráfico 20 representa gráficamente los datos obtenidos en la Tabla 62 sobre el promedio anual de temperaturas, de manera visual se identifica a través de los años el comportamiento de esta variable que influye considerablemente por acción de la radiación solar. Entre los años 2017 y 2018 se evidencia una línea constante debido a la similitud de los valores obtenidos.

Gráfico 20. Gráfico Temperatura Promedio



7. CONCLUSIONES

Cuando existen periodos de vacíos de datos es necesario aplicar metodologías que permitan generar los valores teniendo en cuenta información existente como lo son estaciones satelitales o pluviométricas, se aplicaron 14 metodologías de llenado de datos para identificar cual tenía mejor comportamiento y similitud comparado con la estación principal localizada en la Universidad Pontificia Bolivariana. Se estimaron los datos a partir de la estación satelital NasaPower, dos estaciones del Ideam (Piedecuesta Granja y La Floresta) luego de descartar más de 30 estaciones que no cumplían con los requerimientos de variables o que no presentaban registro en el periodo de tiempo estimado y además una relocalización de datos elaborada a partir de la metodología IDW, todo esto con el fin de completar las incertidumbres que fueron creadas por el traslado de la estación del edificio I al edificio K dentro de la universidad desde octubre del 2013 hasta el mes de marzo del 2016. De la estación NasaPower podemos decir que, aunque los valores tanto de precipitación y temperatura son relativamente similares, poseen una pequeña sumatoria de errores sistemáticos aleatorios calculados a partir de delimitación de pixeles, es por esto por lo que puede dar valores de precipitación con la ubicación de un punto exacto en la zona, estos valores pueden corregirse y promediarse para que al momento de aplicar la metodología de llenado sea más preciso.

La primera metodología aplicada corresponde al método de regresión lineal donde se comparan las estaciones (NasaPower, Ideam Piedecuesta Granja, metodología IDW y la Floresta) con respecto a la estación UPB. La segunda metodología corresponde al método de razones de distancia donde se trabajan 2 pares de estaciones teniendo como base la estación Ideam Piedecuesta Granja que es la que posee más similitudes respecto a la estación principal, junto a ella se compara la estación satelital NasaPower y la estación Ideam La Floresta localizada en el municipio de Bucaramanga, esta estación a pesar de su ubicación lejana posee registros similares de altitud. La metodología de promedio vecinal se desarrolla a partir de las otras estaciones obteniendo datos de precipitación para cada día de registro; el método de Razón promedio evidencia un valor promedio de precipitación para los años de vacío de datos, se realiza a partir de un periodo con registros iguales dentro de las estaciones. La metodología de correlación de estaciones vecinas fue evaluada mediante 2 planteamientos, el primero analizado con 2 estaciones vecinas y el otro con 3 estaciones vecinas, según la literatura estas correlaciones son las más acertadas al momento de llenar datos, por esta razón no se promedia más de tres estaciones. La regresión múltiple al igual que el promedio vecinal concluye con resultados de precipitaciones diarias sin poder juntar las estaciones entre sí o comparar sus

registros.

El método de vector regional no fue aplicado debido a que la fórmula indica un índice de precipitación que no ha sido calculado para la zona, ni siquiera por el Ideam, aunque puede calcularse el índice existen muchos factores que al final acumulan una sumatoria de errores y alteraría el resultado de precipitación. Finalmente se aplica el método de Razón Q, se compara la estación UPB con las estaciones de la NasaPower, Ideam Piedecuesta Granja y La Floresta, y el método de IDW. A modo de resumen, la aplicación de la metodología de Razón Q se usa con pares de estaciones donde una se caracteriza por no tener datos y la otra por tenerlos completos en el mismo periodo de tiempo.

Con respecto a la evaluación de metodologías, aplicando las metodologías de correlación estadística se encontró que la metodología que representa menor valor es la relacionada con la estación NasaPower, seguida del método Razón Q UPB/NasaPower y el método de razones de distancia con las estaciones Ideam Piedecuesta Granja y NasaPower, esto comprueba que entre más parecidas sean las características de las estaciones en cuanto altitud y menor distancia, los valores obtenidos tendrán menos porcentaje de error. Con el método de coeficiente de correlación de Pearson se obtuvieron los menores valores en las mismas metodologías caracterizadas por la correlación estadística, estos valores varían desde 0,2 hasta 0,4; esto también refleja que calcular el error a partir de estas correlaciones tienen tendencias similares a pesar de que se apliquen las fórmulas con diferente evaluación de parámetros. El valor más alto de coeficiente de correlación lo obtuvo la metodología de Regresión Múltiple calculada a partir de la unión de las diferentes estaciones. Sin embargo, estos datos no alcanzan a llegar al valor de la unidad por lo que son considerados como aceptables.

El error cuadrático medio presentó valores altos de error en todas las estaciones, mayores a nueve hasta trece, la metodología que presenta menor valor de error es la Razón Q de la estación UPB y la estación satelital NasaPower seguida de los datos recolectados de la Estación NasaPower; el mayor valor lo obtuvo la metodología de razones de distancia entre las estaciones del Ideam Piedecuesta Granja y La Floresta, esto también confirma la teoría que entre más distancia mayor será la diferencia entre los datos y que los valores más cercanos a la estación principal tienen más influencia y más peso determinando una relación proporcional. Finalmente, el método de error medio absoluto fue calculado para cada día de precipitación y se obtuvieron valores muy pequeños, fue necesario el uso de cinco cifras significativas, un ejemplo del valor más repetitivo fue 0,00003.

Con respecto al análisis de anomalías se identificaron valores atípicos, es decir, valores lejanos

al conjunto de datos, esto se vio principalmente en la gráfica de temperaturas promedio anuales lo cual se relaciona con la variabilidad climática y los fenómenos del niño y la niña. Sin embargo, antes de corregir o eliminar estos valores se deben evaluar los registros de las demás estaciones cercanas y la consideración de factores que posiblemente provocaron esta anomalía. La información obtenida de todas las estaciones sin importar si son satelitales, del Ideam o externas pueden representar una acumulación de errores tales como transcripción de datos, copias mal elaboradas, inconsistencia de datos y valores de observación que pueden presentarse en cada equipo, de ahí la importancia de su mantenimiento y de un operario óptimo que esté atento a estas condiciones.

La representación de la gráfica de la curva de doble masa, elaborada a partir de acumulación de precipitaciones, posee 3 regiones importantes, la primera el registro de la estación UPB que evidencia el lapso de tiempo en que hubo vacíos, la segunda región representa los valores máximos y mínimos totales, en este caso el valor que más sobrepasó los datos de la estación UPB a nivel de promedio anual fue la metodología de Regresiones múltiples; el menor valor lo obtuvo el método de razón Q aplicado a las estaciones UPB y la metodología IDW. La tercera región es la formación de grupos de registro, en nuestro caso se formaron 3 grupos que se describirán a continuación de forma ascendente. Dos grupos de registros se localizaron por debajo de la precipitación obtenida de la UPB, el primero agrupaba las diferentes aplicaciones de la metodología de regresión lineal (estaciones IDW, Ideam la Floresta y Piedecuesta Granja), el segundo grupo de valores agrupada las metodologías de Razón Q y Regresión lineal (metodología IDW y estación Ideam Piedecuesta Granja). El tercer grupo se localizó por encima de los datos registrados de la estación UPB, sin alcanzar los valores máximos de la gráfica, estos fueron los métodos de correlación de estaciones vecinas (2 y 3 estaciones), el método de Razón de Distancia con las estaciones NasaPower y la estación Piedecuesta Granja, método de promedios vecinales y métodos de razones de distancia con las estaciones del Ideam Piedecuesta Granja y La Floresta.

Se descarta completamente el método de regresiones múltiples pues a partir de todas las validaciones de datos y de errores fue el que más presentó diferencia y lejanía de valores comparado con la estación principal de la UPB. Además, el método de promedio aritmético no pudo utilizarse ya que los datos presentaban un vacío mayor al 10% de su totalidad.

Como recomendación debe estimarse que los datos faltantes sean ajustados a las características de la zona de estudio y la estación, por eso es necesario trasladar las estaciones al mismo punto. Estas técnicas se enfocaron en el llenado de datos de precipitación ya que para la temperatura se utilizó un cálculo promedio con la estación satelital NasaPower, la

estación Weather Underground y la estación UPB debido que a nivel general no había cambios significativos en sus valores, además, el cálculo del índice pluviométrico regional que sería bastante enriquecedor y propio de las condiciones de la ubicación, esto permitiría un mayor acercamiento y un análisis desde otra perspectiva. Con respecto al análisis de gráficas acumulativas, cuando las zonas y los valores son homogéneos se obtienen rectas que simbolizan la proporción de los datos.

8. ANEXOS

Con el fin de permitir el acceso a las memorias y hojas de cálculo realizadas en Excel, y los datos de precipitación recolectados, se facilita al lector dos links de acceso a One drive donde se encuentran dichas hojas de Excel, la primera un informe de datos de precipitación que incluye el cálculo de temperatura; y la segunda, la aplicación de las metodologías de llenado con su respectiva validación.

Aplicación metodología de llenado

https://upbeduco-my.sharepoint.com/:x:/g/personal/cielo_delgado_2016_upb_edu_co/Ea9jJQ7t2r9AtwsAPJM0J9sBPMpu2FBOtgYQHK6Vr9tzUw

Informe Datos Precipitación

https://upbeduco-my.sharepoint.com/:x:/g/personal/cielo_delgado_2016_upb_edu_co/EVWbKG9nDXZEgzD12Nyk6cABCp5OGMWK5QSg607vBzyGUQ?e=IEeXoY

9. BIBLIOGRAFÍA

- [1] F. Moreda, J. Corrales, J. Serago y B. Lord, Entrenamiento de Hydro-BID usando informaci satelital, RTI Internacional.
- [2] A. Bateman, HIDROLOGIA BASICA Y APLICADA, Grupo de Investigación en Transporte y Sedimentos, 2007.
- [3] G. Portillo, «Meteorología En Red,» [En línea]. Availab <https://www.meteorologiaenred.com/pluviometro.html>. [Último acceso: 12 Enero 2020].
- [4] «Sistema de Información Ambiental de Colombia,» [En línea]. Availab <http://www.siac.gov.co/ninoynina>. [Último acceso: 16 Enero 2020].
- [5] «ATLAS IDEAM,» [En línea]. Availab <http://atlas.ideam.gov.co/visorAtlasClimatologico.html>. [Último acceso: 16 Enero 2020].
- [6] «Secretos para contar,» [En línea]. Availab <http://www.secretosparacontar.org/Lectores/Contenidosytemas/Calendariodelluviasenlazorandina.aspx?CurrentCatId=137>.
- [7] «Hidrografía de Santander,» [En línea]. Availab <https://www.todacolombia.com/departamentos-de-colombia/santander/hidrografia.html>. [Último acceso: 20 Enero 2020].
- [8] «Gobernación de Santander,» [En línea]. Available: <http://www.santander.gov.co/>.
- [9] «CDMB,» [En línea]. Availab <http://www.cdmb.gov.co/web/images/Documentacion/sitios%20de%20interes/Analisis%20pluviometrico%281%29.pdf>. [Último acceso: 12 Enero 2020].
- [10] D. V. Carrera Villacrés, P. V. Guevara García, L. C. Tamayo Bacacela, A. L. Balarezo Aguilera, C. A. Narváez rivera y D. R. Morocho López, «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*, n° 34, pp. 79-88, 2016.
- [11] M. Sattari, A. Rezaadeh-Joudi y A. Kusiak, «Assessment of different methods for estimation of missing data in precipitation studies.,» *Hydrology Research*, vol. 48, n° 4, pp. 1032-1040, 2017.
- [12] R. Campuzano y A. Smith, «Universidad Nacional de Colombia,» 03 enero 2012. [En línea]. Available: <http://www.bdigital.unal.edu.co/4423/>.
- [13] R. Pizarro, P. Ausensi, C. Sangüesa, L. León y F. Balocchi, «unesco,» Septiembre 2009. [En línea]. Availab <http://www.unesco.org/new/fileadmin/MULTIMEDIA/FIELD/Montevideo/images/AquaLAC2-Sep2009-web-86-98.pdf>. [Último acceso: Septiembre 2019].
- [14] V. P. a. K. N. H.P.G.M. Caldera, «A Comparison of Methods of Estimating Missing Daily Rainfall Data,» *Engineer: Journal of the Institution of Engineers, Sri Lanka*, 2016.
- [15] A. A. Bier y S. E. Teleginski Ferraz, «Comparação de Metodologias de Preenchimento de Falhas em Dados Meteorológicos para Estações no Sul do Brasil,» *Revista Brasileira Meteorologia*, p. 12, 2017.
- [16] E. Luna Romero y W. Lavado Casimiro, «Evaluación de métodos hidrológicos para completación de datos faltantes de precipitación en estaciones de la cuenca Jetepeque, Perú,» *Revista Tecnológica ESPOL*, vol. 28, n° 3, pp. 42-52, 2015.
- [17] R. D. Medina Rivera, Estimación Estadística de valores faltantes en series históricas de lluvia Pereira: Universidad Tecnológica de Pereira, 2008.

- [18A. R.-J. ,. A. K. Mohammad-Taghi Sattari, «iwa publish,» 30 Septiembre 2016. [En línea Available: <https://iwaponline.com/hr/article-abstract/48/4/1032/1542>.
- [19 «Definición de correlación estadística – Diccionario | Superprof,» [En línea]. Available <https://www.superprof.es/diccionario/matematicas/estadistica/correlacion-estadistica.html>. [Último acceso: 3 Marzo 2020].
- [20 «Explorable,» [En línea]. Available: <https://explorable.com/es/la-correlacion-estadistica> [Último acceso: 3 Marzo 2020].
- [21 C. Achen, *Interpreting and using regression*, Londres, 1982.
- [22 «Web y Empresas,» [En línea]. Available: <https://www.webyempresas.com/coeficiente-c-correlacion-de-pearson/>. [Último acceso: 3 Marzo 2020].
- [23 «Aprendizaje automatico y las Metricas de regresión - sitiobigdata.com,» [En línea]. Available <http://sitiobigdata.com/2018/08/27/machine-learning-metricas-regresion-mse/#>. [Último acceso: 3 Marzo 2020].
- [24 J. A. Rivas Escobar, *ANÁLISIS DE LA CORRELACIÓN DE DATOS DE PRECIPITACIÓN ENTRE EL SATÉLITE TRMM Y LAS ESTACIONES PLUVIOMÉTRICAS UBICADAS EN LA CUENCA DEL RÍO BOGOTÁ*, Bogotá: Universidad Santo Tomás, 2014.
- [25 C. Herrera Oliva, J. Campos Gaytán y F. Carrillo González, «Estimación de datos faltantes de precipitación por el método de regresión lineal: Caso de estudio Cuenca Guadalupe, Baja California, México,» *Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal*, vol. 25, nº 71, pp. 34-44, 2017.
- [26 T. W. Company, «Weather Underground,» [En línea]. Available <https://www.wunderground.com/>. [Último acceso: Septiembre 2019].
- [27 NASA, «NASA POWER,» [En línea]. Available: <https://power.larc.nasa.gov/>. [Último acceso: 2019 Septiembre].
- [28 IDEAM, «Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales,» [En línea]. Available <http://www.ideam.gov.co/>. [Último acceso: Septiembre 2019].
- [29 S. Achelis, *El análisis Técnico de la A a la Z*, Barcelona: Valor Editions, 2004.
- [30 C. d. C. G. Universidad Católica de Chile y S. E. I. , *Guía Metodológica Modelación Hidrológica y de Recursos Hídricos con el Modelo WEAP*, Chile: Universidad Católica de Chile, 2009.
- [31 GISGeography, «GISGeography,» 22 Mayo 2016. [En línea]. Available <https://gisgeography.com/inverse-distance-weighting-idw-interpolation/>. [Último acceso: Enero 2020].
- [32 J. E. Montealegre, *Técnicas estadísticas aplicadas en el manejo de datos hidrológicos meteorológicos*, Bogotá: IDEAM, 1990.
- [33 C. Herrera Oliva, J. Campos Gaytán y F. Carrillo González, «Estimación de datos faltantes de precipitación por el método de regresión lineal: Caso de estudio Cuenca Guadalupe, Baja California, México,» *Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal*, vol. 25, nº 71, pp. 34-44, 2017.