



UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA

Comunidad Educativa al Servicio del Pueblo

**UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERÍA, INDUSTRIA
Y CONSTRUCCIÓN**

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

**ESTIMACIÓN DE DATOS FALTANTES DE PRECIPITACIÓN
EN LAS ESTACIONES METEOROLÓGICAS DE LA
MICROCUENCA DEL RÍO TABACAY**

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN
DEL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL**

AUTOR: BYRON STALIN CASTAÑEDA DOMÍNGUEZ

DIRECTOR: GOETHE EMMANUEL PALOMEQUE LARRIVA

AZOGUES – ECUADOR

2021

*Yo me gradúe en
los 50 años de La Cato!
... y sostuve la Universidad*



UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA

Comunidad Educativa al Servicio del Pueblo

UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERÍA, INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

ESTIMACIÓN DE DATOS FALTANTES DE PRECIPITACIÓN EN LAS ESTACIONES METEOROLÓGICAS DE LA MICROCUENCA DEL RÍO TABACAY

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO
DE INGENIERO CIVIL**

AUTOR: BYRON STALIN CASTAÑEDA DOMÍNGUEZ

DIRECTOR: GOETHE EMMANUEL PALOMEQUE LARRIVA

AZOGUES - ECUADOR

2021

*Yo me gradué en
los 50 años de La Cato!
... y sostuve la Universidad*

Declaratoria de Autoría y Responsabilidad

Byron Stalin Castañeda Domínguez portador(a) de la cédula de ciudadanía N° **0302497789**.

Declaro ser el autor de la obra: **“ESTIMACIÓN DE DATOS FALTANTES DE PRECIPITACIÓN EN LAS ESTACIONES METEOROLÓGICAS DE LA MICROCUENCA DEL RÍO TABACAY”**, sobre la cual me hago responsable sobre las opiniones, versiones e ideas expresadas. Declaro que la misma ha sido elaborada respetando los derechos de propiedad intelectual de terceros y eximo a la Universidad Católica de Cuenca sobre cualquier reclamación que pudiera existir al respecto. Declaro finalmente que mi obra ha sido realizada cumpliendo con todos los requisitos legales, éticos y bioéticos de investigación, que la misma no incumple con la normativa nacional e internacional en el área específica de investigación, sobre la que también me responsabilizo y eximo a la Universidad Católica de Cuenca de toda reclamación al respecto.

Cuenca, **30 de julio de 2021**



Byron Stalin Castañeda Domínguez

C.I. 0302497789

CERTIFICADO DEL TUTOR

UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERÍA, INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN

Oficio Nro. UCACUE-GP-G-21-21-012

Azogues, 15 de julio de 2021.

ASUNTO: Informe calificación trabajo de titulación. Ingeniero.

Ricardo Romero G. Mgs.

DIRECTOR DE CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL – SEDE AZOGUES.

UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERÍA, INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN.

De mi consideración.

Adjunto al presente, sírvase encontrar la rúbrica de evaluación del proceso de trabajo de titulación del estudiante CASTAÑEDA DOMÍNGUEZ BYRON STALIN, que fue desarrollado bajo mi tutoría y que se denomina: “Estimación de datos faltantes de precipitación en las estaciones meteorológicas de la microcuenca del río Tabacay”. Me permito informar además que, el trabajo ha sido completado en su totalidad bajo mi supervisión y considero que es apto para continuar con los trámites correspondientes para su titulación. La nota final del trabajo escrito obtenida es de 47/50.

Sin otro particular.

Atentamente,



Ing. Goethe Palomeque L. MSc. DOCENTE FACULTAD DE
INGENIERÍA CIVIL. UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE CUENCA – SEDE AZOGUES

AGRADECIMIENTOS

Agradecer primero a Dios que me ha dado la perseverancia para alcanzar esta meta propuesta, así como también, infinita gratitud para mis padres, por su apoyo, valores y consejos que han sido la base de mi formación.

A la Universidad Católica de Cuenca, Unidad Académica de Ingeniería, Industria y Construcción, Carrera de Ingeniería Civil, que me abrió sus puertas y me forjó como ser humano, en la persona del Ing. Goethe Emmanuel Palomeque Larriva por el inestimable tiempo brindado al desarrollo de este trabajo de titulación.

A la Empresa Pública Municipal de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento Ambiental del Cantón Azogues, que me ha brindado toda su colaboración para la recopilación de la base de datos.

RESUMEN

El presente trabajo aplicó y comparó metodologías estadísticas a fin de estimar series de datos de precipitación faltantes en los equipos meteorológicos operativos y en monitoreo de la microcuenca del río Tabacay, con el propósito de identificar un método que proporcione resultados confiables para el empleo en distintos ámbitos de investigación.

Para la aplicación e identificación de las metodologías involucradas en el estudio se utilizaron los registros pluviométricos de los equipos meteorológicos de Condoryacu, Nudpud, Llaucay y Guapán, luego se aplicó métodos de bondad de ajuste, como el coeficiente de determinación, coeficiente de correlación de Pearson, error estándar de estimación y la prueba “ANOVA” a fin de aceptar o descartar los conjuntos de datos de referencia para el cálculo.

Los resultados se validaron con la eliminación de intervalos de datos completos y posterior relleno a través de los métodos estadísticos, a fin de identificar la discrepancia entre los datos calculados y eliminados; por consiguiente, en la selección de la metodología que más se ajusta a los valores reales se identificó diferentes métodos y están en función del equipo meteorológico en que se aplique.

La aplicación de los métodos estadísticos demuestra una herramienta esencial en el relleno de datos, sin embargo existen metodologías que despuntan en la calidad de la estimación, este trabajo investigativo busca aportar al relleno de mediciones de precipitación confiables en los equipos meteorológicos de la microcuenca del río Tabacay.

Palabras clave: bondad de ajuste, estación meteorológica, microcuenca Tabacay, precipitación diaria, relleno datos

ABSTRACT

This work applied and compared statistical methodologies to evaluate missing precipitation data series in the operational and monitoring meteorological equipment of the Tabacay River micro basin, to identify a method that provides reliable results for use in different areas of research.

For the application and identification of the methodologies involved in the study, the fluviometric records of the meteorological teams of Condoryacu, Nudpud, Llaucay, and Guapán were used, then goodness-of-fit methods were applied, such as the coefficient of determination,

Pearson correlation coefficient, standard error of estimation and the "ANOVA" test to accept or discard the reference data sets for the calculation. The results were validated with the elimination of complete data intervals and subsequent filling through the statistical methods, in order to identify the discrepancy between the calculated and eliminated data; therefore, in the selection of the methodology that best fits the real values, different methods were identified and are depending on the meteorological equipment in which it is applied. The application of statistical methods proves to be an essential tool in the data filling; however, some methodologies stand out in the quality of the estimation, this research work seeks to contribute to the filling of reliable precipitation measurements in the meteorological equipment of the Tabacay river micro-basin.

Keywords: goodness-of-fit, meteorological station, Tabacay micro basin, daily precipitation, data filling

ÍNDICE DE CONTENIDOS.

AGRADECIMIENTOS	i
RESUMEN.....	ii
ABSTRACT	iii
ÍNDICE DE FIGURAS	ii
ÍNDICE DE TABLAS	iii
ÍNDICE DE ECUACIONES.....	vi
ÍNDICE DE ANEXOS	vii
CAPÍTULO I.....	1
INTRODUCCIÓN	1
OBJETIVOS.....	2
GENERAL	2
ESPECÍFICOS	2
DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA	3
JUSTIFICACIÓN.....	4
CAPÍTULO II	5
MARCO TEÓRICO.....	5
Enfoque de los problemas hidrológicos.	5
Precipitación.....	5
Formación de la precipitación	6

Formas de precipitación	7
Medición de la precipitación	7
Cuenca hidrográfica.	9
Características de la cuenca.....	10
Consistencia de las series de precipitación	11
Coeficiente de determinación (R^2)	12
Coeficiente de correlación (r).....	13
Error estándar de estimación	14
Test de concordancia de Bland y Altman (ACBA).....	14
La prueba ANOVA	14
Métodos de relleno de datos hidrológicos faltantes	16
Método de razón normal	16
Método de relleno por razones de distancias	16
Método de correlación con estaciones vecinas	17
Método de razón “Q”	18
Método de regresión lineal simple	18
Método de regresión lineal múltiple.....	19
CAPÍTULO III	20
METODOLOGÍA	20
Sitio de estudio	20
Parámetros fisiográficos de la microcuenca del río Tabacay	21

Datos de precipitación	22
Coeficiente de determinación (R^2)	24
Coeficiente de correlación de Pearson (r)	26
Análisis de varianza (ANOVA)	27
Relleno de datos de precipitación.....	30
Relleno por el método de razón normal	31
Relleno por el método de razones de distancias.....	32
Relleno por el método de correlación con estaciones vecinas	34
Relleno por el método de razón “Q”	35
Relleno por el método de regresión lineal.....	36
Confiabilidad de los datos calculados	38
Error estándar de estimación (EEE)	39
Test de concordancia de Bland y Altman.....	40
CAPÍTULO IV	42
RESULTADOS Y DISCUSIONES	42
Descripción de resultados.....	42
Caracterización de la microcuenca del río Tabacay	42
Datos de precipitación faltantes	44
Validez de las correlaciones	45
Metodologías de relleno de datos.....	52
Calidad de las estimaciones.....	61

Análisis de resultados.....	75
Influencia de las características de la microcuenca.....	76
Análisis de las correlaciones para el cálculo de valores faltantes	80
Análisis de la validación de las metodologías.....	82
CAPÍTULO V	88
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	88
Conclusiones	88
Recomendaciones.....	89
CAPÍTULO VI.....	91
BIBLIOGRAFÍA Y ANEXOS.....	91
Referencias bibliográficas	91
Anexos.....	94

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Proceso de análisis de datos hidrológicos. [1]	5
Figura 2 Formación de la precipitación. [2]	6
Figura 3 Pluviómetro. [4]	8
Figura 4 Pluviógrafo. [5]	9
Figura 5 (a). Cuenca Endorreica; (b). Cuenca Exorreica. [4]	10
Figura 6 Cuenca, subcuenca y microcuenca. [7]	11
Figura 7 Modelo gráfico de un grupo de datos. [11]	12
Figura 8 Rectas de correlación de Pearson. [12]	13
Figura 9 Representación espacial de las distancias; Método de relleno por razones de distancias. [16]	17
Figura 10 Subcuenca del río Burgay; microcuenca del río Tabacay. [20]	20
Figura 11 Parámetros geométricos de la microcuenca del río Tabacay. Fuente: Autor	42
Figura 12 Tipo de cobertura vegetal de la microcuenca del río Tabacay. Fuente: Autor.	43
Figura 13 Correlación Condoryacu - Llaucay, intervalo: 1 al 28 de febrero del 2018. Fuente: Autor	47
Figura 14 Diferencias promedio del Test “ACBA” Pluviómetro de Condoryacu. Fuente: Autor.	73
Figura 15 Diferencias promedio del Test “ACBA” Estación Nudpud. Fuente: Autor.	74
Figura 16 Diferencias promedio del Test “ACBA” Intervalo 4. Fuente: Autor.	74
Figura 17 Diferencias promedio del Test “ACBA” Intervalo 5. Fuente: Autor.	75

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Clasificación de la precipitación, según su forma. [1]	7
Tabla 2 Clasificación de las cuencas por su tamaño. [6]	21
Tabla 3 Tipos de formas según valores de "K". [6]	22
Tabla 4 Referencia de las estaciones de correlación. Fuente: Autor.....	23
Tabla 5 Esquema de "R ² " y "r" para los diferentes casos de análisis. Fuente: Autor.....	25
Tabla 6 Análisis para la prueba ANOVA. Fuente: Autor.	27
Tabla 7 Formato de una tabla ANOVA. [12].....	29
Tabla 8 Estaciones de análisis para el método de razón normal y razones de distancias. Fuente: Autor.....	31
Tabla 9 Distancia (mtrs) entre los equipos meteorológicos de la microcuenca del río Tabacay. Fuente: Autor.....	33
Tabla 10 Esquema para la aplicación del método de razones de distancias. Fuente: Autor. ...	33
Tabla 11 Esquema para la aplicación del método de razón "Q". Fuente: Autor.....	35
Tabla 12 Posición geográfica de las estaciones meteorológicas de estudio. Fuente: Autor. ...	44
Tabla 13 Intervalos de mediciones de precipitación faltantes. Fuente: Autor.	44
Tabla 14 Porcentajes de precipitación acumulada en las estaciones de Condoryacu y Nudpud para el intervalo del 1 al 28 de febrero del 2018. Fuente: Autor.....	46
Tabla 15 Valores del coeficiente de determinación (R ²). Fuente: Autor.	47
Tabla 16 Valores del coeficiente de correlación de Pearson "r". Fuente: Autor.....	49
Tabla 17 Cálculo para el valor de "SST" para el caso N ^o 1. Fuente: Autor.....	50
Tabla 18 Análisis de varianza ANOVA para el caso N ^o 1. Fuente: Autor.	51
Tabla 19 Valores de "F" para la prueba "ANOVA". Fuente: Autor.	51
Tabla 20 Formulación matemática de las metodologías estadísticas aplicadas. Fuente: Autor.	53

Tabla 21 Promedio diario de precipitación; Método de razón normal. Fuente: Autor.	53
Tabla 22 Coeficientes de correlación de Pearson para el método de “CEV”. Fuente: Autor. .	54
Tabla 23 Datos calculados para el intervalo N ⁰ 1 (Intervalo faltante). Fuente: Autor.....	56
Tabla 24 Datos calculados para el intervalo N ⁰ 3 (Intervalo faltante). Fuente: Autor.....	57
Tabla 25 Datos calculados para el intervalo N ⁰ 4 (Intervalo faltante). Fuente: Autor.....	58
Tabla 26 Datos calculados para el intervalo N ⁰ 5 (Intervalo faltante). Fuente: Autor.....	59
Tabla 27 Comparación de la media de precipitación entre el intervalo faltante y el intervalo a eliminar. Fuente: Autor.	61
Tabla 28 Correlación de datos para intervalos eliminados. Fuente: Autor.	63
Tabla 29 Datos calculados para el intervalo N ⁰ 1 (Intervalo eliminado). Fuente: Autor.....	65
Tabla 30 Datos calculados para el intervalo N ⁰ 3 (Intervalo eliminado). Fuente: Autor.....	66
Tabla 31 Datos calculados para el intervalo N ⁰ 4 (Intervalo eliminado). Fuente: Autor.....	67
Tabla 32 Datos calculados para el intervalo N ⁰ 5 (Intervalo eliminado). Fuente: Autor.....	68
Tabla 33 Valores de R ² para validación y selección de metodología. Fuente: Autor.	70
Tabla 34 Valores de EEE para validación y selección de metodología. Fuente: Autor.....	71
Tabla 35 Valores de "f" para validación y selección de metodología. Fuente: Autor.	72
Tabla 36 Valores de correlación de las estaciones para cobertura vegetal de matorral húmedo (Intervalos faltantes). Fuente: Autor.	77
Tabla 37 Valores de correlación de las estaciones para cobertura vegetal de páramo y matorral húmedo (Intervalos faltantes). Fuente: Autor.	77
Tabla 38 Valores de correlación de las estaciones para cobertura vegetal de matorral húmedo (Intervalos eliminados). Fuente: Autor.	79
Tabla 39 Valores de correlación de las estaciones para cobertura vegetal de páramo y matorral húmedo (Intervalos eliminados). Fuente: Autor.	79

Tabla 40 Error máximo y mínimo de las metodologías de relleno. Fuente: Autor.....	82
Tabla 41 Métodos de relleno de datos elegidos como los mejores estimadores. Fuente: Autor.	86
Tabla 42 Metodología mejor aplicable en función de la estación meteorológica con datos faltantes. Fuente: Autor.	87

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1 Estadístico "F" de la prueba ANOVA. [12]	15
Ecuación 2 Método de razón normal. [15].....	16
Ecuación 3 Método de razones de distancias. Fuente: [16]	17
Ecuación 4 Método de correlación con estaciones vecinas. [17].....	18
Ecuación 5 Método de razón "Q". [9]	18
Ecuación 6 Método de regresión lineal simple. [11].....	19
Ecuación 7 Método de regresión lineal múltiple. [16].....	19
Ecuación 8 Coeficiente de Gravelius. [6].....	22
Ecuación 9 Coeficiente de determinación (R^2). [11].....	25
Ecuación 10 Coeficiente de correlación de Pearson. [12].....	26
Ecuación 11 Hipótesis nula. [12]	28
Ecuación 12 Hipótesis alternativa. [12]	28
Ecuación 13 Hipótesis nula planteada en las estaciones meteorológicas de análisis. Fuente: Autor.....	28
Ecuación 14 Variación total. [12]	29
Ecuación 15 Error aleatorio de los tratamientos. [12].....	30
Ecuación 16 Precipitación media. [12]	36
Ecuación 17 Desviación estándar. [12]	36
Ecuación 18 Constante de regresión "b". [10]	37
Ecuación 19 Constante de regresión "a". Fuente: [10].....	37
Ecuación 20 Constante de regresión " b_0 ". [11]	38
Ecuación 21 Constantes de regresión " b_1 " y " b_2 ". [11].....	38
Ecuación 22 Error Estándar de Estimación. [12]	40
Ecuación 23 Límites de concordancia. [13]	40

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1 Solicitud de la información de la base de datos pluviométricos, climatológicos e hidrológicos (EMAPAL-EP).....	94
Anexo 2 Valores críticos de la distribución "f" (significancia de 5%). Fuente: [12].....	95
Anexo 3 Diagramas de dispersión para "R ² ". Fuente: Autor.	95
Anexo 4 Tablas "ANOVA". Fuente: Autor.....	97
Anexo 5 Datos calculados para el intervalo N ^o 2. Fuente: Autor.	101
Anexo 6 Datos calculados para el intervalo N ^o 6. Fuente: Autor.	105
Anexo 7 Datos calculados para el intervalo N ^o 7. Fuente: Autor.	105
Anexo 8 Datos calculados para el intervalo N ^o 8. Fuente: Autor.	106
Anexo 9 Datos calculados para el intervalo N ^o 2 (Validación). Fuente: Autor.....	112
Anexo 10 Datos calculados para el intervalo N ^o 6 (Validación). Fuente: Autor.....	116
Anexo 11 Datos calculados para el intervalo N ^o 7 (Validación). Fuente: Autor.....	117
Anexo 12 Datos calculados para el intervalo N ^o 8 (Validación). Fuente: Autor.....	118
Anexo 13 Test de Bland y Altman para el intervalo N ^o 1. Fuente: Autor.	124
Anexo 14 Test de Bland y Altman para el intervalo N ^o 2. Fuente: Autor.	125
Anexo 15 Test de Bland y Altman para el intervalo N ^o 3. Fuente: Autor.	125
Anexo 16 Test de Bland y Altman para el intervalo N ^o 4. Fuente: Autor.	126
Anexo 17 Test de Bland y Altman para el intervalo N ^o 5. Fuente: Autor.	126
Anexo 18 Test de Bland y Altman para el intervalo N ^o 6. Fuente: Autor.	127
Anexo 19 Test de Bland y Altman para el intervalo N ^o 7. Fuente: Autor.	127
Anexo 20 Test de Bland y Altman para el intervalo N ^o 8. Fuente: Autor.	128

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

Los datos hidrológicos son variables esenciales en la estimación o proyección de una obra hidráulica. El punto de partida en los diferentes temas de investigación hídrico es la estimación de variables hidrológicas; por lo tanto, contar con una serie de datos completos en hidrología es fundamental para permitir el análisis y procesamiento de la información en la estimación de un evento de diseño.

Actualmente, los equipos meteorológicos de la microcuenca del río Tabacay registran secuencias de datos interrumpidos en los valores contabilizados en diferentes intervalos de tiempo, por lo que limita su uso al momento de utilizarlos en diferentes áreas relacionadas a temas hidrológicos; en síntesis, cuando una estación meteorológica no registra datos durante ciertos intervalos de tiempo, causa que la información no sea confiable, pues no se tiene un registro completo que evidencie la realidad de las variables que se presentan en la zona en la cual las estaciones meteorológicas receptan la información.

La finalidad de la siguiente investigación es obtener los datos de precipitación faltantes de los equipos meteorológicos de la microcuenca del río Tabacay, con el objetivo de proporcionar series de valores pluviométricos completos, y a su vez generar confianza al momento de utilizarlos en estudios posteriores; así como también permitir el correcto manejo de la información hidrológica.

Para lograr la identificación de los valores de precipitación faltantes se aplicará metodologías estadísticas, los datos se seleccionarán en función de un análisis de validación de resultados, que permitirán identificar el método apropiado; así también se identificará las características de la microcuenca donde se encuentran ubicadas las estaciones meteorológicas.

Finalmente, se aspira obtener series de datos de precipitación completas y confiables para los diferentes intervalos de tiempo en los cuales no se han registrado; a su vez, se espera que las referidas cifras concedan veracidad para quienes hagan uso de dicha información.

OBJETIVOS

GENERAL

Obtener datos de precipitación faltantes de los equipos meteorológicos de la microcuenca del río Tabacay, mediante el empleo de métodos estadísticos que proporcionen veracidad en los resultados alcanzados, con el propósito de aportar series de datos confiables para el empleo en aplicaciones relacionadas con temas hídricos.

ESPECÍFICOS

- Seleccionar y describir los métodos que se aplicarán para la obtención de datos faltantes de precipitación en los equipos meteorológicos de la microcuenca del río Tabacay.
- Determinar los parámetros fisiográficos de la microcuenca en donde se encuentran ubicados los equipos meteorológicos de estudio, con el propósito de conocer las condiciones bajo las cuales los equipos meteorológicos han registrado los datos de precipitación.
- Aplicar los métodos estadísticos seleccionados, con el propósito de obtener los valores de precipitación faltantes.
- Determinar, con base en los resultados, la validación y selección de la metodología para la obtención de datos faltantes de precipitación.

DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA

En el desarrollo de la investigación se considerará tres aspectos fundamentales; en principio, se identificará los parámetros fisiográficos de la microcuenca del río Tabacay, por otra parte, se seleccionarán y aplicarán metodologías estadísticas para el relleno de datos hidrológicos; por último, se identificará la metodología que brinde mayor confiabilidad en sus resultados.

Para conocer las características de la microcuenca y a su vez considerarlas al momento de seleccionar una metodología de relleno de datos, se determinarán sus parámetros fisiográficos como área, perímetro y factor de forma, mediante la aplicación de formulaciones matemáticas y geométricas seleccionadas a través de una revisión bibliográfica.

Por medio de la aplicación de metodologías estadísticas se completará las series de datos de lluvia de las estaciones meteorológicas de la microcuenca del río Tabacay con el fin de determinar aquellos datos que no han registrado las estaciones meteorológicas de la zona mencionada.

Mediante un análisis de validación de resultados por medio de la aplicación de metodologías como coeficiente de Determinación (R^2), error estándar de estimación (EEE), Análisis de Varianza (ANOVA), y demás que puedan ser aplicables, se identificará la discrepancia entre los valores utilizados y los valores obtenidos al aplicar los diferentes métodos de relleno de series de datos estadísticos a fin de identificar la metodología que brinde mayor confiabilidad en sus resultados.

JUSTIFICACIÓN

Los equipos de monitoreo meteorológico de la microcuenca del río Tabacay no cuentan con series de datos completos y confiables, estos sistemas de monitoreo climático brindan información de la zona mencionada con datos pluviométricos que aportan como variable para la ejecución de diversos aspectos de importancia para la sociedad, como lo son: investigaciones, estudios, actividades de monitoreo y en definitiva, el manejo de la información que en un futuro será base para establecer la toma de decisiones en la aplicación de los mismos; así pues, es necesario e importante que las estaciones meteorológicas de la microcuenca del río Tabacay presenten valores de precipitación completos y que a su vez generen confianza en su aplicación.

En la actualidad existe suficiente información como para determinar tendencias de la evolución de la precipitación para cada época de un año, sin embargo, con frecuencia en estas series históricas de datos de precipitación existen valores faltantes a causa de posibles aspectos como retiro del aparato de la zona en la cual registra la información y fallas en el proceso de medición; surgiendo así la necesidad de rellenar los datos que se han perdido para la utilización en estudios posteriores.

Es importante destacar que, el relleno de datos de precipitación permitirá a la Empresa Pública Municipal de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento Ambiental del cantón Azogues (EMAPAL-EP) contar con una serie continua de valores de lluvia, esto a su vez, facilitará a la empresa el monitoreo y manejo de los recursos hídricos de la zona.

Finalmente, la elaboración de la investigación resulta viable debido a que se puede contar con los datos estadísticos, los cuales serán otorgados por la empresa EMAPAL-EP. Por otra parte, en la actualidad se han comprobado metodologías estadísticas confiables que permiten completar los datos.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

Enfoque de los problemas hidrológicos.

Las variables como precipitación, humedad y temperatura son fenómenos hidrológicos complejos y difíciles de estudiar debido a que no presentan una tendencia o secuencia lógica; en muchos de los casos no es posible aplicar un modelo físico que permita conocer un resultado hidrológico esperado. [1]

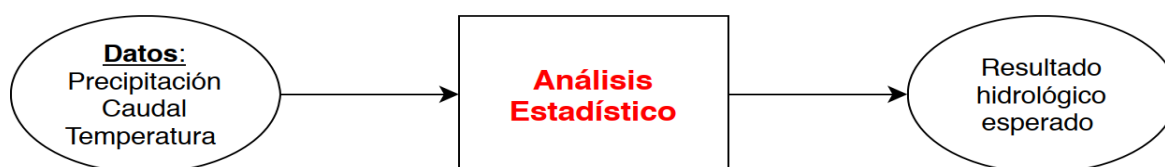


Figura 1 Proceso de análisis de datos hidrológicos. [1]

Cuando surge la necesidad de hallar un resultado hidrológico, es primordial contar con una serie de datos procesados, analizarlos de manera estadística y a continuación, tratar de establecer una regla que comande los sucesos analizados, así pues, en un análisis hidrológico es necesario contar con información que lleve a obtener los datos a ser encontrados, estos se determinan de una manera estadística, a fin de hallar una probabilidad de ocurrencia. [1]

Precipitación

La precipitación forma parte de los factores climatológicos más importantes junto a la evaporación, temperatura, humedad de vientos y aire; siendo estos tres últimos, factores que influyen de manera directa en la evaporación y principalmente en la lluvia; así pues, la precipitación es objeto de investigación primordial en la hidrología, su estudio se expresa en

las formas que adopta, su distribución sobre la superficie terrestre y el análisis de los datos necesarios para su cuantificación. [2]

Ahora bien, la precipitación es un término general, este hace referencia a todos los tipos de humedad que son provenientes de la atmosfera y luego son depositados en la superficie terrestre en forma de lluvia, granizo, nieve, neblina, o helada [3]. En síntesis, se puede definir a la precipitación como el proceso en el cual el agua cae a la superficie terrestre. [2]

Formación de la precipitación

La formación de la precipitación está en función de la elevación de una masa de agua hacia la atmosfera, para luego enfriarse y condensar su humedad. Si observamos la Figura 2 se puede identificar la conformación de la precipitación en las nubes; el agua se condensa debido a la elevación de una masa de aire frío lo que permite su cambio de estado de gaseoso a líquido; sin embargo, si la temperatura disminuye hasta su punto de congelamiento esta pasa a un estado sólido formando cristales de hielo. Para que se produzca la condensación es necesario una semilla conocida como núcleo de condensación, el cual hace que las moléculas de agua se puedan unir unas a otras hasta que su peso produce la caída hacia la superficie terrestre. [2]

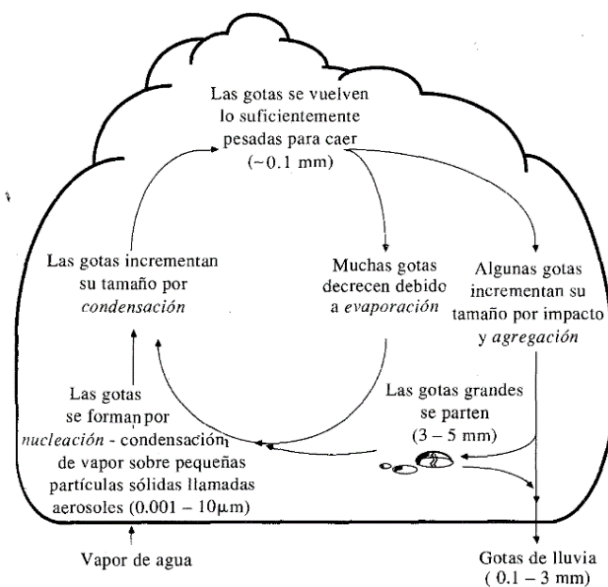


Figura 2 Formación de la precipitación. [2]

Formas de precipitación

Como se mencionó anteriormente, la humedad proveniente de la atmosfera cae desde la superficie en función de las condiciones en las que se forma según lo indicado en la Figura 2, por lo antes dicho, la precipitación según el estado el cual cae hacia la superficie se clasifica en llovizna, lluvia, escarcha, nieve y granizo. [2]

Tabla 1 Clasificación de la precipitación, según su forma. [1]

Forma	Descripción
Llovizna	Gotas de agua pequeñas; su diámetro está en un intervalo de 0.1 y 0.5 mm, lo que produce que su descenso sea lento.
Lluvia	Gotas de agua, cuyo diámetro es superior a los 0.5 mm.
Escarcha	Lamina de hielo de textura suave y transparente, cuyo interior posee pliegues de aire.
Nieve	Está formada por cristales de hielo, generalmente blanco y traslúcido.
Granizo	Precipitación cuya forma es similar a esferas, se forman por nubes convectivas, caen en estado sólido y su diámetro varía entre 5 y 125 mm.

Medición de la precipitación

Los instrumentos que se emplean para cuantificar la precipitación en una zona determinada son principalmente los pluviógrafos y pluviómetros; no obstante, la medición de la precipitación se hace con el propósito de llevar un registro histórico de la cantidad de lluvia que cae en una cierta zona; debido a que la precipitación se produce de manera irregular en cantidad, espacio y tiempo es necesario el uso de los instrumentos mencionados para que permitan llevar una

serie de datos que registren la cantidad de precipitación que se presenta a lo largo del tiempo.

[4]

Pluviómetro

Un pluviómetro está formado por un embudo que capta el agua producto de la precipitación, así como también de un recipiente cilíndrico conectado al embudo en donde se acumula el agua lluvia; con el objetivo de prevenir la entrada de objetos extraños y basura se coloca un par de mallas en el embudo. [4]

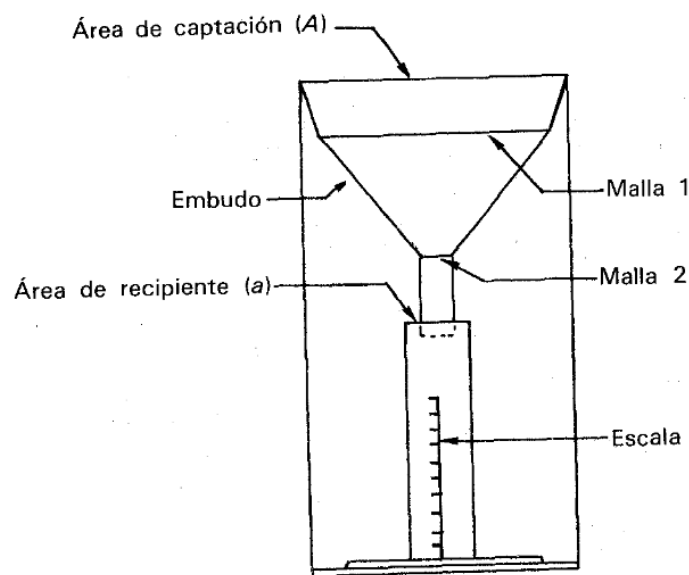


Figura 3 Pluviómetro. [4]

Pluviógrafo

Un pluviógrafo es similar a un pluviómetro, la ventaja en un pluviógrafo es la capacidad de registrar continuamente las mediciones de precipitación. El funcionamiento de este equipo se basa principalmente en hacer girar un tambor a velocidad constante sobre un papel graduado; posteriormente se coloca un flotador en un contenedor de 10 mm de lluvia aproximadamente, que a través de una plumilla marca las mediciones de precipitación sobre el papel; cabe recalcar que dicho recipiente se vacía automáticamente cuando este alcanza su máxima capacidad. [4]



Figura 4 Pluviógrafo. [5]

Cuenca hidrográfica.

En primer lugar, una cuenca es un área de la superficie de la tierra en el cual el agua, producto de la precipitación, cae sobre ella, y a su vez se dirige hacia zonas, las cuales son drenadas hacia los sitios más bajos hasta converger en un mismo punto de salida; con respecto a este concepto, cabe recalcar que, de igual manera existen cuencas subterráneas vinculadas a las cuencas superficiales; cuya fisonomía es similar a las cuencas superficiales descritas anteriormente. [4]

Desde el punto de evacuación o salida del agua, las cuencas se diferencian en endorreicas y exorreicas. En las cuencas endorreicas (a), el lugar de evacuación del agua se encuentra dentro de los límites de la cuenca, que por lo general es un lago; mientras que, en las cuencas exorreicas (b), el punto de salida del agua está en los límites de la cuenca y habitualmente afluye a otra corriente o en el mar, como se puede observar en la Figura 5. [4]

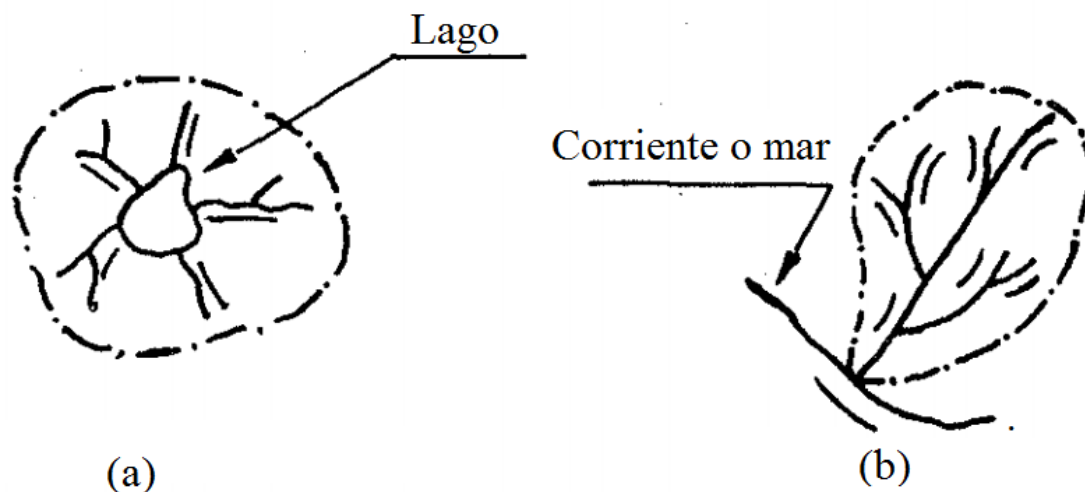


Figura 5 (a). Cuenca Endorreica; (b). Cuenca Exorreica. [4]

Características de la cuenca

En las características de una cuenca se pueden considerar varios aspectos como, su localización geográfica, con identificación de sus coordenadas geográficas que indiquen claramente su posición en la zona, la identificación de valles y colinas que permitan determinar el origen de los afluentes, los detalles geológicos, tipo de suelo y cobertura vegetal; y los parámetros morfológicos que permiten definir la forma, relieve y su influencia en reflejo a las precipitaciones. [6]

Así también, se indica los componentes que identifican las características de una cuenca; se tienen tres subdivisiones que son: subcuencas, microcuencas y quebradas; las subcuencas son el conjunto de microcuencas cuyos arroyos desembocan a un solo cauce con caudal variable, mientras que, una microcuenca es el área en la cual el drenaje del agua afluye al cauce principal de una subcuenca, así se puede decir que, una subcuenca es la agrupación de varias microcuencas, como se puede observar en la Figura 6. [7]

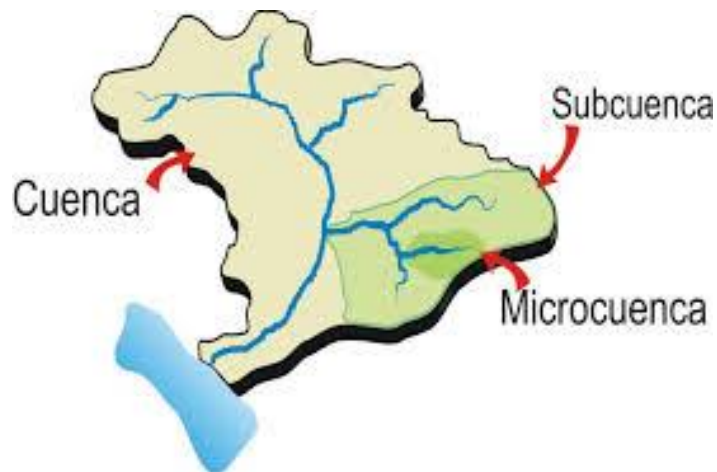


Figura 6 Cuenca, subcuenca y microcuenca. [7]

Características físicas

Los detalles geológicos que tiene el suelo de una cuenca definen el grado de permeabilidad que a su vez afecta el escurrimiento del agua bajo la superficie de la cuenca; por otra parte, el tipo de suelo y su cobertura vegetal influyen en las distintas etapas del ciclo hidrológico; así también, en la cantidad de agua interceptada y la infiltración. [8]

Características morfológicas

Las características morfológicas detallan los parámetros de la cuenca como su tamaño y forma; parámetros de relieve como elevación y pendiente media; por lo tanto la dimensión de una cuenca es una característica fundamental que está relacionada con el escurrimiento superficial, debido a que a mayor área de la cuenca el volumen de escurrimiento aumenta. [8]

La forma de una cuenca influye en el volumen de esorrentía para una misma intensidad y área de lluvia; por lo que si la cuenca es pequeña y redondeada el escurrimiento y evacuación hacia un punto de salida será más rápido que en una cuenca de forma alargada. [8]

Consistencia de las series de precipitación

Cuantificar la consistencia de la información de la precipitación es un paso muy importante al momento de completar las series de datos de lluvia de los equipos meteorológicos de la

microcuenca del río Tabacay, este paso se basa principalmente en realizar una comparación estadística entre dos o más registros de una misma variable climática, con el propósito de determinar cuan afines son sus datos entre sí. [9]

Coefficiente de determinación (R^2)

El coeficiente de determinación o también llamado coeficiente “ R^2 ” es un valor estadístico que se aplica principalmente para pronosticar resultados a futuro o probar una hipótesis, este coeficiente determina la calidad de un modelo gráfico (Figura 7) y cuantifica la variación de los resultados graficados. [10]

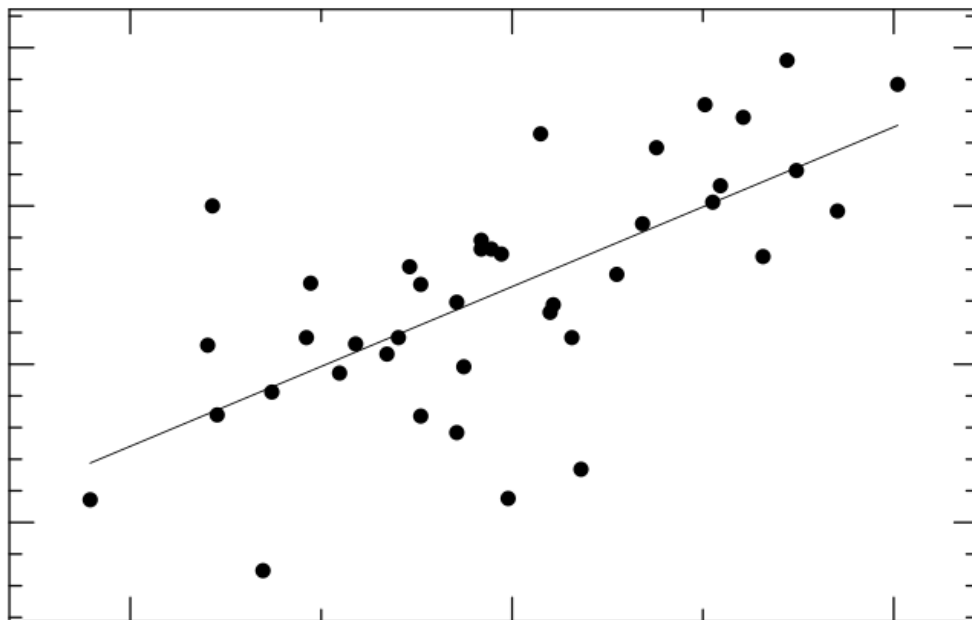


Figura 7 Modelo gráfico de un grupo de datos. [11]

En síntesis, el coeficiente de determinación parte de una gráfica de regresión lineal en donde el valor resulta ser el cuadrado de correlación de Pearson siempre y cuando la regresión se aproxime a una recta, en el cual el valor de “ R^2 ” puede estar entre 0 y 1, sin embargo existen caso en los que el valor de “ R^2 ” llega a ser negativo; su cálculo se expresa como la varianza de la variable dependiente y la varianza de la variable residual, refiérase a la Ecuación 9. [10]

Coefficiente de correlación (r)

El coeficiente de correlación “r” fue desarrollado por Karl Pearson y su fundamento principal es cuantificar la semejanza entre dos grupos de variables en una escala de razón o intervalo, generalmente se identifica con la letra “r” y también adopta el nombre de “Coeficiente de Pearson”; el valor de “r” siempre se encuentra en el intervalo de $-1.00 \leq r \leq +1.00$, en donde un valor de menos uno al igual que un valor de más uno indican una correlación perfecta. [12]

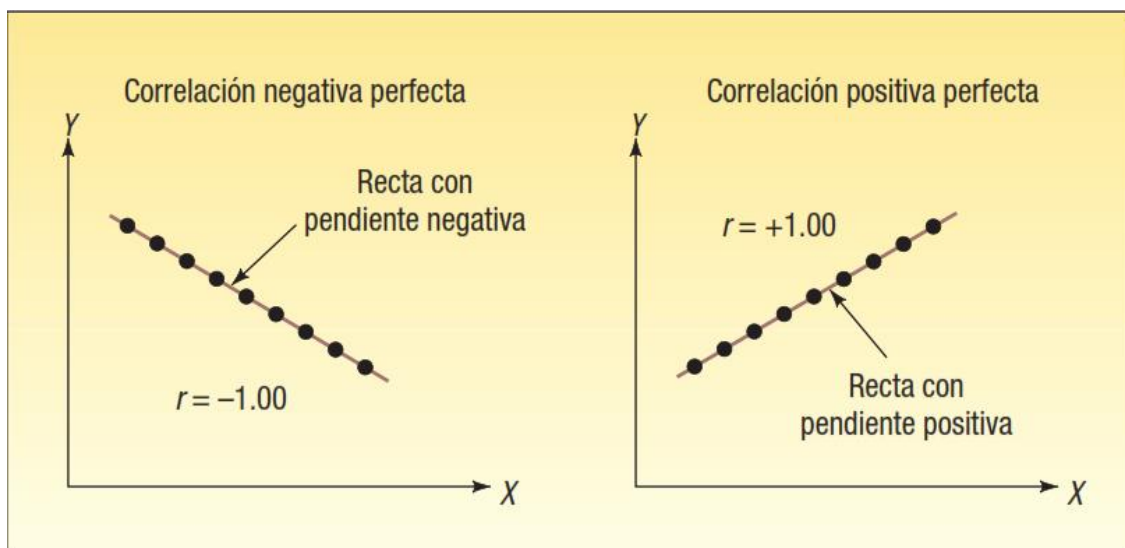


Figura 8 Rectas de correlación de Pearson. [12]

Cuando el coeficiente de Pearson adopta un valor igual a cero indica que no existe relación entre las variables de comparación; sin embargo, como se observa en la Figura 8, el valor positivo y negativo igual a 1, indican una correlación perfecta, por lo tanto, el signo del valor de “r” no influye en la fuerza de la correlación. [12]

A continuación, se enumera una lista de las principales características que identifican el coeficiente de correlación de Pearson:

1. Este coeficiente se expresa a través de la letra “r”.
2. Su argumento es indicar la fuerza y dirección de la relación lineal de dos o más grupos de datos que represente la misma variable.

3. El valor que adopta se encuentra entre $-1.00 \leq r \leq +1.00$.
4. Un valor igual o cercano a cero indica una nula o muy poca vinculación entre las variables de análisis.
5. Un valor igual o cercano a +1 indican una perfecta o alta correlación, ya sea directa o positiva entre los datos de análisis.
6. Un valor igual o cercano a -1 indican una perfecta o alta correlación, ya sea inversa o negativa entre los datos de análisis. [12]

Error estándar de estimación

El error de estimación estándar se define como la medida para exponer cuán preciso es el resultado de la variable “Y” respecto a una variable “X” o viceversa, su cuantificación está simbolizada por “ S_{y-x} ”, en donde el subíndice especifica el valor de error estándar de la variable “Y” respecto a un valor dado de “X”. En síntesis el error estándar de estimación cuantifica la dispersión respecto a una recta de regresión. [12]

Test de concordancia de Bland y Altman (ACBA)

El test de concordancia “ACBA” se basa principalmente en las diferencias existentes entre un dato real y uno valor estimado, mediante la comparación de gráficas residuales, por consiguiente, el test “ACBA” permite observar la similitud del error en la unidad de medida de los datos de análisis. [13]

La prueba ANOVA

La prueba “ANOVA” o también denominada como análisis de la varianza “ANOVA” se representa con la letra “F” debido a sir Ronald Fisher, a través de esta metodología se puede relacionar varias medias poblacionales de manera simultánea, siempre que las poblaciones sigan una distribución normal y los datos se encuentren en una escala de intervalos. [12]

Esta metodología determina si las medidas muestrales de un grupo de datos provienen de una sola población o de poblaciones con medidas muestrales diferentes, para la aplicación de una prueba “ANOVA” se requiere que la muestra de datos sea de una variable específica más no de varias variables que definan diferentes parámetros de medición. [12]

Por lo antes expuesto, se enumera una serie de características que presenta la distribución “F” y por lo tanto el análisis de varianza “ANOVA”:

1. El valor comparativo (Valor crítico de F) de “F” se determina mediante dos parámetros: los grados de libertad del numerador y los grados de libertad del denominador.
2. El valor de “F” puede representar un número de valores entre cero y el infinito positivo.
3. El menor valor que puede adoptar “F” es cero (No puede ser negativo).
4. Se supone una distribución normal en las poblaciones a ser analizadas.
5. Las poblaciones de análisis son independientes entre sí. [12]

En síntesis, la prueba “ANOVA” deduce tres aspectos importantes, la variación total, que es la suma de las diferencias entre cada grupo y la media global elevadas al cuadrado; la variación del tratamiento, que es la suma de las diferencias entre la media de cada tratamiento y media general o total elevadas al cuadrado y por último la variación aleatoria, que es la suma de las diferencias entre cada grupo y la potencia de su media de tratamiento. [12]

Finalmente, se tiene el estadístico de prueba o valor “F” que se define como la razón de las dos estimaciones de la varianza poblacional, y se representa mediante la siguiente ecuación:

$$F = \frac{\textit{Estimación de la varianza poblacional basada en las diferencias entre las medias muestrales}}{\textit{Estimación de la varianza poblacional basada en la variación dentro de la muestra}}$$

Ecuación 1 Estadístico "F" de la prueba ANOVA. [12]

Métodos de relleno de datos hidrológicos faltantes

Existen diversas metodologías para la determinación de datos faltantes en series hidrológicas, los cuales se basan principalmente en formulaciones matemáticas que relacionan mediante un modelo estadístico la variable independiente con el valor faltante. [14]

Método de razón normal

El método de razón normal o también método de proporción normal considera los promedios anuales de la estación con datos faltantes y de una o varias estaciones de referencia con la finalidad de obtener el valor de precipitación en una fecha en específico, la aplicación de esta metodología es confiable cuando se dispone de por lo menos dos estaciones de referencia. [15]

$$hpa = \frac{1}{n} \left[\frac{PA}{PB} * hpb + \frac{PA}{PC} * hpc + \frac{PA}{PD} * hpd + \dots + \frac{PA}{PN} * hpn \right]$$

Ecuación 2 Método de razón normal. [15].

Utilizando los datos de las mediciones de precipitación de por lo menos dos estaciones “hpb” y “hpc” se aplica la Ecuación 2, en donde “hpa” representa el valor de precipitación faltante, “n” el número de estaciones meteorológicas de referencia y “PA, PB, PC, PN” representan los valores promedios de las precipitaciones en un año de las estaciones meteorológicas de análisis. [15]

Método de relleno por razones de distancias

Esta metodología se aplica en la estimación de datos de precipitación menores de un año, es recomendable aplicarlo en zonas no montañosas; cabe recalcar que esta técnica posee una limitación, por lo que su aplicación requiere de dos o más estaciones de referencia con las cuales se pueda realizar el cálculo dado que utiliza las distancias sobre un plano desde la estación “x” como se observa en la Figura 9. [16]

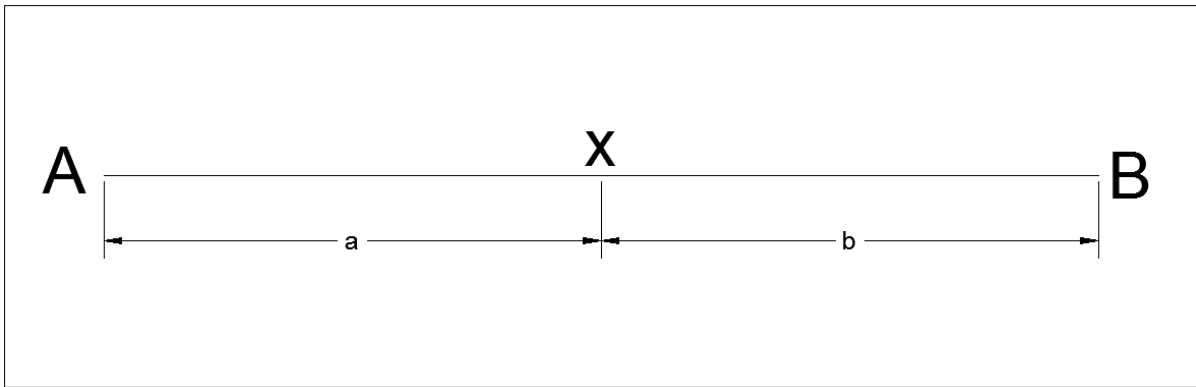


Figura 9 Representación espacial de las distancias; Método de relleno por razones de distancias. [16]
 En donde “x” representa la posición de la estación meteorológica con datos faltantes, “A” y “B” exponen la posición de las estaciones con datos completos y las acotaciones “a” y “b” indican la distancia en metros entre la estación “x” y las estaciones “A” y “B” respectivamente. [16]

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

Ecuación 3 Método de razones de distancias. Fuente: [16]

Este método relaciona las distancias (metros) entre la estación con datos faltantes “x” y las estaciones de referencia “A y B” como se representa en la Ecuación 3, en donde “PX” es el valor de precipitación a encontrar, “a” y “b” las distancias respectivas entre cada estación en metros y “PA” y “PB” las cifras de precipitación en los equipos meteorológicos con datos completos. [16]

Método de correlación con estaciones vecinas

Este método utiliza las precipitaciones estimadas en las estaciones de referencia y lo relaciona con los coeficientes de correlación del análisis entre la estación faltante y las estaciones con datos completos, cabe recalcar que no existen restricciones en el número de estaciones de

referencia, sin embargo se considera recomendable aplicarlo con dos o más estaciones de análisis. [17]

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

Ecuación 4 Método de correlación con estaciones vecinas. [17]

El valor de precipitación faltante “PX” se calcula mediante la Ecuación 4, en donde “PXi” son los datos de precipitación en las estaciones de referencia y “rXi” representa los coeficientes de correlación entre la estación con datos faltantes y las estaciones consideradas en el análisis. [17]

Método de razón “Q”

Esta metodología consiste en obtener la razón “Q” que se expresa como el cociente entre la sumatoria de las mediciones de precipitación de dos estaciones “A y B” para posteriormente encontrar el producto entre el valor de precipitación de la estación con datos completos y el valor de “Q”, el cual representará la cuantificación de la precipitación (Ecuación 5) en la estación con falta de datos. [9]

$$Q = \frac{\sum bi}{\sum ai} ; \quad bj = Q * aj$$

Ecuación 5 Método de razón "Q". [9]

Método de regresión lineal simple

El análisis de regresión se aplica cuando se requiere determinar una predicción, por lo general se relacionan entre dos o más variables, la cual se representa en forma matemática a través de una ecuación que se ajuste a la linealidad de las variables de estudio. [18]

El método de regresión lineal simple es uno de los más empleados para el relleno de datos de precipitación faltantes, para ello se necesita plantear una regresión y correlación lineal entre una estación de referencia y la estación con información faltante. [6]

$$y = a + b * x$$

Ecuación 6 Método de regresión lineal simple. [11]

A través de la línea de regresión representada en el gráfico de dispersión se puede establecer la formulación matemática que represente el modelo del caso de estudio (Ecuación 6); cabe indicar que la línea de regresión es una representación gráfica de la función que se ajusta a la nube de puntos del diagrama de dispersión. [11]

Método de regresión lineal múltiple

El método de regresión lineal múltiple es una extensión del método de regresión lineal simple, esta metodología es adecuada para un análisis en el que se permita controlar de manera explícita muchos otros factores que afectan de manera simultánea a la variable dependiente. [19]

$$y = a + b * x_1 + c * x_2 + d * x_3 + \dots + n * x_i$$

Ecuación 7 Método de regresión lineal múltiple. [16]

En donde “y” representa el dato de precipitación para la estación con carencia de información, los valores de “ x_i ” indican las mediciones de precipitación en las estaciones con información completa y “a, b, c, d, n” representan las constantes de regresión. [16]

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

Sitio de estudio

La microcuenca del río Tabacay está ubicada en la provincia del Cañar y forma parte de la subcuenca del río Burgay y a la cuenca del río Paute, esta se sitúa en las parroquias Bayas y Guapán, al norte del cantón Azogues. Los equipos meteorológicos se encuentran dispersos en la microcuenca en mención, el nombre de los equipos está en función de los poblados en donde se encuentran instalados.

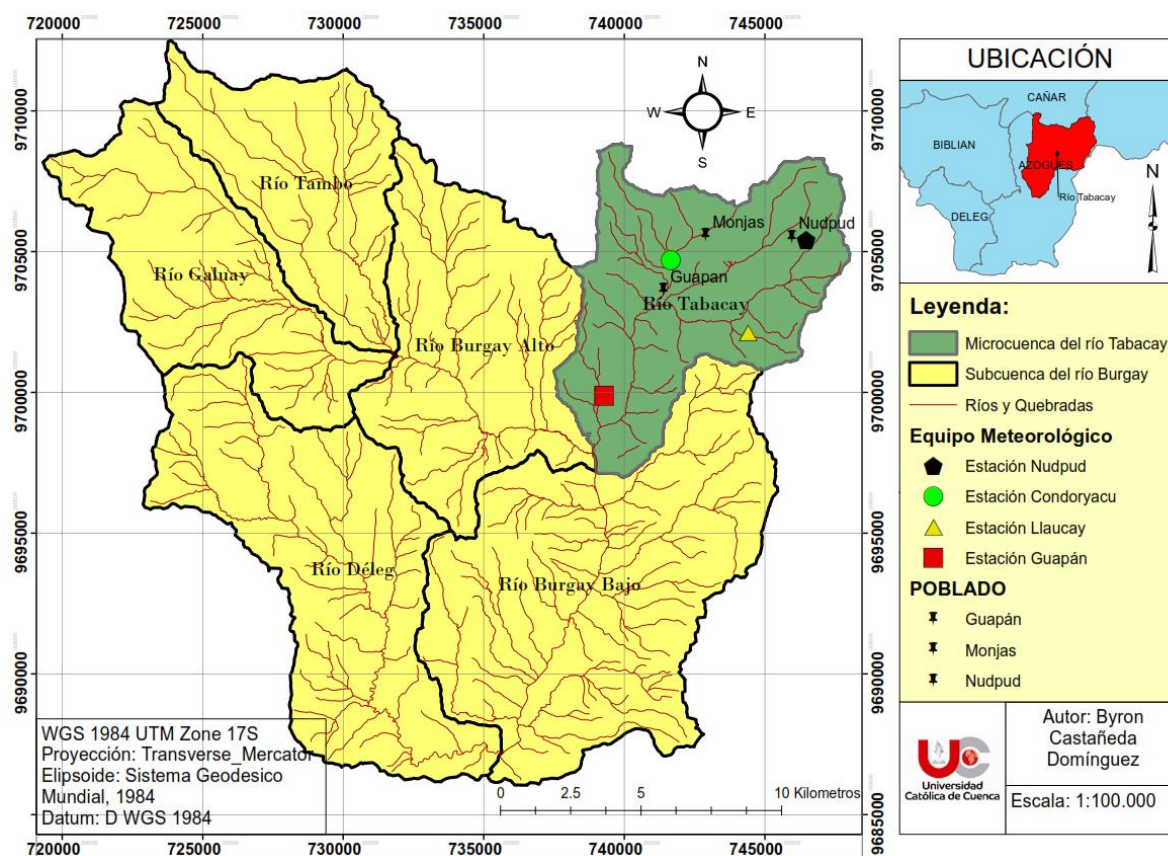


Figura 10 Subcuenca del río Burgay; microcuenca del río Tabacay. [20]

La microcuenca del río Tabacay posee un rango altitudinal que está entre los 2490 m.s.n.m en su zona más baja y los 3730 m.s.n.m en su punto más alto; las estaciones de Nudpud y Llaucay

se localizan en el sector alto de la microcuenca, mientras que las estaciones de Condoryacu y Guapán se sitúan en la parte baja [21]

Parámetros fisiográficos de la microcuenca del río Tabacay

Para el cálculo de los diferentes parámetros que definen las características fisiográficas de la microcuenca del río Tabacay se apoyó en sistemas de información geográfica (SIG), a partir de la cartografía otorgada por la “Empresa Pública Municipal de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento Ambiental del cantón Azogues” (EMAPAL EP).

Primeramente, se procedió a cargar en el “SIG” todas aquellas capas vectoriales importantes en la microcuenca del Tabacay, como lo son cuerpos de agua, ríos, quebradas, tipo de cobertura de la capa vegetal y la ubicación geográfica de los equipos meteorológicos de estudio.

Luego, a través de geo algoritmos, ejecutados en el programa, permitieron la determinación del área total de la microcuenca del río Tabacay, por consiguiente se tiene una clasificación del área en tres diferentes categorías que se indican en la Tabla 2.

Tabla 2 Clasificación de las cuencas por su tamaño. [6]

Categoría	Área
Pequeñas	Menor o igual a 50 km ²
Medianas	Entre 50 y 150 km ²
Grandes	Mayor o igual a 150 km ²

Para cuantificar la forma de una cuenca se aplicó la Ecuación 8, conocido como índice de compacidad o coeficiente de Gravelius, esta formulación matemática determina la forma de la hoya y lo relaciona directamente con el caudal de salida, expresada por un factor “K” adimensional y se expresa así:

$$K = \frac{0.28 * p}{A^{0.5}}$$

Ecuación 8 Coeficiente de Gravelius. [6]

Donde:

- K: Coeficiente de Gravelius.
- P: Perímetro de la cuenca (km).
- A: Área de la cuenca (km²).

Una vez identificado el valor de “K” la interpretación de su resultado se consideró de la siguiente manera: sea mayor o igual a 1, la forma de la cuenca se asemejara más a una circunferencia [6], por lo antes dicho, en la Tabla 3 se indica la clasificación de las cuencas según el valor de “K” calculado por la ecuación del coeficiente de Gravelius (Ecuación 8) y son las siguientes:

Tabla 3 Tipos de formas según valores de "K". [6]

Valor de “K”	Formas Según su Tipo
1.00 a 1.25	Casi redonda a oval redonda
1.26 a 1.50	Entre oval redonda y oval oblonga
1.51 a 1.75	Oval oblonga a rectangular oblonga

Finalmente, a través de procedimientos de mediciones y propiedades de las capas vectoriales se identificó las distancias espaciales entre cada uno de los equipos meteorológicos de la microcuenca del río Tabacay, así como también su elevación sobre el nivel del mar.

Datos de precipitación

Los datos correspondientes a la medición de la precipitación en la microcuenca del río Tabacay se obtuvieron de la red meteorológica de la “Empresa Pública Municipal de Agua Potable,

Alcantarillado y Saneamiento Ambiental del cantón Azogues” (EMAPAL EP), a través de una solicitud previa (Anexo 1), concretamente de la base de datos pluviométricos, climatológicos e hidrológicos del Departamento de Gestión Ambiental de la institución en mención. Se utilizaron los registros pluviométricos de cuatro estaciones meteorológicas en estado operativo con mediciones de precipitación registradas en diferentes intervalos de tiempo.

EL primer paso para lograr el objetivo principal es identificar los registros de lluvia diarios faltantes en los equipos meteorológicos de Condoryacu, Nudpud, Guapán y Llaucay; en base a ello se podrá definir los intervalos de tiempo en los cuales los equipos no receptación las mediciones de precipitación; cabe recalcar que se considerará como “Número de intervalo faltante” al grupo de días en los cuales los equipos de monitoreo meteorológico no receptaron las mediciones de precipitación diaria.

Una vez identificados los días en los cuales no se registró la medición de la precipitación en los equipos meteorológicos de estudio, se procedió a la aplicación de métodos de correlación de datos con el propósito de determinar la discordancia entre los datos de precipitación registrados en la estación con datos faltantes y los datos de precipitación en las estaciones de referencia.

Tabla 4 Referencia de las estaciones de correlación. Fuente: Autor.

Nº Intervalo Faltante	Estación con Datos	
	Incompletos	Estaciones de Referencia
1	Condoryacu	Nudpud y Llaucay
2	Nudpud	Condoryacu y Llaucay
3	Nudpud	Condoryacu y Llaucay
4	Guapán	Nudpud y Llaucay
5	Llaucay	Condoryacu

Nº Intervalo Faltante	Estación con Datos	
	Incompletos	Estaciones de Referencia
6	Nudpud	Condoryacu
7	Nudpud	Condoryacu, Guapán y Llaucay
8	Nudpud	Condoryacu, Guapán y Llaucay

Este procedimiento es muy importante, debido a que mediante la aplicación de los métodos se podrá aceptar o descartar las estaciones comparativas para su posterior relleno de datos, es importante mencionar que se aplicaron tres metodologías: el coeficiente de determinación (R^2), coeficiente de correlación de Pearson y el análisis de varianza (ANOVA).

Coefficiente de determinación (R^2)

El criterio considerado para la aplicación del método del coeficiente de determinación (R^2), se basó principalmente en la comparación estadística de una variable en dos diferentes grupos [10], en este caso los datos de precipitación de la estación meteorológica inconclusa con los valores de la estación completa, cabe indicar que el tamaño de la muestra de análisis debe ser uniforme en cada una de los casos de análisis.

Una vez identificados los valores de precipitación diaria de los equipos meteorológicos en análisis (Tabla 14) se realizó los porcentajes acumulados de cada una de las mediciones diarias de precipitación, posteriormente se graficó el diagrama de dispersión, a fin de identificar el ajuste lineal que existe entre las dos variables de observación.

Una vez que se dispone de un ajuste lineal, se determinó el valor “ R^2 ” al realizar la sustracción entre 1 y el cociente entre la varianza de los residuos y la varianza de los datos observados

(Ecuación 9); en términos hidrológicos se considera aceptable el valor de “R²” cuando este se encuentra en un intervalo de $-0.8 \leq R^2 \leq +0.8$. [17]

$$R^2 = 1 - \frac{S_x}{S_y}$$

Ecuación 9 Coeficiente de determinación (R²). [11]

Realizando los diagramas de dispersión y determinando los valores de “R²” se encontró las correlaciones en los demás casos de análisis, así pues en la Tabla 5 se plantea las estaciones comparativas con las que se realizó el cálculo de los demás casos de análisis; cabe recalcar que se conocerá como “Número de correlación” al análisis comparativo realizado en una estación con falta de datos respecto a otra con datos completos.

Tabla 5 Esquema de “R²” y “r” para los diferentes casos de análisis. Fuente: Autor.

Nº Correlación	Estación Inconclusa	Estación de Referencia
1	Condoryacu	Nudpud
2		Llaucay
3	Nudpud	Condoryacu
4		Llaucay
5	Nudpud	Condoryacu
6		Llaucay
7	Guapán	Nudpud
8		Llaucay
9	Llaucay	Condoryacu
10	Nudpud	Condoryacu
11	Nudpud	Condoryacu

Nº Correlación	Estación Inconclusa	Estación de Referencia
12		Guapán
13		Llaucay
14		Condoryacu
15	Nudpud	Guapán
16		Llaucay

Coefficiente de correlación de Pearson (r)

A semejanza de la metodología anterior, en el coeficiente correlación de Pearson se cuantificó la relación lineal entre dos variables del mismo tipo, al igual que en el anterior caso, se utilizó las mediciones de precipitación diarias de las estaciones de Condoryacu, Nudpud, Guapán y Llaucay; de la misma forma se graficó los diagramas de dispersión, en la recta horizontal correspondiente a los valores de la estación inconclusa y en la vertical los datos de la estación con datos completos.

$$r = \frac{\sum(X - \bar{X})(Y - \bar{Y})}{S_x S_y}$$

Ecuación 10 Coeficiente de correlación de Pearson. [12]

Para determinar el coeficiente de correlación de Pearson, se realizó el producto de la suma de la varianza de las variables de análisis, sobre el producto de la suma de las desviaciones estándares de la muestra de estudio.

La interpretación del valor del coeficiente de correlación de Pearson se consideró como una relación directa cuando este presentó un valor positivo e inversa cuando expresó un valor negativo [12]; al igual que en caso anterior, el valor de “r” siempre se encuentra en un intervalo

de $-1 \leq r \leq +1$; así mismo, en esta metodología se consideraran correlaciones aceptables cuando el valor de “r” se encuentre en un intervalo de $-0.8 \leq r \leq +0.8$ [17]

Análisis de varianza (ANOVA)

Al tener únicamente datos de mediciones de precipitación identificadas como una sola variable de medición se consideró el análisis de varianza “ANOVA” la ventaja de esta metodología está en su capacidad de congrega varios grupos de muestras de una misma variable, por lo antes dicho se plantea la siguiente agrupación de datos correspondientes a 11 análisis indicados en la Tabla 6.

Tabla 6 Análisis para la prueba ANOVA. Fuente: Autor.

Nº de Análisis	Estación con Datos Faltantes	Estaciones de Referencia	Intervalo Faltante
1	Condoryacu y Guapán	Nudpud y Llaucay	(08/feb/2018–18/feb/2018) y (09/feb/2018–21/feb/2018)
2	Nudpud	Condoryacu	(13/dic/2014–11/mar/2015)
3	Nudpud	Llaucay	(13/dic/2014–11/mar/2015)
4	Nudpud	Condoryacu y Llaucay	(23/mayo/2015–06/jun/2015)
5	Llaucay	Condoryacu	(14/dic/2015–20/ene/2016)
6	Nudpud	Condoryacu	(01/ene/2016–11/ene/2016)
7	Nudpud	Condoryacu y Llaucay	(20/jul/2016–10/ago/2016)
8	Nudpud	Guapán	(20/jul/2016–10/ago/2016)
9	Nudpud	Guapán y Llaucay	(28/mar/2019–09/abr/2019)
10	Nudpud	Condoryacu	(28/mar/2019–09/abr/2019)
11	Nudpud	Condoryacu, Guapán y Llaucay	(19/mar/2016–19/jul/2016)

Como se mencionó anteriormente, la ventaja de analizar los datos de varios grupos permitió el planteamiento de la Tabla 6, correspondiente a la medición de la precipitación en los equipos meteorológicos de Condoryacu, Nudpud, Guapán y Llaucay; la cantidad de análisis al que llamaremos en menciones posteriores como “Número de correlación” se consideró de una manera diferente respecto al coeficiente de determinación y al coeficiente de correlación de Pearson, debido a la posibilidad de agrupar varias muestras de una población en un solo intervalo de estudio. [12]

$$H_0 = \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_n$$

Ecuación 11 Hipótesis nula. [12]

$$H_1 \neq \mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3 \neq \mu_n$$

Ecuación 12 Hipótesis alternativa. [12]

Primeramente, se formula la hipótesis nula y alternativa, la cual plantea que las mediciones de precipitación media acumulada en los equipos meteorológicos de análisis, incluida la estación con datos faltantes, son iguales entre sí. [12]

$$H_0 = \text{Condoryacu} = \text{Nudpud} = \text{Guapán} = \text{Llaucay}$$

Ecuación 13 Hipótesis nula planteada en las estaciones meteorológicas de análisis. Fuente: Autor.

Una vez planteada la hipótesis de análisis, se selecciona el nivel de significancia, que en este caso se considerará $\gamma = 0.05$, o lo que quiere decir, un nivel de confiabilidad del 95%; este valor influirá posteriormente la elección del valor crítico de “F”.

Para seleccionar el valor crítico de “F”, refiérase al Anexo 2, es necesario saber los grados de libertad del numerador como del denominador; los grados de libertad del numerador se refiere al número de tratamientos (Número de estaciones de análisis) “k” menos 1, mientras que los grados de libertad del denominador son el número total de observaciones (Suma de las

mediciones de precipitación en las estaciones de análisis) “n” menos el número de estaciones de análisis, en síntesis tenemos que:

- Grados de libertad del numerador = $k - 1$
- Grados de libertad del denominador = $n - k$

Posteriormente, se realiza una tabla que resume los cálculos a realizarse “Tabla ANOVA” según las recomendaciones de [12] se usó un formato como se indica en la Tabla 7; se consideran principalmente tres valores para obtener el valor “F”, estos son el “SST” (variación debida a los tratamientos), el “SSE” (error aleatorio de los tratamientos) y el “SS total” (variación total).

Tabla 7 Formato de una tabla ANOVA. [12]

Análisis de Varianza					
Origen de las Variaciones	Suma de Cuadrados	Grados de Libertad	Media Cuadrática	F	Valor Crítico de “F”
Tratamientos	<i>SST</i>	$k - 1$	$\frac{SST}{k - 1} = MST$		
Error	<i>SSE</i>	$n - k$	$\frac{SSE}{n - k} = MSE$	<i>MST/MSE</i>	(Anexo 2)
Total	<i>SS total</i>	$n - 1$			

Se inició calculando el valor de “SS total” que estima las diferencias del cuadrado de cada uno de los promedios acumulados de las mediciones de precipitación diaria en los equipos meteorológicos de análisis y la media general, expresada en la Ecuación 14.

$$SS\ total = \sum(X - \bar{X}_G)^2$$

Ecuación 14 Variación total. [12]

En donde “X” representó la medida de precipitación diaria en cada una de los equipos meteorológicos y “ \bar{X}_G ” es la media general o global de la muestra de análisis; posteriormente

se calculó el valor de “SSE” que fue la suma de las diferencias al cuadrado en cada uno de los promedios acumulados de las mediciones de precipitación y su respectiva media de tratamiento (\bar{X}_C), considerando así su formulación como la Ecuación 15.

$$SSE = \sum(X - \bar{X}_C)^2$$

Ecuación 15 Error aleatorio de los tratamientos. [12]

Después se determinó el valor de la variación de los tratamientos “SST” en síntesis, se calculó la varianza en cada una de las estaciones de análisis (Tabla 17), posteriormente se realizó la sumatoria de todas las varianzas calculadas.

Finalmente se completó los grados de libertad del numerador y denominador indicado anteriormente, así como también se realiza el cálculo de la media cuadrática que se expresa como la diferencia entre la suma de los cuadrados “SST” y los grados de libertad de los tratamientos y del error. Una vez determinado el valor de “F” y el valor crítico de “F” se comprueba la hipótesis planteada anteriormente, donde se comprueba que:

- Si “F” > “Valor crítico de “F”, se rechaza la hipótesis “ H_0 ”.
- Si “F” < “Valor crítico de “F”, se acepta la hipótesis “ H_0 ”.

Al aceptar la hipótesis nula planteada inicialmente, se concluye que las mediciones de precipitación media son significativamente iguales en las estaciones de análisis, mientras que al rechazar la hipótesis nula, se establece que las mediciones de precipitación no son estadísticamente iguales [12].

Relleno de datos de precipitación.

Primeramente se visualizó las series de datos de las estaciones meteorológicas de la microcuenca del río Tabacay a fin de identificar los intervalos en los que no registraron mediciones de precipitación, los datos requeridos para el relleno de los valores faltantes

corresponden a las mediciones de precipitación diaria de las estaciones de Condoryacu, Nudpud, Guapán y Llaucay; cabe recalcar que, de cada metodología aplicada dependerá el número de estaciones de referencia con las que se pueda realizar el cálculo.

Relleno por el método de razón normal

La aplicación de esta metodología se realizó para los ocho intervalos faltantes, debido a que no existen limitaciones en cuanto al número de estación de referencia que se necesitan para realizar el cálculo, un insumo primordial en el cálculo a través de esta metodología son las cifras de precipitación media anual de las estaciones meteorológicas involucradas en el análisis. (Tabla 21)

Primeramente se determinó la media de las mediciones de precipitación en el año en el cual se registra el intervalo faltante (Tabla 21), sin embargo, en la estación meteorológica de Guapán no se determinó el promedio en los intervalos 2, 3 y 5 debido a que la instalación y registro de la información pluviométrica de este equipo meteorológico se efectuó a partir del año 2016, así también, en la (Tabla 21) se puede identificar que, en los intervalos 2 y 5 los datos faltantes corresponden a finales de un año e inicio de otro, en este caso, para los intervalos mencionados el promedio de un año se calculó a partir del mes con datos faltantes al mismo mes del año siguiente.

Tabla 8 Estaciones de análisis para el método de razón normal y razones de distancias. Fuente: Autor.

Nº Intervalo	Estación con Datos	Estaciones Consideradas en el
Faltante	Faltantes	Análisis
1	Condoryacu	Nudpud – Llaucay
2	Nudpud	Condoryacu – Llaucay
3	Nudpud	Condoryacu – Llaucay

Nº Intervalo	Estación con Datos	Estaciones Consideradas en el
Faltante	Faltantes	Análisis
4	Guapán	Nudpud – Llaucay
5	Llaucay	Condoryacu
6	Nudpud	Condoryacu
7	Nudpud	Guapán – Llaucay
8	Nudpud	Condoryacu – Guapán – Llaucay

El cálculo de las mediciones de precipitación a través de esta metodología se realizó con 1, 2 3 estaciones de referencia; si observamos la Tabla 4 y la Tabla 8 podemos identificar que en el intervalo faltante N° 7, la estación de referencia de Condoryacu no se considera en el análisis debido a que según [17] referente a la validez de las correlaciones, la semejanza estadística que existe entre los datos de precipitación de esta estación y los de la estación faltante no son considerablemente aceptables.

Finalmente, identificadas las estaciones para el cálculo y definidos los valores de precipitación media de las estaciones involucradas en el análisis se aplica la Ecuación 2 con el fin de estimar los valores de precipitación faltante en los intervalos establecidos.

Relleno por el método de razones de distancias

La aplicación de esta metodología posee limitaciones en cuanto al número de estaciones de referencia con las que se realiza el cálculo, se requiere por lo menos dos estaciones de referencia para su cálculo [12], de tal manera que no se aplicó para los intervalos faltantes N° 5 y 6, debido a que dispone de una sola estación de referencia.

Tabla 9 Distancia (mtrs) entre los equipos meteorológicos de la microcuenca del río Tabacay. Fuente: Autor.

Distancia (mtrs)	Condoryacu	Nudpud	Guapán	Llaucay
Condoryacu	0	4874.74	5380.00	3776.31
Nudpud	4874.74	0	9067.00	3901.33
Guapán	5380.00	9067.00	0	5587.47
Llaucay	3776.31	3901.33	5587.47	0

A través de la cartografía otorgada por “EMAPAL-EP” y mediante el empleo de “Sistemas de Información Geográfica” se determinó las distancias lineales en metros entre la estación con carencia de datos y las dos estaciones de referencia seleccionadas para el cálculo, en función de lo antes mencionado, en la Tabla 9 se describe la distancia entre cada una de los cuatro equipos meteorológicos involucrados en la aplicación de esta metodología, por otra parte, en la Tabla 10 se indica las estaciones de referencia que se utilizaron para el relleno de datos en cada uno de los intervalos faltantes.

Tabla 10 Esquema para la aplicación del método de razones de distancias. Fuente: Autor.

Nº Intervalo Faltante	Estación (X)	Estación (A)	Estación (B)
1	Condoryacu	Nudpud	Llaucay
2	Nudpud	Condoryacu	Llaucay
3	Nudpud	Condoryacu	Llaucay
4	Guapán	Nudpud	Llaucay
5	Llaucay	-	-

Nº Intervalo	Estación (X)	Estación (A)	Estación (B)
Faltante			
6	Nudpud	-	-
7	Nudpud	Guapán	Llaucay
8	Nudpud	Guapán	Llaucay

Como se indicó anteriormente la Tabla 10 detalla las estaciones de referencia respecto a la estación con datos faltantes “x” en el caso de los intervalos faltantes N° 1, 2, 3 y 4 se consideraron las dos únicas estaciones meteorológicas disponibles para el análisis, mientras que los intervalos faltantes N° 5 y 6 no se aplicó la metodología debido a que poseen una sola estación de referencia, en el intervalo faltante N° 7 se consideró la estación de “Guapán” y “Llaucay” la estación de “Condoryacu” no se correlaciona con la estación de análisis y no fue considerada en la aplicación de esta metodología. Finalmente en el intervalo faltante N°8 al tener tres estaciones disponibles para el cálculo se adoptó el criterio de considerar las dos estaciones que mejor se correlacionan con la estación “x”.

Relleno por el método de correlación con estaciones vecinas

En esta metodología se utilizó las precipitaciones estimadas a partir de las correlaciones realizadas entre la estación con carencia de datos y las estaciones de referencia, cabe recalcar que esta metodología es recomendable cuando el coeficiente de correlación no supera el ± 0.8 [22]

Por consiguiente, se seleccionó las estaciones de referencia que obtuvieron una semejanza estadística alta, basándose en el criterio de [17] acerca de los límites en la calidad de los datos de entrada, posteriormente se definieron los parámetros y términos de la Ecuación 4 como los

valores de precipitación en las estaciones de referencia y los valores del coeficiente de correlación de Pearson.

Para finalizar, la obtención de los datos faltantes se realizó mediante la aplicación de la Ecuación 4; para el intervalo faltante N° 7 no se consideró la estación de Condoryacu debido a que su bondad de ajuste respecto a la estación “x” es totalmente nulo.

Relleno por el método de razón “Q”

Para la aplicación del método de razón “Q” se consideró únicamente una estación de referencia para realizar el cálculo, en donde “a” es la estación meteorológica con datos completos y “b” la estación con datos faltantes; el criterio de selección de la estación de referencia se basó en función de la estación que mejor se ajustó estadísticamente a los datos de precipitación de la estación con valores faltantes.

Una vez identificada la estación de referencia para cada uno de los intervalos de análisis, se determinó la razón “Q” entre los valores diarios de precipitación que se representa como el cociente de la sumatoria de la muestra, que constituye los valores de precipitación de la estación “a” y “b” para posteriormente realizar el producto entre el valor “Q” y el dato de precipitación de la estación “a” (Ecuación 5).

Tabla 11 Esquema para la aplicación del método de razón "Q". Fuente: Autor.

Nº Intervalo faltante	Estación (b)	Estación de referencia (a)
1	Condoryacu	Llaucay
2	Nudpud	Condoryacu
3	Nudpud	Llaucay
4	Guapán	Nudpud
5	Llaucay	Condoryacu

Nº Intervalo faltante	Estación (b)	Estación de referencia (a)
6	Nudpud	Condoryacu
7	Nudpud	Guapán
8	Nudpud	Condoryacu

Relleno por el método de regresión lineal

Para aplicar el método de regresión lineal simple; primeramente, se observó la serie o grupo de datos de precipitación a analizar con el objeto de cumplir con el criterio de [12] el cual indica que los valores de la muestra deben mantener un comportamiento similar, esto significa que las series de datos de la estación faltante “y” sean estadísticamente iguales a las series de datos de la estación de referencias “x” y se pudo observar a través del coeficiente de determinación.

El grupo de datos está representado mediante el ajuste de un modelo lineal que define gráficamente el porcentaje acumulado de precipitación en la estación con datos faltantes respecto a la estación con datos completos; para determinar los valores de las constantes del modelo se calculó los valores de precipitación media (\bar{x}); (\bar{y}) en el intervalo de análisis de las estaciones involucradas, así como también la desviación estándar “ S_x ” del registro de datos de la estación “x”.

$$\bar{x} = \sum_{i=1}^n \frac{x_i}{n} ; \bar{y} = \sum_{i=1}^n \frac{y_i}{n}$$

Ecuación 16 Precipitación media. [12]

$$S_x = \left(\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}) / (n - 1) \right)^{1/2} ; S_y = \left(\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y}) / (n - 1) \right)^{1/2}$$

Ecuación 17 Desviación estándar. [12]

Una vez determinados los valores de precipitación media y desviación estándar de las variables “x” y “y” se determinó las constantes de regresión “a, b” la constante de regresión “b” se determinó a través del cociente entre covarianza de “x, y” y la potencia de la desviación estándar de la variable “x” (Ecuación 18).

$$b = \frac{Cov_{x,y}}{S_x^2}$$

Ecuación 18 Constante de regresión "b". [10]

Luego, en el cálculo de la constante de regresión “a” se realizó la diferencia entre la media de la precipitación en la estación con datos faltantes “y” y el producto de la constante de regresión “b” el valor de precipitación media de la estación de referencia “x” (Ecuación 19).

$$a = \bar{y} - (b * \bar{x})$$

Ecuación 19 Constante de regresión "a". Fuente: [10]

Una vez definidas las constantes de regresión del modelo de datos y aplicando la Ecuación 6 se realizó el cálculo de los datos de precipitación para los ocho periodos faltantes.

El método de regresión lineal múltiple considera un similar criterio respecto al método de regresión lineal simple; sin embargo, cabe recalcar que esta metodología brinda la oportunidad de considerar en el análisis más de una estación de referencia [19], lo cual implica la determinación de más constantes de regresión que se asocien al modelo, la estructura del modelo se representa mediante la Ecuación 7.

Para el cálculo mediante esta metodología se consideró dos estaciones de referencia, en la determinación de los parámetros o constantes de regresión se utilizó el criterio de “Máxima verosimilitud” expresado en [19], en donde relaciona los promedios, varianzas y covarianza del grupo de datos.

$$b_0 = \bar{y} - b_1 * \bar{x}$$

Ecuación 20 Constante de regresión " b_0 ". [11]

En el cálculo del parámetro " b_0 " se realizó la diferencia entre el promedio de precipitación de " y " y el producto entre la constante de regresión " b_1 " y el valor de precipitación media de la estación de referencia " x " (Ecuación 20), mientras que el cálculo de los parámetros " b_1 " y " b_2 " se realizó mediante el cociente entre la covarianza " x, y " y la potencia de la varianza del grupo de datos de la estación de referencia " x_1 " y " x_2 " respectivamente (Ecuación 21).

$$b_1 = \frac{Cov_{x,y}}{S_{x_1}^2} ; b_2 = \frac{Cov_{x,y}}{S_{x_2}^2}$$

Ecuación 21 Constantes de regresión " b_1 " y " b_2 ". [11]

Una vez estimados los parámetros de regresión, el modelo se establece como la Ecuación 7, donde se estimó los valores de " y_i " en función del efecto que tienen las variables " x_1 " y " x_2 " correspondientes a las dos estaciones consideradas en el análisis.

Confiabilidad de los datos calculados

Para cuantificar la calidad de la estimación de los datos, se realizó la asimilación entre los valores reales y los valores calculados a través de las distintas metodologías, se eliminó el registro de datos de la medición de la precipitación de 334 días, correspondientes a los 8 intervalos faltantes, con propósito de poseer el mismo tamaño de muestra que se tubo al momento de calcular los valores faltantes, este procedimiento se consideró según lo planteado por [23].

Para seleccionar los intervalos a eliminar se calculó el promedio de precipitación de los registros de datos considerados en el relleno anterior, posteriormente se determinó los promedios para los diferentes años en donde el registro de datos se encuentra completo, para cada estación

meteorológica, en función de ello se eligió el intervalo con promedio más cercano al valor del promedio del intervalo faltante.

Una vez seleccionados los intervalos de datos a eliminar se realizó la comparación estadística de las series, con el objeto de identificar si las series o grupos de datos son estadísticamente iguales y no presenten diferencias significativas en las mediciones de cada una de las estaciones meteorológicas involucradas en el cálculo.

Luego de cuantificar la semejanza estadística de las series de datos, se realizó el cálculo de los valores eliminados emulando la misma metodología de los métodos aplicados en el relleno de los valores faltantes detallados anteriormente.

Finalmente, para detectar las diferencias de los valores calculados a través de los seis métodos estadísticos empleados en el relleno de datos, respecto a los valores reales, se aplicaron las medidas de bondad de ajuste de: Error Estándar de Estimación, Análisis de varianza ANOVA, Coeficiente de Determinación y el Test de concordancia de Bland y Altman.

Para la aplicación del coeficiente de determinación y la prueba o análisis de varianza ANOVA se utilizó el mismo criterio y metodología detallada en el apartado “Datos de precipitación” mientras que el procedimiento para los métodos Error Estándar de Estimación y Test de concordancia de Bland y Altman se detallarán posteriormente.

Error estándar de estimación (EEE)

Para determinar el valor del error estándar de estimación se utilizó la suma de las diferencias al cuadrado entre cada uno de los datos reales de “Y” y los valores calculados de “Y” que se identifica como “ \hat{Y} ” se detalla en la Ecuación 22.

$$S_{y.x} = \sqrt{\frac{\sum(Y - \hat{Y})^2}{n - 2}}$$

Ecuación 22 Error Estándar de Estimación. [12]

En donde “ $S_{y.x}$ ” representa el valor de Error Estándar de Estimación, “ Y ” el dato real de precipitación, \hat{Y} el dato de precipitación calculado y “ n ” el tamaño de la muestra; si el valor del error estándar de estimación es pequeño, se dice que los datos de precipitación están cercanos a la recta de regresión y a la ecuación de regresión que predice “ \hat{Y} ” mientras que, si el valor es grande, significa que la recta y ecuación de regresión no proporciona una estimación precisa de “ \hat{Y} ”. [12]

Test de concordancia de Bland y Altman

En la representación gráfica del Test de Concordancia de Bland y Altman se utilizó los valores medios y diferencias entre el dato real y el calculado, en el eje de las abscisas se representó los valores de la media y en el eje de las ordenadas se representó los valores de las diferencias según lo estipula [13].

En la representación gráfica se consideró la suma de cada uno de los intervalos considerados inicialmente en la validación de las metodologías, esta suma se comparó con las suma de los datos reales de cada intervalo independientemente analizado, además de ello, se definió un límite superior e inferior, el cual permitió juzgar visualmente la concordancia entre cada grupo de datos analizado, [13] recomienda que el cálculo de estos límites se realice con un nivel de significancia del 95% el cual fue considerado en su aplicación y se puede identificar en la Ecuación 23.

$$LC = dp \pm 1.96 * SD$$

Ecuación 23 Límites de concordancia. [13]

En donde “LC” representa el límite de concordancia, “ \bar{d} ” el promedio de las diferencia del grupo de datos y “SD” la desviación estándar entre los valores reales y los valore calculados, cabe recalcar que todo aquel punto que se encuentre dentro de dichos limites se considerará aceptable [13].

Finalmente, el criterio considerado para la selección de la metodología conveniente a aplicar para cada uno de los equipos meteorológicos de la microcuenca del río Tabacay, fue en función de cuantas veces se repite el método que mejor estima los datos reales, criterio adoptado de la investigación realizada por [16].

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIONES

Descripción de resultados

Caracterización de la microcuenca del río Tabacay

La caracterización de los parámetros de la microcuenca del río Tabacay permitió identificar la relación directa que existe entre la similitud e influencia que existe entre las series de valores de precipitación de las estaciones meteorológicas y su ubicación en la microcuenca del río Tabacay.

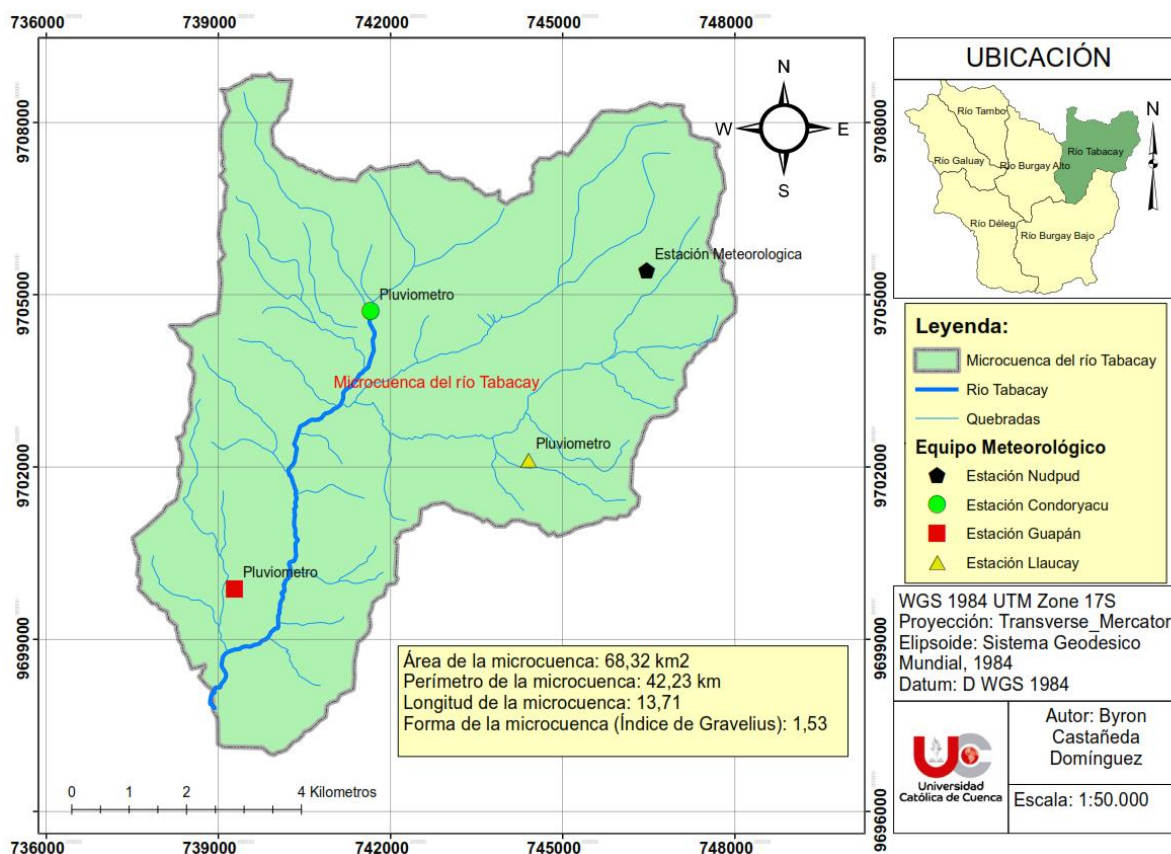


Figura 11 Parámetros geométricos de la microcuenca del río Tabacay. Fuente: Autor.

En la Figura 11 se puede observar los parámetros geométricos principales que se determinaron en la zona de estudio. Primeramente se calculó el área de la microcuenca, que abarca una extensión de 68.32 km²; por otra parte, el perímetro fue de 42.23 km, mientras que la longitud,

que se considera desde su punto más elevado a su punto más bajo fue de 13.71 km, finalmente la forma de la microcuenca o también conocido como índice de Gravelius calculado a través de la Ecuación 8 presentó un valor de 1.53, que según la clasificación de [6] se considera como una microcuenca de tipo “Oval oblonga a rectangular oblonga”

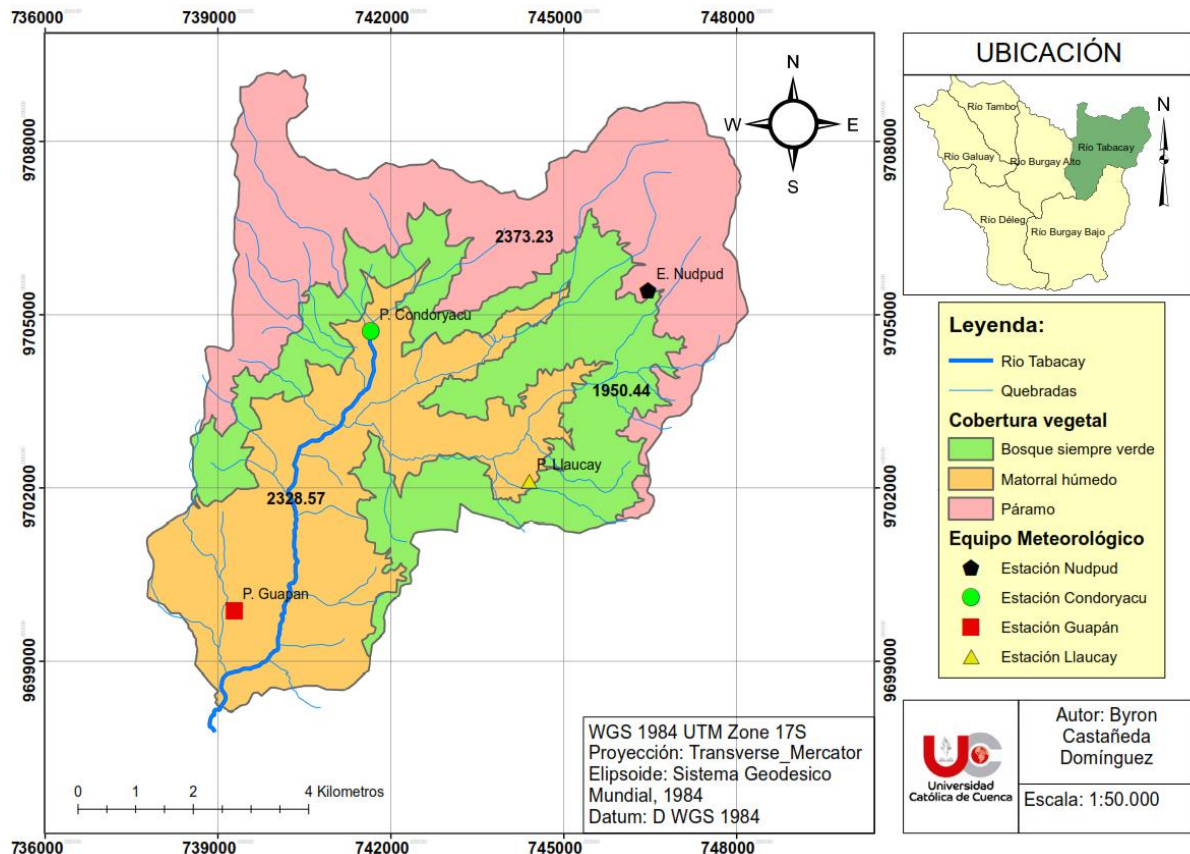


Figura 12 Tipo de cobertura vegetal de la microcuenca del río Tabacay. Fuente: Autor.

La clasificación de la vegetación o cobertura vegetal evidencian claramente la cantidad de precipitación que se presenta en una zona [17], en la Figura 12 se puede identificar que la microcuenca del río Tabacay está constituida por tres tipos de cobertura vegetal que son: páramo, el cual se encuentra en la parte alta de la microcuenca; bosque siempre verde, que se encuentra en la zona media y por último matorral húmedo que se ubica en la parte baja de la microcuenca en mención.

Datos de precipitación faltantes

Al realizar un análisis exploratorio de la información meteorológica compartida por (EMAPAL-EP) se identificó los días faltantes en los equipos meteorológicos en los cuales no se recepto la información de precipitación, por lo antes expuesto, se realizó la Tabla 12 en donde la primera columna indica los equipos meteorológicos, luego se detalla la posición geográfica que ocupan estos equipos en la microcuenca del río Tabacay y por último se resalta el intervalo y número de años que estos equipos están en operación.

Tabla 12 Posición geográfica de las estaciones meteorológicas de estudio. Fuente: Autor.

Estación	Norte	Este	Elevación (m.s.n.m)	Nº Años Registrados	Intervalo Registro de Datos (Año)	
					Desde	Hasta
Condoryacu	9704711	741649	2905	10	2010	2020
Nudpud	9705416	746460	3230	8	2013	2020
Guapán	9699887	739279	2624	5	2016	2020
Llaucay	9702146	744400	2980	7	2014	2020

En función de los días sin registro presentados en cada una de las estaciones meteorológicas de la microcuenca del río Tabacay se encontró ocho intervalos de tiempo denominados “Intervalo faltante” en los cuales no se receptó la información presentados en la Tabla 13.

Tabla 13 Intervalos de mediciones de precipitación faltantes. Fuente: Autor.

Nº de Intervalo Faltante	Estación Meteorológica	Intervalo Faltante		Nº de Días Sin Registro
		Desde	Hasta	
1	Condoryacu	08-feb-2018	18-feb-2018	11
2	Nudpud	13-dic-2014	11-mar-2015	89
3	Nudpud	23-may-2015	06-jun-2015	15

N° de Intervalo Faltante	Estación Meteorológica	Intervalo Faltante		N° de Días Sin Registro
		Desde	Hasta	
4	Guapán	09-feb-2018	21-feb-2018	13
5	Llaucay	14-dic-2015	20-ene-2016	37
6	Nudpud	01-ene-2016	11-ene-2016	11
7	Nudpud	28-mar-2019	09-abr-2019	13
8	Nudpud	19-mar-2016	10-ago-2016	145

Se contabilizó un total de 211 días de datos de precipitación no registrados, cabe mencionar que en el intervalo faltante N° 8 (Tabla 13) correspondiente a la estación de Nudpud, se registró datos con inconsistencias en 123 días, por lo que se consideró como datos faltantes; en síntesis, se estableció un total de 334 datos a encontrar, de los cuales 273 corresponden a la estación meteorológica de Nudpud, 37 días al pluviómetro de Llaucay, 13 días al pluviómetro de Guapán y 11 días la pluviómetro de Condoryacu.

Validez de las correlaciones

La calidad de los datos se refiere a la semejanza estadística que existe en las series de las diferentes estaciones meteorológicas para su posterior relleno a través de las diferentes metodologías indicadas. En el cálculo de la calidad de los datos para su siguiente análisis se identificó que en los intervalos faltantes N° 7 y 8 se dispuso de tres estaciones con la que se puede comparar la información, en los intervalos faltantes N° 1, 2, 3 y 4 dos estaciones de referencia y por último en los intervalos faltantes N° 5 y 6 una estación de referencia, siendo estos últimos los que presentan menor capacidad para comparar la calidad de los datos.

Tabla 14 Porcentajes de precipitación acumulada en las estaciones de Condoryacu y Nudpud para el intervalo del 1 al 28 de febrero del 2018. Fuente: Autor.

Día	Estación Condoryacu		Estación Llaucay	
	mm Día	% de mm Acumulado	mm día	% de mm Acumulado
1	0.00	0.00	0.00	0.00
2	0.25	0.14	0.00	0.00
3	1.52	0.99	0.00	0.00
4	0.25	1.14	0.00	0.00
5	0.00	1.14	0.00	0.00
6	1.27	1.85	0.00	0.00
7	0.00	1.85	0.00	0.00
22	40.40	24.51	0.25	6.25
23	30.20	41.44	2.54	68.5
24	19.20	52.21	0.25	75.00
25	19.20	62.98	0.00	75.00
26	19.20	73.75	1.01	100.00
27	27.40	89.12	0.00	100.00
28	19.40	100.00	0.00	100.00

Los porcentajes de precipitación acumulada necesarios para la aplicación en las gráficas de dispersión en el coeficiente de determinación, así como también en el cálculo del coeficiente de Pearson se presentan en la Tabla 14, aquí se detalla en específico para el intervalo N°1, la tabla expresa los valores de las mediciones de precipitación diaria y los valores acumulados de los equipos meteorológicos de Condoryacu y Llaucay, en el cual se puede observar que el

registro se interrumpe en el día 7 de febrero de 2018 y continúa en el día 22 de febrero del mismo año.

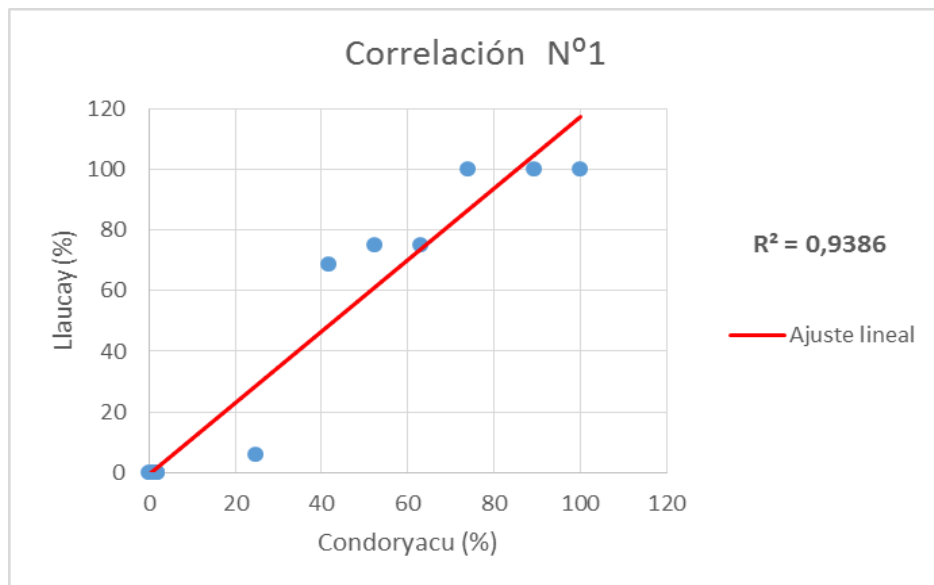


Figura 13 Correlación Condoryacu - Llaucay, intervalo: 1 al 28 de febrero del 2018. Fuente: Autor.

La Figura 13 indica el valor de “R²” correspondiente a la correlación N°1, entre el 8 y 18 de febrero del 2018, en el cual se compara gráficamente a los datos de precipitación de la estación de “Condoryacu” cuyos datos se encuentran incompletos y la estación de “Llaucay” cuyo registro de mediciones de precipitación se encuentra completo.

Tabla 15 Valores del coeficiente de determinación (R²). Fuente: Autor.

N° Intervalo	N° Correlación	Estación (X)	Estación de Referencia	Valor de R²
1	1	Condoryacu	Nudpud	0.731
	2		Llaucay	0.938
2	3	Nudpud	Condoryacu	0.874
	4		Llaucay	0.832
3	5	Nudpud	Condoryacu	0.986
	6		Llaucay	0.993

Nº Intervalo	Nº Correlación	Estación (X)	Estación de Referencia	Valor de R²
4	7	Guapán	Nudpud	0.888
	8		Llaucay	0.850
5	9	Llaucay	Condoryacu	0.896
6	10	Nudpud	Condoryacu	0.930
	11		Condoryacu	0.000
	12		Guapán	0.813
7	13	Nudpud	Llaucay	0.733
	14		Condoryacu	0.987
	15		Guapán	0.907
8	16	Llaucay	Llaucay	0.976

En la Tabla 15 se observa los valores del coeficiente de determinación para los diferentes intervalos de datos faltantes; por otra parte, en el Anexo 3 se detalla los diagramas de dispersión correspondientes a cada uno de las correlaciones realizadas; como ya se ha mencionado en reiteradas ocasiones, el “Número de correlación” identificado en la segunda columna de la Tabla 15 define el número de análisis realizados de una estación con carencia de datos respecto a una estación con datos de precipitación completos.

En el cálculo de calidad de los datos por el coeficiente de correlación de Pearson se observó una mejor calidad de estimación respecto al coeficiente de determinación “R²” debido a que de las 16 correlaciones realizadas no se cumplió el criterio de $-0.8 \leq R^2 \leq +0.8$ únicamente en la correlación 11 del intervalo N^o7, los resultados se identifican los resultados en la Tabla 16.

Tabla 16 Valores del coeficiente de correlación de Pearson "r". Fuente: Autor.

Nº Intervalo	Nº Correlación	Estación (X)	Estación de Referencia	Valor de r
1	1	Condoryacu	Nudpud	0.855
	2		Llaucay	0.969
2	3	Nudpud	Condoryacu	0.935
	4		Llaucay	0.913
3	5	Nudpud	Condoryacu	0.993
	6		Llaucay	0.997
4	7	Guapán	Nudpud	0.943
	8		Llaucay	0.922
5	9	Llaucay	Condoryacu	0.947
6	10	Nudpud	Condoryacu	0.965
	11		Condoryacu	0.000
	12		Guapán	0.902
7	13	Nudpud	Llaucay	0.856
	14		Condoryacu	0.994
	15		Guapán	0.953
	16		Llaucay	0.988

En la aplicación de la prueba o análisis de varianza “ANOVA” se analizó un total de 11 correlaciones, esto se debe a la facilidad que indica [12] sobre la oportunidad de agrupar más de dos series o muestras de datos en un mismo análisis, por lo antes dicho, se determinó el valor de la variación de los tratamientos “SST” en síntesis, se calculó la varianza en cada una de las estaciones de análisis, así pues, la Tabla 17 presenta los resultados de los valores de “SST” para el análisis de varianza N°1.

Tabla 17 Cálculo para el valor de "SST" para el caso N°1. Fuente: Autor.

Condoryacu		Nudpud		Guapán		Llaucay	
X	$(Xi - \bar{X})^2$	X	$(Xi - \bar{X})^2$	X	$(Xi - \bar{X})^2$	X	$(Xi - \bar{X})^2$
0,00	1038,46	6,25	2666,37	0,00	2285,90	0,00	1406,25
0,14	1029,30	10,42	2253,42	0,00	2285,90	0,00	1406,25
1,00	975,19	10,42	2253,42	16,13	1003,75	0,00	1406,25
1,14	966,31	43,75	199,85	19,35	809,76	0,00	1406,25
1,14	966,31	43,75	199,85	19,35	809,76	0,00	1406,25
1,85	922,54	60,42	6,40	27,42	415,82	0,00	1406,25
1,85	922,54	60,42	6,40	40,32	56,08	0,00	1406,25
24,51	59,52	60,42	6,40	40,32	56,08	6,25	976,56
41,45	85,05	64,58	44,84	54,84	49,39	68,7	976,56
52,22	399,63	66,67	77,08	54,84	49,39	75,0	1406,25
62,98	946,11	91,67	1141,07	96,77	2397,39	75,0	1406,25
73,75	1724,51	91,67	1141,07	100,00	2723,69	100	3906,25
89,12	3236,97	100,00	1773,51	100,00	2723,69	100	3906,25
100,00	4593,43	100,00	1773,51	100,00	2723,69	100	3906,25
Varianza: 1276,13		Varianza: 967,37		Varianza: 1313,59		Varianza: 1880,58	
VARIANZA TOTAL = 5437,68							

La Tabla 18 detalla los parámetros calculados con anterioridad para el análisis de varianza N°1, como la suma de cuadrados, grados de libertad, media cuadrática y los valores de “F” y “F crítico” con el fin de definir la comparación estadística del valor de “Fisher”.

Tabla 18 Análisis de varianza ANOVA para el caso N° 1. Fuente: Autor.

Análisis de Varianza N° 1					
Origen de las Variaciones	Suma de Cuadrados	Grados de Libertad	Media Cuadrática	F	Valor Crítico de "F"
Tratamientos	5437,68	3	1811,52		
Error	76127,47	52	1463,99	1,24	(2,79)
Total	81562,03	55			

En la prueba "ANOVA" se observó que, en los intervalos faltantes N° 2, 7 y 8 se rechazaron las hipótesis nulas, según [12] esto quiere decir que para los intervalos mencionados los grupos de datos no fueron estadísticamente semejantes, aquellos valores se pueden identificar en la Tabla 19.

Tabla 19 Valores de "F" para la prueba "ANOVA". Fuente: Autor.

N° Intervalo	N° Correlación	Estación (X)	Estación de Referencia	F	Valor Crítico de F
1	1	Condoryacu	Nudpud	1.24	2.79
	2		Llaucay	1.24	2.79
2	3	Nudpud	Condoryacu	5.35	3.88
	4		Llaucay	5.21	3.88
3	5	Nudpud	Condoryacu	0.16	3.08
	6		Llaucay	0.16	3.08
4	7	Guapán	Nudpud	1.24	2.79
	8		Llaucay	1.24	2.79
5	9	Llaucay	Condoryacu	1.45	3.94

Nº Intervalo	Nº Correlación	Estación (X)	Estación de Referencia	F	Valor Crítico de F
6	10	Nudpud	Condoryacu	1.43	4.00
	11		Condoryacu	103.59	4.08
7	12	Nudpud	Guapán	2.95	3.15
	13		Llaucay	2.95	3.15
	14		Condoryacu	1.74	3.86
8	15	Nudpud	Guapán	19.09	3.86
	16		Llaucay	1.60	3.86

Nota: El detalle de las tablas “ANOVA” en los que se especifica el cálculo de los valores de “F” se detallan en el (Anexo 4).

Finalmente, se determinó a través de tres metodologías de validación de datos, las discrepancias existentes entre los equipos meteorológicos con falta de datos y los equipos con los que se puede referenciar.

Metodologías de relleno de datos

Se aplicó seis metodologías estadísticas en el cálculo de los datos de precipitación faltantes en los ocho intervalos de estudio. A continuación, se presenta un extracto de las metodologías aplicadas y la formulación matemática que se aplicó en cada uno de ellas, cabe recalcar que para la identificación de los métodos en las posteriores tablas se utilizó la siguiente nomenclatura: “RN” para el método de razón normal, “RD” para el método de razones de distancias, “CEV” para el método de correlación con estaciones vecinas, “RQ” para el método de razón Q, “RLS” para el método de regresión lineal simple y finalmente “RLM” para el método de regresión lineal múltiple.

Tabla 20 Formulación matemática de las metodologías estadísticas aplicadas. Fuente: Autor.

Metodología	Formulación Matemática
Proporción o razón normal	$hpa = \frac{1}{n} \left[\frac{PA}{PB} * hpb + \frac{PA}{PC} * hpc + \dots + \frac{PA}{PN} * hpn \right]$
Razones de distancias	$PX = PA + a * \frac{(PB - PA)}{(a + b)}$
Correlación con estaciones vecinas	$PX = \frac{PXA * rXA + PXB * rXB + \dots + PXN * rXN}{rXA + rXB + \dots + rXN}$
Razón “Q”	$Q = \frac{\sum bi}{\sum ai} ; bj = Q * aj$
Regresión lineal simple	$y = a + b * x$
Regresión lineal múltiple (2 estaciones)	$y = a + b * x_1 + c * x_2 + d * x_3 + \dots + n * x_i$

Respecto al método de razón normal, los resultados de los promedios diarios, necesarios para su uso en la aplicación de su formulación matemática indicada anteriormente se detallan en la Tabla 21, aquí se puede observar los valores del promedio de precipitación en un año correspondientes a los 11 intervalos faltantes identificados anteriormente.

Tabla 21 Promedio diario de precipitación; Método de razón normal. Fuente: Autor.

Nº Intervalo Faltante	Año	Promedio Diario de Precipitación en un Año (mm)			
		Condoryacu	Nudpud	Guapán	Llaucay
1	2018	8.11	1.57	2.60	2.69
2	2014 – 2015	2.93	2.54	-	2.29
3	2015	2.80	2.24	-	2.29
4	2018	8.11	1.57	2.60	2.69

Nº Intervalo Faltante	Año	Promedio Diario de Precipitación en un Año (mm)			
		Condoryacu	Nudpud	Guapán	Llaucay
		5	2015 – 2016	2.67	0.97
6	2016	2.75	1.18	2.10	2.50
7	2019	1.59	2.69	2.20	3.09
8	2016	2.75	1.85	2.20	2.50

Por otra parte, para el método de correlación con estaciones vecinas se requirió de los resultados de las correlaciones realizadas en cada uno de los intervalos faltantes, así pues, la Tabla 22 indica los valores de los coeficientes de Pearson aplicados en la metodología descrita anteriormente.

Tabla 22 Coeficientes de correlación de Pearson para el método de “CEV”. Fuente: Autor.

Nº Intervalo Faltante	Estación (x)	Estaciones de Referencia	Coeficiente de Correlación de Pearson	
			Estado	Valor
			1	Condoryacu
Llaucay	Cumple	0.969		
2	Nudpud	Condoryacu	Cumple	0.935
		Llaucay	Cumple	0.913
3	Nudpud	Condoryacu	Cumple	0.993
		Llaucay	Cumple	0.997
4	Guapán	Nudpud	Cumple	0.943
		Llaucay	Cumple	0.922

N° Intervalo Faltante	Estación (x)	Estaciones de Referencia	Coeficiente de Correlación de Pearson	
			Estado	Valor
5	Llaucay	Condoryacu	Cumple	0.947
6	Nudpud	Condoryacu	Cumple	0.965
		Condoryacu	No cumple	0.000
7	Nudpud	Guapán	Cumple	0.902
		Llaucay	Cumple	0.856
		Condoryacu	Cumple	0.994
8	Nudpud	Guapán	Cumple	0.953
		Llaucay	Cumple	0.988

Además, en la Tabla 22 se puede identificar que solamente en el intervalo N° 7, específicamente la correlación con la estación de Condoryacu no cumple con el criterio establecido por [22].

Teniendo en cuenta las formulaciones matemáticas indicadas en la Tabla 20 se obtuvo los resultados a través de las metodologías ya mencionadas con anterioridad, así pues, la Tabla 23 detalla los valores calculados a través de los seis métodos de estimación estadística para la estación de Condoryacu al cual corresponde el intervalo faltante N°1, es necesario indicar que este intervalo es el único que corresponde a la estación de Condoryacu, de la misma manera cabe recalcar que la etiqueta “N° dato” corresponde al orden del registro del intervalo de días faltantes de la muestra.

Tabla 23 Datos calculados para el intervalo N°1 (Intervalo faltante). Fuente: Autor.

N° Dato	Método Estadístico de Relleno (Intervalos Faltantes)					
	RN	RD	CEV	RQ	RLS	RLM
1	0.440	0.074	0.080	0.000	14.013	13.635
2	0.517	0.087	0.094	0.000	14.013	13.368
3	0.026	0.004	0.005	0.000	14.013	15.060
4	15.386	5.734	5.407	36.311	15.694	17.913
5	26.861	10.023	9.450	63.545	16.954	20.208
6	8.817	3.292	3.104	20.879	14.979	16.841
7	10.402	3.873	3.653	24.510	15.147	16.957
8	15.873	5.894	5.561	37.219	15.736	17.630
9	9.976	3.566	3.379	21.787	15.021	14.242
10	7.650	2.703	2.565	16.340	14.769	13.890
12	0.828	0.140	0.150	0.000	14.013	12.299

De igual manera que en el anterior caso, la Tabla 24 expone los valores de relleno estadístico por los métodos de relleno en mención, el intervalo faltante N°3 corresponde a los datos de precipitación faltantes de la estación de Nudpud, es necesario indicar que los intervalos faltantes N°2, 6, 7, y 8 concerniente a la estación en mención se detallan en los anexos 5, 6, 7 y 8.

Tabla 24 Datos calculados para el intervalo N⁰3 (Intervalo faltante). Fuente: Autor.

N ^o Dato	Método Estadístico de Relleno (Intervalos Faltantes)					
	RN	RD	CEV	RQ	RLS	RLM
1	3.47	3.89	3.94	3.23	4.08	8.41
2	0.00	0.00	0.00	0.00	1.04	0.54
3	2.90	3.27	3.18	3.69	4.52	7.23
4	0.95	1.07	1.02	1.38	2.35	2.75
5	0.00	0.00	0.00	0.00	1.04	0.54
6	1.77	2.00	1.91	2.54	3.43	4.66
7	1.89	2.12	2.16	1.61	2.56	4.80
8	0.12	0.14	0.13	0.23	1.26	0.83
9	0.25	0.28	0.25	0.46	1.48	1.13
10	1.21	1.35	1.40	0.92	1.91	3.26
11	2.41	2.71	2.67	2.77	3.65	6.06
12	3.27	3.67	3.81	2.31	3.21	7.89
13	7.85	8.81	9.01	6.46	7.12	18.26
14	4.53	5.08	5.20	3.69	4.52	10.76
15	1.93	2.17	2.16	2.08	3.00	4.95

El intervalo N⁰4 detallado en la Tabla 25 corresponde al pluviómetro de Guapán, aquí se expresa los datos de precipitación calculados para los 13 días en los cuales no se receptaron mediciones de precipitación, cabe aclarar que el intervalo faltante N⁰4 es el único que corresponde al pluviómetro de Guapán.

Tabla 25 Datos calculados para el intervalo N^o4 (Intervalo faltante). Fuente: Autor.

N ^o Dato	Método Estadístico de Relleno (Intervalos Faltantes)					
	RN	RD	CEV	RQ	RLS	RLM
1	0.17	0.08	0.10	1.23	1.11	1.27
2	0.01	0.00	0.01	0.06	0.85	0.75
3	4.93	6.29	5.03	0.12	0.86	0.82
4	8.60	11.00	8.79	0.06	0.85	0.82
5	2.82	3.61	2.89	0.00	0.83	0.74
6	3.33	4.25	3.40	0.12	0.86	0.80
7	5.08	6.47	5.18	0.37	0.92	0.93
8	3.19	3.89	3.17	1.85	1.25	1.58
9	2.45	2.94	2.41	1.79	1.23	1.54
10	0.26	0.12	0.16	1.98	1.28	1.61
11	0.31	0.14	0.19	2.35	1.36	1.77
12	1.38	1.74	1.40	0.25	0.89	0.84
13	0.00	0.00	0.00	0.00	0.83	0.72

Del mismo modo, en la Tabla 26 se puede apreciar los valores de precipitación calculados para el intervalo N^o 5, correspondiente a la estación de Llaucay, es necesario recalcar que, de igual manera que en las estaciones de Condoryacu y Guapán, este fue el único intervalo que corresponde al equipo de monitoreo de Llaucay.

Tabla 26 Datos calculados para el intervalo N^o5 (Intervalo faltante). Fuente: Autor.

N ^o Dato	Método Estadístico de Relleno (Intervalos Faltantes)					
	RN	RD	CEV	RQ	RLS	RLM
1	8.64		10.16	2.31	1.02	
2	0.00		0.00	0.00	1.35	
3	0.00		0.00	0.00	1.35	
4	2.38		2.79	0.64	1.26	
5	0.00		0.00	0.00	1.35	
6	1.73		2.03	0.46	1.28	
7	0.00		0.00	0.00	1.35	
8	0.86		1.02	0.23	1.31	
9	0.43		0.51	0.12	1.33	
10	0.00	Método	0.00	0.00	1.35	Método
11	2.38	No	2.79	0.64	1.26	No
12	0.43	aplicado	0.51	0.12	1.33	aplicado
13	0.00		0.00	0.00	1.35	
14	0.00		0.00	0.00	1.35	
15	0.22		0.25	0.06	1.34	
16	5.18		6.10	1.39	1.15	
17	0.00		0.00	0.00	1.35	
18	0.00		0.00	0.00	1.35	
19	0.43		0.50	0.11	1.33	
20	10.20		12.00	2.73	0.96	
21	10.20		12.00	2.73	0.96	

Nº Dato	Método Estadístico de Relleno (Intervalos Faltantes)					
	RN	RD	CEV	RQ	RLS	RLM
22	9.35		11.00	2.50	0.99	
23	3.19		3.75	0.85	1.23	
24	7.86		9.25	2.11	1.05	
25	4.68		5.50	1.25	1.17	
26	0.00		0.00	0.00	1.35	
27	5.74		6.75	1.54	1.13	
28	0.64		0.75	0.17	1.32	
29	1.06		1.25	0.28	1.31	
30	0.21		0.25	0.06	1.34	
31	3.83		4.50	1.02	1.20	
32	2.13		2.50	0.57	1.27	
33	0.00		0.00	0.00	1.35	
34	5.95		7.00	1.59	1.12	
35	9.14		10.75	2.45	1.00	
36	19.13		22.50	5.12	0.62	
37	6.59		7.75	1.76	1.10	

Dado que, en los intervalos faltantes N°5 y N°6 se disponía de una estación de referencia respectivamente, se identificó que no fueron aplicables las metodologías de razones de distancias y regresión lineal múltiple, debido a que para su cálculo requieren de por lo menos dos estaciones de referencia

Calidad de las estimaciones

Los resultados de la Tabla 27 indican la media de precipitación de los diferentes años de registro, en función del número de días y época en donde los datos no se registraron, cabe recalcar que la fecha de los intervalos a seleccionar representa el tamaño de la muestra a analizar, los intervalos eliminados se presentarán posteriormente.

Para el intervalo faltante N°1 correspondiente a la estación de Condoryacu se observó 11 valores de media correspondientes al mes de febrero para los años 2010 al 2020, en el cual se identificó que la media del mes de febrero para el año 2017 presentó el valor que mejor se aproximó a la media del tamaño de la muestra para el intervalo faltante N°1.

Tabla 27 Comparación de la media de precipitación entre el intervalo faltante y el intervalo a eliminar.
Fuente: Autor.

N° de Intervalo Faltante	Equipo Meteorológico	\bar{Y} Intervalo Faltante (mm)	\bar{Y} Intervalo Eliminado (mm)	Fecha Intervalo Eliminado	
				Desde	Hasta
1	Condoryacu	14.42	4.95	08/feb/17	18/feb/17
2	Nudpud	1.71	2.22	13/dic/16	11/mar/17
3	Nudpud	3.60	3.50	23/may/19	06/jun/19
4	Guapán	0.95	0.90	09/feb/16	21/feb/16
5	Llaucay	1.24	0.85	15/dic/14	20/ene/15
6	Nudpud	0.36	0.08	01/ene/17	11/ene/17
7	Nudpud	1.98	2.33	28/mar/20	09/abr/20
8	Nudpud	1.49	2.47	19/mar/17	10/ago/17

En el intervalo N°2 se determinó la media para 6 tamaños de muestras correspondientes a los meses de noviembre a abril, desde el año 2013 al 2020, en el cual se identificó que la media de

la fecha de noviembre de 2016 a abril de 2017 presentó mayor cercanía a la media del intervalo faltante N°2.

En el cálculo de la media para el intervalo N°3 se identificó que el valor de 3.50 mm correspondiente a la fecha de mayo; junio de 2019 presentó mayor cercanía a la media de comparación, cabe recalcar que para el año de 2016 no se calculó la media debido a que este registro presentó falta de datos en sus mediciones.

El intervalo correspondiente a la estación de Guapán es el que menor determinación de medias de precipitación se calculó debido a que el equipo meteorológico se instaló en el año de 2016, posterior a ello, se determinó que la media del año 2016 presentó mayor similitud respecto a la media de comparación.

Los valores de media de precipitación para la estación de Llaucay se calculó para 4 rangos de tiempo en los cuales, el intervalo con fecha (Diciembre – 2014 a febrero – 2015) presentó la mayor cercanía a la media de 1.24 mm correspondiente al intervalo N°5.

Mientras que para el intervalo N°6 se observó que el valor de precipitación media cercano a la media de análisis fue de 0.08 mm correspondiente a los meses de diciembre de 2016 a enero de 2017.

De igual manera, en el en el intervalo N°7 se identificó que el valor de precipitación media cercano al de análisis es de 2.33 mm correspondientes a los meses de marzo a abril del año 2020, cabe recalcar que para los años de 2015 y 2016 no se realizó el cálculo de la media debido a que existieron vacíos de datos en los registros de precipitación, correspondientes a los anteriores intervalos de análisis.

Por último, para el intervalo N°8 se determinó la media de 3 diferentes rangos de tiempo, al observar los demás cálculos de media se puede identificar que este intervalo presentó el menor

número de media de precipitación, esto se debe a que dicho intervalo presenta un rango de datos faltantes elevado en comparación a los demás intervalos de análisis (145 datos faltantes), lo que dificultó encontrar series de datos completos para realizar el cálculo de la precipitación media; sin embargo, se observó que la media correspondiente al año 2017 presento mayor cercanía a la media de análisis.

En referencia a la eliminación de los datos en los intervalos detallados en la Tabla 27 se eliminaron para la validación de las metodologías se sustentan en imitar las condiciones en las cuales se completó los datos faltantes, criterio planteado por [23].

Previo a los cálculos para el relleno de las mediciones de precipitación diaria se determinó las medidas de bondad de ajuste a través del coeficiente R^2 , coeficiente de correlación de Pearson y la prueba ANOVA indicados en la Tabla 28, en donde se presenta los resultados de los métodos aplicados para definir si existe, y que tan precisos son los datos de precipitación de una estación respecto a otra.

Tabla 28 Correlación de datos para intervalos eliminados. Fuente: Autor.

Nº de Intervalo	Nº de Análisis	Estación con Datos Eliminados	R^2	r	ANOVA "F"
	1		0.967	0.984	0.092
1	2	Condoryacu	0.994	0.997	0.092
	3		0.984	0.992	0.092
	4		0.985	0.993	0.360
2	5	Nudpud	0.956	0.978	3.510
	6		0.984	0.992	0.130
3	7	Nudpud	0.769	0.977	0.220

Nº de Intervalo	Nº de Análisis	Estación con Datos Eliminados	R²	r	ANOVA “F”
	8		0.908	0.953	4.670
	9		0.949	0.974	1.510
	10		0.731	0.855	0.900
4	11	Guapán	0.940	0.970	0.120
	12		0.499	0.707	6.190
5	13	Llaucay	0.841	0.917	0.0003
	14		0.957	0.979	0.0014
6	15	Nudpud	0.922	0.960	0.018
	16		0.881	0.939	0.202
	17		0.994	0.997	26.510
7	18	Nudpud	0.983	0.992	0.830
	19		0.992	0.996	0.830
	20		0.940	0.970	4.330
8	21	Nudpud	0.934	0.967	0.410
	22		0.967	0.984	1.610

Los datos eliminados y posteriormente calculados se realizaron mediante la aplicación de las metodologías de relleno de datos detalladas anteriormente, cabe recalcar que para el intervalo N°5 no se aplicó los métodos de relleno por razones de distancias y regresión lineal múltiple, debido a que se contó con una sola estación de referencia lo cual no permitió la correcta aplicación de los métodos indicados.

Tabla 29 Datos calculados para el intervalo N°1 (Intervalo eliminado). Fuente: Autor.

N° Dato	Método Estadístico de Relleno (Intervalos Eliminados)						Dato
	RN	RD	CEV	RQ	RLS	RLM	Real
1	0.17	0.15	0.33	0.13	3.74	2.55	0.25
2	0.00	0.00	0.00	0.00	3.66	2.20	0.00
3	3.90	3.84	7.88	0.00	3.66	4.53	6.09
4	24.15	18.36	42.72	11.38	10.18	26.32	18.03
5	4.67	3.21	8.04	4.52	6.25	10.97	2.28
6	0.20	0.23	0.44	0.00	3.66	2.41	0.00
7	0.20	0.23	0.44	0.00	3.66	2.41	0.00
8	20.83	12.09	33.00	21.13	15.76	37.14	11.43
9	3.05	2.98	6.27	1.37	4.45	6.96	5.08
10	0.23	0.14	0.38	0.27	3.82	2.68	0.00
11	0.00	0.00	0.00	0.00	3.66	2.20	0.00

De igual manera que se detalló los valores de precipitación para los intervalos faltantes se identificó los valores de precipitación para los intervalos eliminados, así pues, la Tabla 29 detalla los valores de precipitación para el intervalo eliminado N°1 que corresponde al equipo meteorológico de Condoryacu, en donde también se detalla los valores de precipitación reales para cada uno de los días del registro faltante.

De la misma manera, la Tabla 30 detalla los valores de precipitación para el intervalo N°3 perteneciente a la estación meteorológica de Nudpud, es necesario indicar que los intervalos N° 2, 6, 7 y 8 que pertenecen al mismo equipo meteorológico en mención se detallarán en los anexos N° 9 al 12.

Tabla 30 Datos calculados para el intervalo N^o3 (Intervalo eliminado). Fuente: Autor.

N^o	Método Estadístico de Relleno (Intervalos Eliminados)						Dato
Dato	RN	RD	CEV	RQ	RLS	RLM	Real
1	7.01	10.73	5.84	11.16	3.63	2.16	0.00
2	4.58	8.76	4.24	10.13	3.64	2.34	1.20
3	3.58	2.10	2.18	0.20	3.69	2.11	0.20
4	3.60	1.98	2.16	0.00	3.69	2.10	4.00
5	0.63	0.47	0.41	0.20	3.69	2.37	0.00
6	2.71	1.62	1.66	0.20	3.69	2.19	1.60
7	2.10	4.08	1.95	4.75	3.67	2.38	9.40
8	11.80	11.08	8.18	7.44	3.65	1.61	0.80
9	0.21	0.12	0.13	0.00	3.69	2.40	2.20
10	2.25	2.26	1.60	1.65	3.68	2.27	2.20
11	5.27	3.41	3.29	0.82	3.69	1.98	1.00
12	1.53	2.37	1.28	2.48	3.68	2.36	1.80
13	0.91	1.77	0.85	2.06	3.68	2.40	10.20
14	4.52	6.05	3.56	5.79	3.66	2.20	10.00
15	5.49	5.06	3.79	3.30	3.68	2.04	0.00

De igual manera la Tabla 31 indica los valores de precipitación del equipo meteorológico de Guapán al que pertenece únicamente el intervalo N^o4 que comprende un total de 13 días de mediciones de precipitación completadas.

Tabla 31 Datos calculados para el intervalo N^o4 (Intervalo eliminado). Fuente: Autor.

N^o	Método Estadístico de Relleno (Intervalos Eliminados)						Dato
Dato	RN	RD	CEV	RQ	RLS	RLM	Real
1	1.53	2.77	3.74	1.67	1.62	3.06	1.20
2	1.39	3.51	3.84	1.21	1.32	2.38	0.40
3	2.26	4.84	5.84	2.23	1.98	3.67	2.60
4	0.59	2.49	2.06	0.20	0.66	1.07	0.60
5	0.89	4.70	3.51	0.00	0.52	0.64	0.00
6	2.10	11.14	8.31	0.00	0.52	0.18	0.00
7	1.23	2.81	3.26	1.16	1.28	2.36	2.00
8	0.60	1.44	1.63	0.55	0.89	1.63	0.40
9	0.41	1.87	1.50	0.10	0.59	0.98	0.00
10	0.29	0.60	0.75	0.30	0.72	1.34	1.00
11	1.84	7.47	6.29	0.71	0.99	1.41	1.60
12	0.13	0.22	0.31	0.15	0.62	1.16	1.80
13	0.13	0.22	0.31	0.15	0.62	1.16	0.00

Los valores de precipitación diaria calculado a través de las metodologías de estudio para el pluviómetro de Llaucay se detallará el intervalo N^o 5, este rango de datos fue el único considerado según lo observado en los intervalos faltantes, en la Tabla 32 se puede identificar los valores de precipitación para los 37 días faltantes; cabe recalcar que, para este intervalo no se aplicó los métodos de razones de distancias y regresión lineal múltiple debido a las limitaciones en cuando al número de estaciones de referencia.

Tabla 32 Datos calculados para el intervalo N^o5 (Intervalo eliminado). Fuente: Autor.

N^o	Método Estadístico de Relleno (Intervalos Eliminados)						Dato
Dato	RN	RD	CEV	RQ	RLS	RLM	Real
1	0.000		10.160	0.000	1.243		0.000
2	0.000		0.000	0.000	1.243		0.254
3	0.000		0.000	0.000	1.243		0.000
4	0.697		2.794	0.411	1.339		0.000
5	1.673		0.000	0.987	1.475		0.000
6	7.388		2.032	4.357	2.268		0.000
7	0.000		0.000	0.000	1.243		0.000
8	0.558		1.016	0.329	1.320		0.000
9	0.000		0.508	0.000	1.243		0.000
10	2.091	Método	0.000	1.233	1.533	Método	0.000
11	2.509	No	2.794	1.480	1.591	No	0.000
12	1.951	aplicado	0.508	1.151	1.513	aplicado	0.000
13	4.042		0.000	2.384	1.804		0.000
14	0.418		0.000	0.247	1.301		0.000
15	0.000		0.254	0.000	1.243		0.000
16	0.139		6.096	0.082	1.262		0.000
17	0.000		0.000	0.000	1.243		0.000
18	0.000		0.000	0.000	1.243		0.000
19	0.000		0.500	0.000	1.243		0.000
20	0.000		12.000	0.000	1.243		0.000
21	0.139		12.000	0.082	1.262		0.000

Nº	Método Estadístico de Relleno (Intervalos Eliminados)						Dato
Dato	RN	RD	CEV	RQ	RLS	RLM	Real
22	0.279		11.000	0.164	1.281		0.000
23	0.000		3.750	0.000	1.243		0.000
24	0.000		9.250	0.000	1.243		0.000
25	0.000		5.500	0.000	1.243		0.000
26	3.764		0.000	2.220	1.765		0.000
27	1.951		6.750	1.151	1.513		0.000
28	0.697		0.750	0.411	1.339		0.000
29	0.976		1.250	0.575	1.378		0.000
30	0.000		0.250	0.000	1.243		0.000
31	0.976		4.500	0.575	1.378		0.000
32	0.000		2.500	0.000	1.243		0.000
33	0.000		0.000	0.000	1.243		0.000
34	1.394		7.000	0.822	1.436		0.000
35	10.175		10.750	6.001	2.655		0.000
36	0.418		22.500	0.247	1.301		0.000
37	17.703		7.750	10.440	3.700		0.000

Una vez identificados los datos de precipitación eliminados en las cuatro estaciones de estudio de la microcuenca del río Tabacay, se realizó un análisis de inferencia estadística con el fin de determinar el ajuste estadístico que existe al aplicar cada una de las metodologías utilizadas.

En la Tabla 33 se muestran los resultados del análisis a través del coeficiente de determinación “R², el número de intervalo corresponde al registro de datos eliminados durante un tiempo

determinado, la segunda columna expresa la estación a la que pertenece el número de intervalo, mientras que las siguientes columnas detallan los valores de “R²” para cada uno de los intervalos de datos eliminados y posteriormente calculados, es necesario indicar que mientras los valores de “R²” se aproximan a 1 la calidad de la estimación será buena, mientras que si el valor se aparta de 1 la calidad de la estimación de los datos de precipitación disminuirá, se considera un ajuste óptimo cuando $-0.8 \leq R^2 \leq +0.8$ según [17].

Tabla 33 Valores de R² para validación y selección de metodología. Fuente: Autor.

Nº Intervalo	Estación Con Datos Eliminados	Valores de R ²					
		RN	RD	CEV	RQ	RLS	RLM
1	Condoryacu	0.991	0.997	0.995	0.923	0.937	0.957
2	Nudpud	0.792	0.791	0.791	0.820	0.740	0.789
3	Nudpud	0.907	0.923	0.914	0.928	0.933	0.940
4	Guapán	0.921	0.889	0.908	0.922	0.967	0.970
5	Llaucay	0.079	-	0.031	0.079	0.080	-
6	Nudpud	0.802	0.878	0.795	0.911	0.924	0.907
7	Nudpud	0.996	0.995	0.995	0.975	0.990	0.993
8	Nudpud	0.978	0.9871	0.978	0.979	0.953	0.968

El siguiente método de bondad de ajuste aplicado es el “Error estándar de estimación” la Tabla 34 detalla los valores para cada uno de los intervalos de análisis, cabe recalcar que mientras el valor de “EEE” más se acerque a cero el ajuste será de mejor calidad, por el contrario, si dichos valores se distancian de cero la calidad de bondad de ajuste disminuye.

Tabla 34 Valores de EEE para validación y selección de metodología. Fuente: Autor.

N° Intervalo	Estación Con Datos Eliminados	Valores de EEE					
		RN	RD	CEV	RQ	RLS	RLM
1	Condoryacu	3.951	1.105	11.123	4.646	4.509	9.690
2	Nudpud	4.057	5.538	5.219	3.110	3.466	6.354
3	Nudpud	5.662	5.798	4.915	5.468	3.940	3.882
4	Guapán	0.981	4.365	3.595	0.734	0.693	1.119
5	Llaucay	3.886	-	6.559	2.292	1.580	-
6	Nudpud	0.181	8.097	7.109	0.154	0.139	0.172
7	Nudpud	2.435	3.276	2.329	1.922	2.141	2.524
8	Nudpud	3.524	5.100	4.045	4.314	4.225	3.713

La siguiente metodología de bondad de ajuste aplicada fue la prueba “ANOVA” en la Tabla 35 se puede observar los resultados del análisis a través de esta metodología, la primera columna representa el número del intervalo de datos eliminado y posteriormente completado, por otra parte, la segunda columna representa la estación a la que pertenece el intervalo de datos, las columnas posteriores detallan los valores de “f” calculados para cada uno de los intervalos y cada una de las metodologías de relleno de datos aplicadas; finalmente, la última columna indica los valores críticos de “f” para cada intervalo de análisis, cabe recalcar que esta valoración, según [12] permite identificar si los valores de “f” se encuentran dentro del rango permitido en donde se pueden considerar como dos grupos de datos estadísticamente semejantes.

Tabla 35 Valores de "f" para validación y selección de metodología. Fuente: Autor.

Nº Intervalo	Estación Con Datos Eliminados	Valores de "f"						Valor Crítico de f
		RN	RD	CEV	RQ	RLS	RLM	
1	Condoryacu	0.165	0.005	1.140	0.021	0.674	1.716	4.350
2	Nudpud	6.527	11.052	11.316	0.021	12.469	19.039	3.888
3	Nudpud	0.399	0.758	0.042	0.077	0.539	0.646	4.196
4	Guapán	0.197	7.792	9.997	0.582	0.049	3.965	4.260
5	Llaucay	8.029	-	21.337	7.980	339.004	-	3.978
6	Nudpud	0.059	0.059	8.824	0.009	0.025	0.363	4.351
7	Nudpud	0.409	0.408	0.352	0.882	1.373	0.809	4.260
8	Nudpud	0.017	0.017	2.008	11.968	2.767	2.473	3.888

Respecto a la calidad de los datos calculados con los intervalos eliminados se observó gráficamente las discrepancias que existieron en ellas, así pues, el test de concordancia de Bland y Altman para la estación meteorológica de Nudpud (Figura 15), cuyos intervalos corresponden a los análisis N°2, 3, 6, 7, y 8; los valores representan la bondad de ajuste que existe entre los valores promedio reales de un intervalo respecto a los valores promedio calculados a través de los métodos de razones normales, razones de distancias, correlación con estaciones vecinas, razón "Q", regresión lineal simple y regresión lineal múltiple.

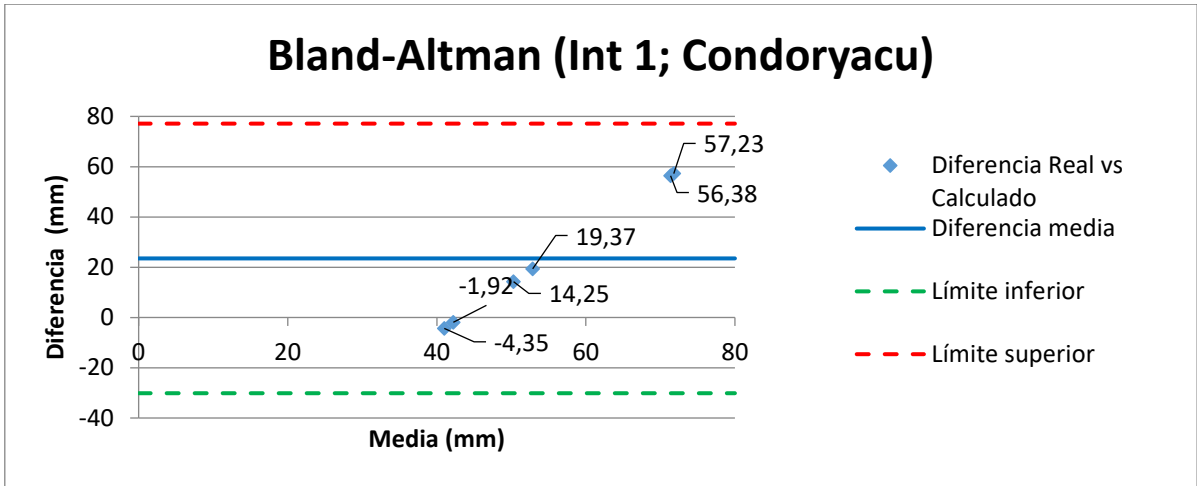
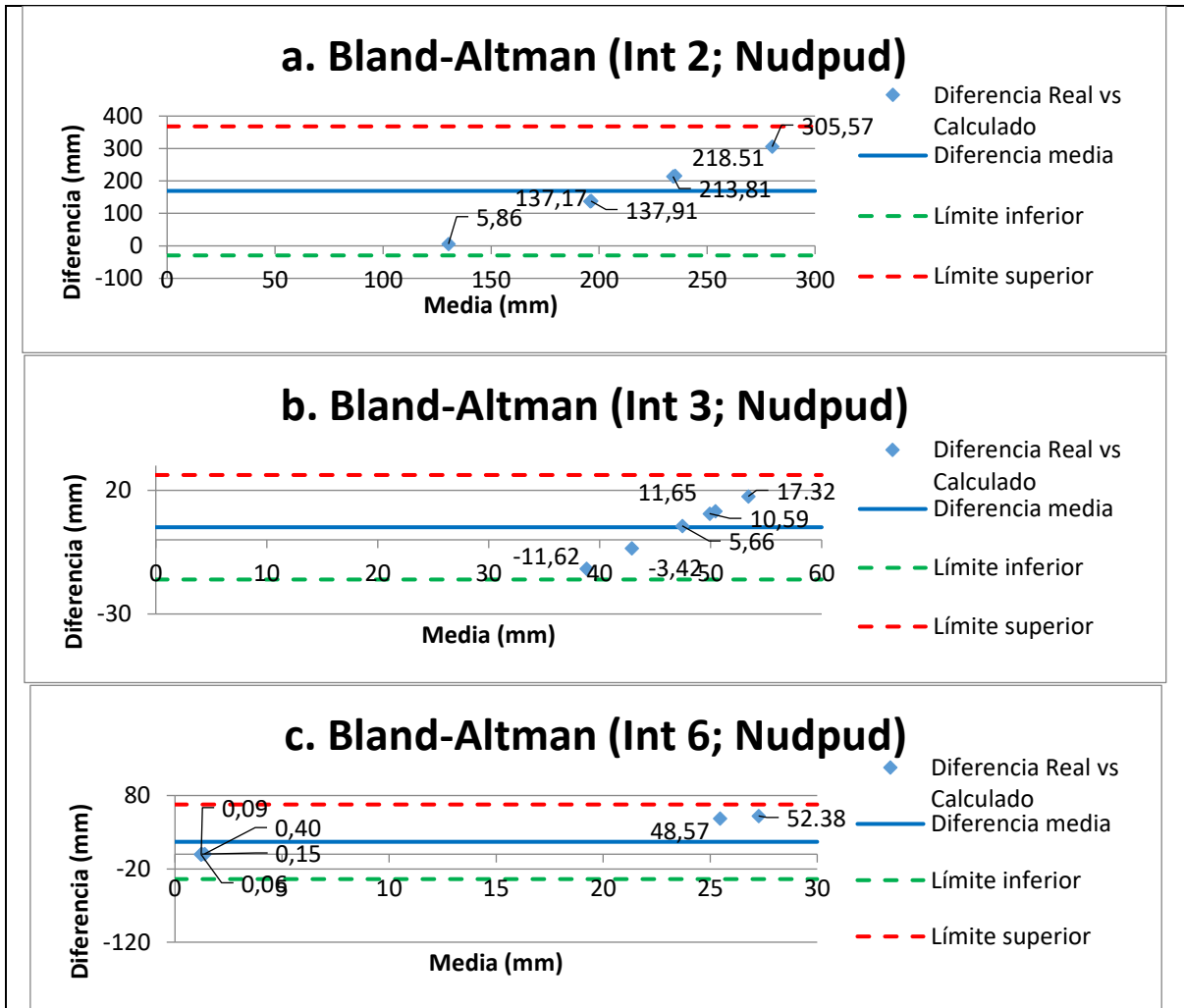


Figura 14 Diferencias promedio del Test “ACBA” Pluviómetro de Condoryacu. Fuente: Autor.



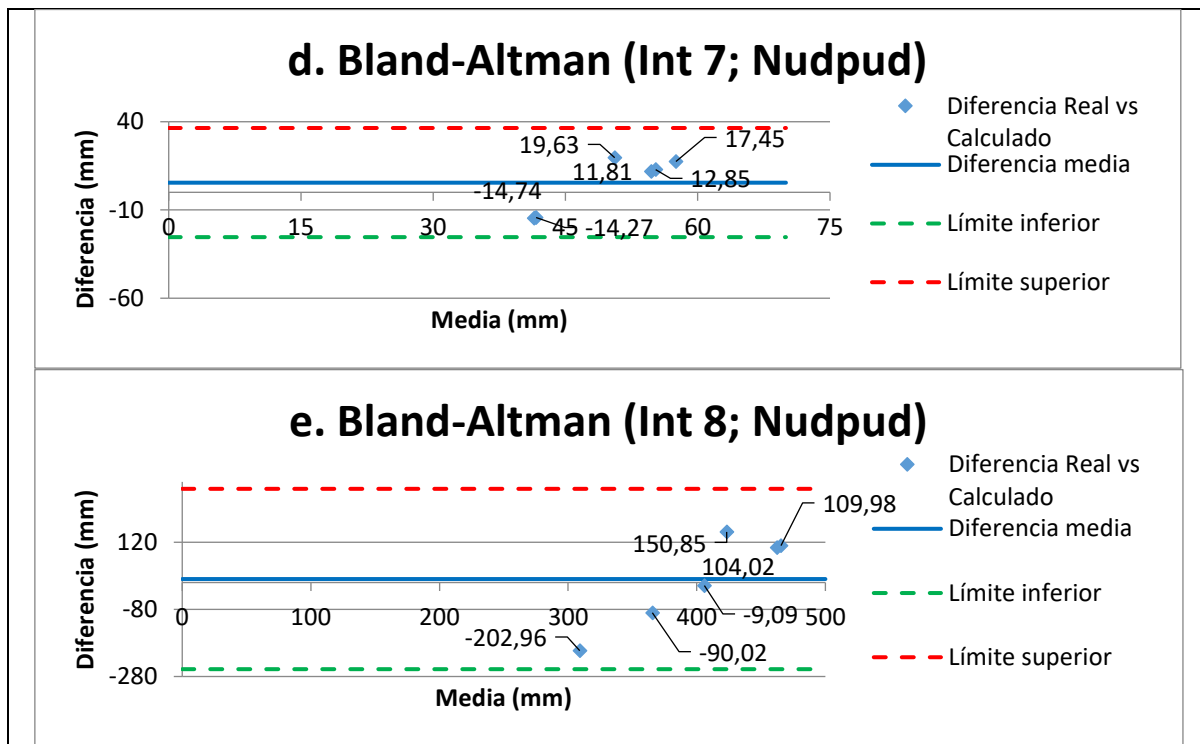


Figura 15 Diferencias promedio del Test “ACBA” Estación Nudpud. Fuente: Autor.

Para el pluviómetro de Guapán cuyo intervalo de análisis es el N°4 (Figura 16) se realizó la aplicación de la metodología de bondad de ajuste ya citada anteriormente, la diferencia de 32.53 mm corresponde al método de razones de distancias y la diferencia de 0.79 mm al método de regresión lineal simple.

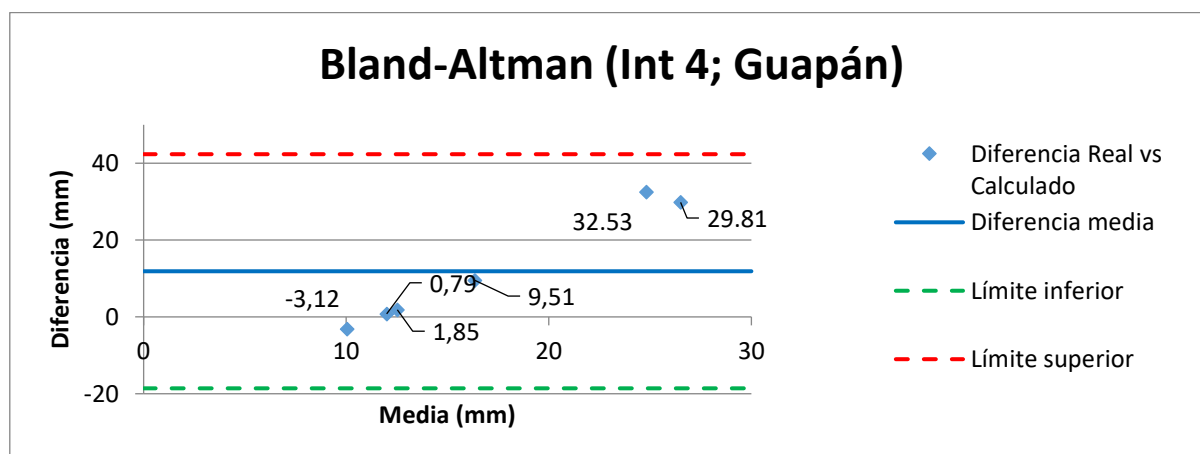


Figura 16 Diferencias promedio del Test “ACBA” Intervalo 4. Fuente: Autor.

Finalmente, para el pluviómetro de Llaucay se aplicaron únicamente los métodos de razones normales, correlación con estaciones vecinas, razón “Q” y regresión lineal simple, el valor más

alto de diferencia corresponde al método de correlación con estaciones vecinas (143.91 mm) mientras que el valor más bajo al método de razón “Q” (35.10 mm).

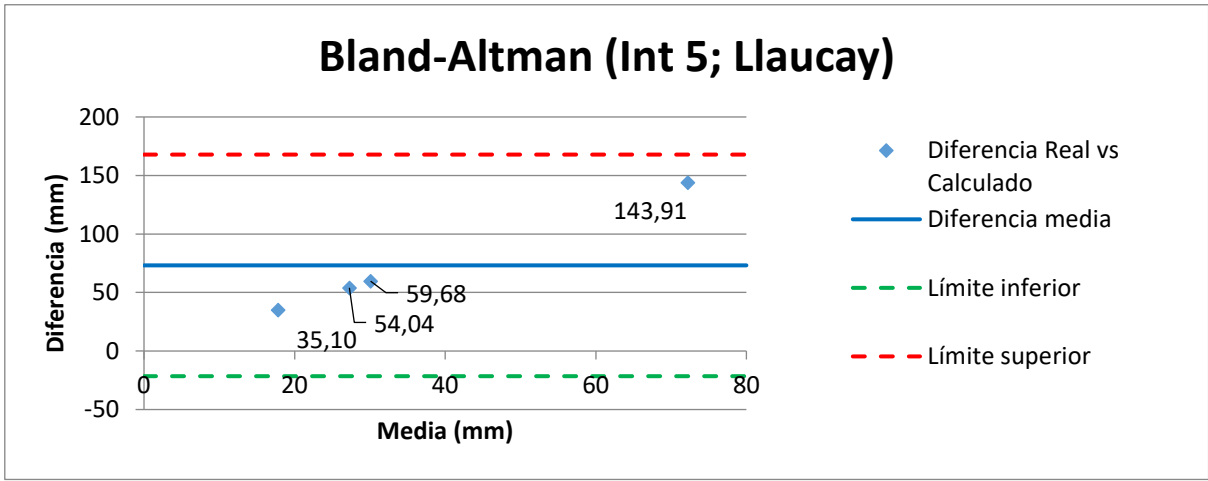


Figura 17 Diferencias promedio del Test “ACBA” Intervalo 5. Fuente: Autor.

Análisis de resultados

La falta de datos que se observó en la estación meteorológica de Nudpud y en los pluviómetros de Condoryacu, Guapán y Llaucay evidencia una falta de monitoreo más exhaustiva en estos equipos meteorológicos, se observó que en la estación meteorológica de Nudpud se registró la mayor cantidad de días en los cuales no se recepto la información de las mediciones de precipitación diarias, por otra parte, los pluviómetros de Guapán y Condoryacu registraron la menor cantidad de días sin receptor información de precipitación; al observar la Figura 11 se puede identificar que la ubicación de estos equipos de monitoreo influyen en la recepción de datos, pues se puede identificar que la estación meteorológica de Nudpud se encuentra alejada de los centros poblados y dificulta el acceso al lugar donde se encuentra instalado el equipo, por otra parte los pluviómetros de Condoryacu, Guapán y Llaucay se encuentran cerca de zonas pobladas y de fácil acceso lo que facilita su constante monitoreo y verificación de su correcto funcionamiento.

Influencia de las características de la microcuenca

En función de la caracterización de la microcuenca se identificaron varios resultados imprescindibles en el entendimiento de la calidad de los datos de precipitación y su semejanza estadística con los demás equipos de monitoreo meteorológico.

En primero lugar se determinó el área de la microcuenca que abarca una extensión de 68.32 km², y que según la categorización del tamaño de las microcuencas de [6] se considera de tamaño mediana lo cual evidencia la cercanía ente los equipos meteorológicos instalados en la zona; respecto a la forma (Índice de Gravelius) se obtuvo un valor de 1.53 que según [6] se considera de tipo “Oval oblonga a rectangular oblonga”; en base a lo anteriormente expuesto se puede decir que la ubicación de las estaciones meteorológicas se encuentran relativamente cercanas unas a otras, lo que demuestra los altos valores de correlación en los intervalos faltantes como en los eliminados, en conclusión, al tener una microcuenca de tamaño mediana y forma oval oblonga a rectangular oblonga, permite que las estaciones meteorológicas se encuentre a distancias cortas entre si mejorando así la semejanza estadística de las mediciones de precipitación que receptan estos equipos, lo que corrobora con la conclusión expresada por [16].

La ubicación de las estaciones meteorológicas respecto a su tipo de cobertura vegetal, permitieron identificar que, mientras las estaciones meteorológicas se encuentran en el mismo tipo de cobertura vegetal, la bondad de ajuste a través de las metodologías aplicadas es mayor, por lo contrario, en que las estaciones meteorológicas que se encuentran en tipos de cobertura vegetal diferentes el resultado es inverso, lo que concuerda según lo expresado en [4], el cual indica sobre la inferencia de los tipos de cobertura vegetal en la cantidad de lluvia presente en una zona.

Tabla 36 Valores de correlación de las estaciones para cobertura vegetal de matorral húmedo (Intervalos faltantes). Fuente: Autor.

N⁰	N⁰	Matorral	Matorral	R²	r	ANOVA
Intervalo	Análisis	Húmedo	Húmedo			
1	2	Condoryacu	Llaucay	0.938	0.969	1.240
4	8	Guapán	Llaucay	0.850	0.922	1.240
5	9	Llaucay	Condoryacu	0.896	0.947	1.450
Promedio:				0.895	0.946	1.310

Nota: Para identificar el N⁰ de intervalo y N⁰ de análisis de las tablas 16 y 17 refiérase a la tabla N⁰ 22.

En la Tabla 36 se presentan los valores que permiten cuantificar la semejanza estadística entre cada grupo de estaciones para los intervalos faltantes, aquí se puede observar los resultados correspondientes a la aplicación de los métodos de correlación “R²” “r” y de la prueba “ANOVA” seguido de los equipos meteorológicos que se encuentran instalados en la cobertura vegetal de tipo “Matorral húmedo” cabe recalcar que el “Número de intervalo” corresponde al grupo de días en los que se registró falta de datos, mientras que el “Número de análisis” corresponde a la correlación realizada en la estación con falta de datos respecto a la estación con datos completos según el intervalo de datos faltantes de análisis.

Tabla 37 Valores de correlación de las estaciones para cobertura vegetal de páramo y matorral húmedo (Intervalos faltantes). Fuente: Autor.

N⁰	N⁰	Páramo	Matorral	R²	r	ANOVA
Intervalo	Análisis		Húmedo			
1	1	Nudpud	Condoryacu	0.731	0.855	1.240
2	3	Nudpud	Condoryacu	0.874	0.935	5.350
2	4	Nudpud	Llaucay	0.832	0.913	5.210
3	5	Nudpud	Condoryacu	0.986	0.993	0.160

N° Intervalo	N° Análisis	Páramo	Matorral Húmedo	R²	r	ANOVA
3	6	Nudpud	Llaucay	0.993	0.997	0.160
4	7	Nudpud	Guapán	0.888	0.943	1.240
6	10	Nudpud	Condoryacu	0.930	0.965	1.430
7	11	Nudpud	Condoryacu	0.000	0.000	103.590
7	12	Nudpud	Guapán	0.813	0.902	2.950
7	13	Nudpud	Llaucay	0.733	0.856	2.950
8	14	Nudpud	Condoryacu	0.987	0.994	1.740
8	15	Nudpud	Guapán	0.907	0.953	19.090
8	16	Nudpud	Llaucay	0.976	0.988	1.600
Promedio:				0.819	0.869	11.285

De igual manera se realizó la comparación para los intervalos en los cuales la cobertura vegetal en donde se encuentran los equipos meteorológicos varía, la Tabla 37 expresa la comparación entre la estación de Nudpud ubicada en una cobertura vegetal de tipo “Páramo” respecto a las estaciones de Condoryacu, Guapán y Llaucay instaladas en una cobertura vegetal de tipo “Matorral húmedo” luego en las columnas finales de la tabla se detalla los valores de correlación de los métodos citados anteriormente.

Tabla 38 Valores de correlación de las estaciones para cobertura vegetal de matorral húmedo (Intervalos eliminados). Fuente: Autor.

Nº intervalo	Nº análisis	Matorral húmedo	Matorral húmedo	R²	r	ANOVA
1	2	Condoryacu	Guapán	0.994	0.997	0.092
1	3	Condoryacu	Llaucay	0.984	0.992	0.092
4	10	Guapán	Condoryacu	0.731	0.855	0.900
5	13	Llaucay	Condoryacu	0.841	0.917	0.000
Promedio:				0.888	0.940	0.271

De la misma manera que en los intervalos faltantes, se realizó la comparación para los intervalos eliminados, la Tabla 38 indica los valores de correlación para las estaciones de Condoryacu, Guapán y Llaucay, que se encuentran en la zona de matorral húmedo, mientras que la Tabla 39 se detalla la comparación para las estación de Nudpud que se encuentra en zona de “Páramo” y las estaciones de Condoryacu, Guapán y Llaucay que se encuentran en la zona de “Matorral húmedo”.

Tabla 39 Valores de correlación de las estaciones para cobertura vegetal de páramo y matorral húmedo (Intervalos eliminados). Fuente: Autor.

Nº intervalo	Nº análisis	Páramo	Matorral húmedo	R²	r	ANOVA
1	1	Nudpud	Condoryacu	0.967	0.984	0.092
2	4	Nudpud	Condoryacu	0.985	0.993	0.360
2	5	Nudpud	Guapán	0.956	0.978	3.51
2	6	Nudpud	Llaucay	0.984	0.992	0.130
3	7	Nudpud	Condoryacu	0.769	0.977	0.220
3	8	Nudpud	Guapán	0.908	0.953	4.670
3	9	Nudpud	Llaucay	0.949	0.974	1.510

N° intervalo	N° análisis	Páramo	Matorral húmedo	R²	r	ANOVA
4	11	Nudpud	Guapán	0.940	0.970	0.120
6	14	Nudpud	Condoryacu	0.957	0.979	0.001
6	15	Nudpud	Guapán	0.922	0.960	0.018
6	16	Nudpud	Llaucay	0.881	0.939	0.202
7	17	Nudpud	Condoryacu	0.994	0.997	26.510
7	18	Nudpud	Guapán	0.983	0.992	0.830
7	19	Nudpud	Llaucay	0.992	0.996	0.830
8	20	Nudpud	Condoryacu	0.940	0.970	4.330
8	21	Nudpud	Guapán	0.934	0.967	0.410
8	22	Nudpud	Llaucay	0.967	0.984	1.610
Promedio:				0.943	0.977	2.668

Análisis de las correlaciones para el cálculo de valores faltantes

Para aceptar o validar una estación de referencia en el cálculo de los datos de precipitación faltantes se aplicaron distintas metodologías de bondad de ajuste, en el cual se identificó que la cobertura vegetal influye de manera directa en la calidad de la correlación como ya se demostró anteriormente.

Los resultados de correlación en los intervalos faltantes y los intervalos eliminados evidencian la influencia de la cobertura vegetal con la calidad de la semejanza de datos entre cada uno de los equipos meteorológicos de análisis; los valores de la media de las correlaciones de las estaciones de análisis evidencian que la calidad de los datos de partida depende del lugar en donde se encuentran las estaciones meteorológicas; en cuanto a los intervalos faltantes, si observamos los valores de la Tabla 36 que indica los resultados de correlación para una zona

de matorral húmedo se puede identificar que el valor promedio de correlación en las tres metodologías de bondad de ajuste es mayor a la de la Tabla 37 que representa los valores para una zona de paramo y matorral húmedo; respecto a los intervalos eliminados, en la Tabla 38 se muestran los valores de correlación para las estaciones que se encuentran en la zona de páramo. Si comparamos la media de estos valores con los de la Tabla 39 se puede observar que la correlación es fuerte; sin embargo, en los valores del coeficiente de determinación y el coeficiente de correlación de Pearson no cumplen con la conclusión identificada anteriormente; esto indica que la semejanza estadística aumente solamente el análisis de varianza “ANOVA”.

En el análisis para la relleno de los intervalos faltantes se eliminó únicamente la correlación N°11 que compara estadísticamente los datos de precipitación de las estaciones de Nudpud (Registro faltante) y Condoryacu (Registro completo); dicha correlación se descartó debido a que ninguna metodología de correlación de datos validó la semejanza estadística de los valores de precipitación contabilizados en estos equipos; así también, en las correlaciones N°1, 3, 4, 13, y 15 se registraron valores que no cumplieron con el criterio de [17] del intervalo de $-0.8 \leq R^2 \leq +0.8$, sin embargo estas fueron consideradas en el análisis debido a que existió más de una metodología de bondad de ajuste que validaron su semejanza.

Los valores de correlación de los intervalos eliminados resultaron favorables en su mayoría para su posterior relleno; sin embargo, en la correlación N°12 correspondiente al intervalo N°4 se presentó el único caso en el cual la comparación de los datos no resultó válida a través de ninguna metodología, por lo que no se consideró en los cálculos de relleno para aquel intervalo.

En las correlaciones N°7 y 8 correspondientes al intervalo N°3, correlación N°10 perteneciente al intervalo N°4 y las correlaciones N°17 y 20 correspondientes a los intervalos N°7 y 8 respectivamente presentaron resultados de correlación no válidos en por lo menos una metodología; sin embargo, estos si fueron considerados en los cálculos debido a que por las

demás metodologías los valores analizados fueron válidos, lo que fundamenta su aplicación confiable en los cálculos completados.

Finalmente se identificó que en la mayoría de los intervalos eliminados para la relleno de datos faltantes de precipitación se dispuso de tres estaciones de referencia para su respectivo cálculo, a excepción de los intervalos N⁰4 y 5 en donde se dispuso de 2 y 3 estaciones de referencia respectivamente para su cálculo.

Tabla 40 Error máximo y mínimo de las metodologías de relleno. Fuente: Autor.

Equipo Meteorológico	Error Máximo				Error Mínimo			
	R²	EEE	ANOVA	ACBA	R²	EEE	ANOVA	ACBA
Condoryacu	RQ	CEV	RLM	RLM	RD	RD	RD	RD
Nudpud	RLS	RD	RD	RD	RQ	RQ	RQ	RQ
Guapán	RD	RD	CEV	RD	RLM	RLS	RLS	RLS
Llaucay	CEV	CEV	RLS	CEV	RLS	RLS	RQ	RQ

Análisis de la validación de las metodologías

Respecto a la validación de las metodologías a través de “R²” en la Tabla 33 se puede observar que no existen diferencias significativas entre la calidad de resultados de una u otra metodología aplicada; no obstante, para el intervalo N⁰5 se puede identificar que los valores de R² son bajos en comparación a los demás métodos, esto se debe a que al momento de realizar la correlación de datos, la única estación involucrada en el análisis no resultó la más conveniente; por otra parte, para la estación de Condoryacu, cuyo intervalo es el N⁰1, se determinó que la metodología que presentó el valor más alto de R² fue “Razones de distancias” mientras que para la estación de Nudpud, cuyos intervalos fueron los N⁰2, 3, 6, 7, y 6, se apreció que los métodos de razón “Q”, regresión lineal múltiple, regresión lineal simple y razón normal presentaron los valores más altos de R².

Al aplicar el método de Error Estándar de Estimación (Tabla 34) se identificó que no existieron mayores discrepancias respecto al coeficiente de correlación R^2 , al igual que en la anterior metodología, el método de “Razones de Distancias” resultó ser el que presentó el valor más bajo de error estándar respecto al intervalo N⁰1, correspondiente a la estación de Condoryacu; lo que discrepa respecto al criterio de [16], el cual considera que el método de razones de distancias no es recomendable aplicarlo en zonas montañosas, se ha comprobado que para el intervalo N⁰1 correspondiente a la estación de Condoryacu es el recomendable.

En la estación de Nudpud, cuyos intervalos son los N⁰2, 3, 7, 7, y 8 las metodologías de relleno de datos que presentaron los valores más bajos de error estándar de estimación fueron: razón “Q”, regresión lineal simple, regresión lineal múltiple y razones normales; al revisar la validación por R^2 y error estándar de estimación, se puede identificar que, para la estación de Nudpud los métodos indicados coinciden como los que presentaron los resultados más convenientes, corroborando así con demás investigaciones realizadas el cual definen a los métodos de regresión lineal simple y múltiple como los más eficaces. [24]

Los resultados para el intervalo N⁰4 de la estación de Guapán fueron confiables a través de todas las metodologías, esto se puede identificar en los valores de R^2 y error estándar de estimación ya que presentaron los valores más convenientes en el cálculo; sin embargo, los métodos de regresión lineal simple y regresión lineal múltiple expresaron los valores de correlación más óptimos, 0.970 en regresión lineal múltiple a través de R^2 y 0.693 a través del error estándar de estimación.

En la estación de Llaucay, correspondiente al intervalo N⁰5 el método de regresión lineal simple presentaron los valores más convenientes, por el coeficiente de determinación y el error estándar de estimación.

Al realizar el análisis de la metodología más apropiada, se puede identificar en la Tabla 35 los valores de “f” para cada uno de los intervalos, así como también los valores críticos de “f” que indican el valor máximo que puede adoptar “f” para que considere la hipótesis nula planteada en la prueba ANOVA.

Así como en las demás metodologías de validación aplicadas para el intervalo N^o1, perteneciente a la estación de Condoryacu, el método de “Razones de Distancias” presentó el valor más bajo de “f” (0.005); por otra parte, para los intervalos que pertenecen a la estación de Nudpud, los valores más bajos de “f” fueron de los métodos de razón “Q”, razones de distancias y razones normales, mientras que para la estación de Guapán, el método de regresión lineal simple presentó el valor más bajo de “f”; por último, para la estación de Llaucay, el valor más bajo de “f” fue para el método de razón “Q”.

La bondad de ajuste a través de Bland y Altman presentó resultados similares que de los demás métodos de bondad de ajuste; el intervalo N^o1 (Figura 14), corresponde al pluviómetro de Condoryacu, los valores corresponden al promedio de datos de precipitación en un intervalo, y representan la diferencia de los datos reales versus los datos calculados, cabe recalcar que los datos que se ajustan de una manera preminente a los valores reales, son aquellos donde las diferencias promedio son menores, para este intervalo el método de razón “Q” (-4.35 mm) y razones de distancias fueron los que obtuvieron los valores más cercanos a los reales, siendo esta última indicada la que mejor aproximó el cálculo de los valores faltantes con una diferencia de error de -1.92 mm, por otra parte los métodos de correlación con estaciones vecinas y regresión lineal múltiple fueron los que arrojaron los resultados más desfavorables con una diferencia de error de 56.38 y 57.23 mm respectivamente.

En el intervalo N^o2 (Figura 15, literal “a”) los valores más elevados representan los métodos de razones de distancias (218.51 mm) y el método de regresión lineal múltiple (305.57 mm) y

el valor más bajo para el método de razón “Q” (5.86 mm); mientras que para el intervalo N⁰³ (Figura 15, literal “b”) el error más elevado está en el método de razones de distancias (17.32 mm) y el valor menor para el método de correlación con estaciones vecinas (-3.42 mm) (Figura 16); en conclusión, el análisis indica que los métodos de correlación con estación vecinas y razón “Q” arrojan las diferencias de error más bajas con -3.42 y 5.66 mm respectivamente; por el contrario, los métodos de razones normales y razones de distancias presentaron los valores más elevados de diferencia de error con 11.65 y 17.32 mm.

En el intervalo N⁰⁵ correspondiente al pluviómetro de Llaucay (Figura 17) los métodos aplicados difieren de manera significativa respecto a la precipitación real, sin embargo, el método de razón “Q” presentó un diferencia de error baja en comparación a las demás metodologías con 35.10 mm.

El análisis de concordancia de Bland y Altman para el intervalo N⁰⁶, indica que las diferencias de error de los métodos de razones normales (0.15 mm), regresión lineal simple (0.09 mm), regresión lineal múltiple (0.40 mm) y razón “Q” presentaron los valores más bajos, siendo esta última metodología la que reveló el valor más bajo con 0.06 mm de diferencia de error.

Para el intervalo N⁰⁷ el test indica que, de las metodologías aplicadas, el método de correlación con estaciones vecinas presentó el valor más bajo de diferencia de error con 11.81 mm. Por otra parte los valores que no resultaron convenientes debido a su elevada diferencia de error fueron para los métodos de regresión lineal múltiple y razones de distancias con 17.45 y 19.63 mm de diferencia de error respectivamente.

Finalmente, en el intervalo N⁰⁸, correspondiente a la estación de Nudpud, los valores del test de concordancia de Bland y Altman indicaron que el método de razones normales fue aquel que arrojó el valor más bajo de diferencia de error respecto a las demás metodologías aplicadas para

este intervalo con -9.09 mm, mientras que el método de razón “Q” el valor más elevado de diferencia de error con -202.96 mm.

Tabla 41 Métodos de relleno de datos elegidos como los mejores estimadores. Fuente: Autor.

Nº	Estación con Datos Eliminados	Método de Validación de Resultados			
		R ²	EEE	ANOVA	Bland y Altman
1	Condoryacu	RD	RD	RD	RD
2	Nudpud	RQ	RQ	RQ	RQ
3	Nudpud	RLM	RLM	CEV	CEV
4	Guapán	RLM	RLS	RLS	RLS
5	Llaucay	RLS	RLS	RQ	RQ
6	Nudpud	RLS	RLS	RQ	RQ
7	Nudpud	RN	RQ	CEV	CEV
8	Nudpud	RD	RN	RN	RN

En la Tabla 41 se puede identificar que para los intervalos N^o1, 2 y 4 existe una sola metodología que presentó la mejor calidad de estimación de datos faltantes a través de todas las bondades de ajuste aplicadas, por otra parte, para los demás intervalos de estudio existieron por lo menos dos metodologías de relleno de datos que más se aproximan en la estimación de los valores reales.

Al observar la Tabla 41 se puede identificar que el método de regresión lineal simple no sobresale de los demás métodos a excepción de los intervalos N^o 5 y 6; ahora bien, según [6] esta metodología es una de las más aplicadas; evidentemente este criterio no se aplicó en esta investigación, ya que las metodologías que resultaron más eficaces fueron las detalladas en la Tabla 42.

Tabla 42 Metodología mejor aplicable en función de la estación meteorológica con datos faltantes.
Fuente: Autor.

Equipo Meteorológico	Método de Validación de Resultados			
	R ²	EEE	ANOVA	Bland y Altman
Condoryacu	RD	RD	RD	RD
Nudpud	RQ	RQ	RQ	RQ
Guapán	RLM	RLS	RLS	RLS
Llaucay	RLS	RLS	RQ	RQ

En la Tabla 42 se identifica que para la estación meteorológica de Condoryacu, el método de razones de distancias resultó apropiado para el relleno en los datos de precipitación de este equipo meteorológico, a pesar de las consideraciones de [16] y conociendo la topografía montañosa descrita en el apartado de “Sitio de estudio” en el cuerpo metodológico; por otra parte, para la estación meteorológica de Nudpud los métodos de bondad de ajuste indican que el métodos de razón “Q” determina los valores de precipitación faltantes con menor error respecto a las demás metodologías de relleno de valores faltantes.

En la estación de Guapán los métodos de bondad de ajuste definieron que el método de regresión lineal simple determinó los valores más aproximados a los datos de precipitación reales, acreditando lo dicho por [23]; por último, para la estación meteorológica de Llaucay existió una discrepancia, dado que a través del coeficiente de determinación R² y el error estándar de estimación definieron que el método de regresión lineal simple presento la mejor estimación, por la prueba ANOVA y el test de Bland y Altman la metodología más conveniente fue razón “Q”.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

La recopilación bibliográfica definió seis metodologías a aplicarse en esta investigación que son: razones normales, razones de distancias, correlación con estaciones vecinas, razón “Q”, regresión lineal simple y regresión lineal múltiple, en función de su descripción se observó que cada una de las metodologías mencionadas utilizan equipos meteorológicos de referencia para su procedimiento en el relleno de valores faltantes de precipitación.

Definir los parámetros y características de la microcuenca del río Tabacay fue esencial en el entendimiento de la similitud de datos que recopilan las estaciones meteorológicas de la zona, la cuantificación de la semejanza estadística de las series de datos entre cada una de las estaciones meteorológicas están estrechamente relacionadas con las características de la microcuenca, se concluye que a más de cuantificar la semejanza de datos para las estaciones de referencia se debe considerar los parámetros cualitativos como cobertura vegetal, elevación sobre el nivel del mar de cada estación meteorológica y las distancia entre sí; los resultados presentaron que las estaciones meteorológicas que se encuentran en el mismo tipo de cobertura vegetal, a una distancia relativamente corta respecto a las demás, arrojaron una mayor bondad de ajuste, en síntesis, se puede decir que, para la selección de las estaciones de referencia previo a la aplicación de las metodologías se debe considerar las características de tipo de cobertura vegetal, distancia y elevación de las estaciones meteorológicas, ya que la calidad de la estación influye en el tipo de zona y no en la distancia que se encuentran cada una de ellas, ello permitirá una mejor calidad de datos en la aplicación de los métodos de relleno.

En la aplicación de las metodologías de relleno de datos faltantes se concluyó que no existen diferencias significativas respecto a la calidad de la estimación de cada uno de los métodos, sin

embargo el número de estaciones de referencia influyen directamente en la aplicación de una u otra metodología pues existen casos como en los métodos de regresión lineal múltiple y razones de distancias en los que necesariamente se requiere de dos estaciones de referencia, por otra parte el método de correlación con estaciones vecinas presentó los valores más desfavorables por lo que podemos decir que no se podría aplicar en ningún equipo meteorológico con datos de precipitación faltantes.

Se concluyó que, mediante la aplicación de los métodos de bondad de ajuste la aplicación de la metodología más conveniente está en función de la estación meteorológica a la cual se la aplique; así pues, se definieron tendencias que marcaron la diferencia entre una u otra metodología, para la estación de Condoryacu el método más apropiado es el de “Razones de distancias” mientras que para la estación de Nudpud el método estadístico es “Razón Q”, en la estación meteorológica de Guapán el método de regresión lineal simple es que presenta los valores más confiables y por último, en la estación meteorológica de Llaucay los métodos de regresión lineal simple y razón “Q” pueden aplicarse de manera confiable.

Recomendaciones

Se recomienda considerar no únicamente los valores cuantitativos que definen la semejanza estadística de las series (métodos de bondad de ajuste) a más de ello se debe considerar los parámetros cualitativos del lugar en donde se encuentra la estación con datos incompletos y las estaciones de referencia.

Se recomienda no usar el método de correlación con estaciones vecinas cuando se dispone de una sola estación de referencia debido a que si bien su expresión matemática lo permite, los resultados son completamente erróneas según la bondad de ajuste aplicada.

Como planteamiento a próximas investigación se recomienda aplicar dichas metodologías para las microcuencas que conforman la subcuenca del río Burgay y así comparar la variabilidad de la calidad de estimación de las metodologías en función de las características de las microcuencas.

Se recomienda, al momento de utilizar estaciones de referencia en el relleno de datos faltantes, considerar los datos de las estaciones que se encuentran en el mismo tipo de cobertura vegetal, ya que estas brindan una mejor calidad de estimación según la aplicación de las metodologías de bondad de ajuste indicadas en la investigación.

CAPÍTULO VI

BIBLIOGRAFÍA Y ANEXOS

Referencias bibliográficas

- [1] I. M. B. Villón, Hidrología, Lima: Villón, 2002.
- [2] V. T. Chow, Hidrología Aplicada, Bogotá: McGRAW-HILL, 1994.
- [3] G. Monsalve, Hidrología en la Ingeniería, Bogotá: Escuela colombiana de ingeniería, 1995.
- [4] F. J. Aparicio, Fundamentos de la Hidrología de superficie, México: Limusa, 1992.
- [5] m. ó. y. p. RAIG, «RAIG S.A.» Marzo 2020. [En línea]. Available: <https://www.raig.com/>.
- [6] I. W. R. G. Morales, Texto básico de Hidrología, Managua: Editronic, S.A., 2009.
- [7] J. J. O. Gálvez, Cartilla técnica: Aguas subterráneas - Acuíferos., Lima: Zaniel I. Novoa Goicochea, 2011.
- [8] S. Ibáñez Asencio, H. Moreno Ramón y J. M. Gisbert Blanquer, «Morfología de las cuencas hidrográficas.» *Escuela técnica superior de ingeniería agronómica y del medio natural*, p. 12, 2012.
- [9] M. Antelo y M. E. Fernandez Long, «Estimación de datos faltantes de precipitación diaria de Azul Aero (Buenos Aires),» *Facultad de Agronomía*, p. 12, 2015.

- [10] R. a. T. J. H. Steel, Principles and procedures of statistics with special reference to the biological sciences, New York: McGraw Hill, 1960.
- [11] J. Gorgas García, N. Cardiel López y J. Zamorano Calvo, Estadística básica para estudiantes de ciencias, Madrid, 2009.
- [12] D. A. Lind, W. G. Marchal y S. A. Wathen, Estadística aplicada a los negocios y la economía, México: McGraw - Hill, 2012.
- [13] J. Bland y D. Altman., Statistical methods in medical research. Measuring agreement in methods comparative studies, U.S.A, 1999.
- [14] F. López Unzu y J. Á. Mintegui Aguirre, La ordenación agrohidrológica en la planificación, Servicio central de publicacines del Gobierno de Vasco, 1990.
- [15] S. Montoya, Métodos de estimación para completar datos de precipitación, Gestión sostenible del agua, 2014.
- [16] T. R. Pizarro, T. P. Ausensi, G. D. Aravena y P. C. Sanguesa, Evaluación de métodos hidrológicos para la completación de datos faltantes de precipitación en estaciones pluviográficas de la VII región del Maule, Chile, Talca, Chile: Universidad de Talca, 1993.
- [17] UNESCO-ROSTLAC, Guía metodológica para la elaboración del balance hídrico de América del Sur, Montevideo: Oficina regional de ciencia y tecnología de la Unesco para América Latina y el Caribe, 1982.
- [18] G. A. E. Morales, Estadística y probabilidades, Santiago de Chile: Universidad Católica de la Santísima Concepción, 2012.

- [19] J. M. Wooldridge, *Introducción a la econometría*, Michigan: CENGAGE Laerning, 2010.
- [20] EMAPAL-EP, «Departamento de gestión ambiental. Base de datos pluviométricos, climatológicos e hidrológicos de la microcuenca del río Tabacay,» Azogues, 2015.
- [21] EMAPAL EP, *Plan de manejo de la microcuenca del río Tabacay*, Azogues: Empresa Pública Municipal de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento Ambiental del cantón Azogues, 2003.
- [22] CAZALAC, *Guía metodológica para la elaboración del mapa de zonas áridas, semiáridas y subhúmedas secas de América Latina y El Caribe*, Chile, 2005.
- [23] P. A. Ausensi Tapia, *Evaluación de métodos hidrológicos para la completación de datos faltantes*, Talca , 2005.
- [24] R. D. Medina Rivera, *Estimación estadística de valores faltantes en series históricas de lluvia*, Pereira, 2008.
- [25] E. L. Romero y W. L. Casimiro, «Evaluación de métodos hidrológicos para la completación de datos faltantes de precipitación,» *Revista Tecnológica ESPOL - RTE*, p. 12, 2015.

Anexos

Anexo 1 Solicitud de la información de la base de datos pluviométricos, climatológicos e hidrológicos (EMAPAL-EP).



Azogues, 06 de julio de 2020

Ingeniero

Santiago Luna

GERENTE DE LA EMPRESA PÚBLICA MUNICIPAL DE AGUA POTABLE, ALCANTARILLADO Y SANEAMIENTO AMBIENTAL DEL CANTÓN AZOGUES

Su despacho. -

Reciba un atento saludo y al mismo tiempo aprovecho para desearle éxitos en sus funciones. Por medio del presente, me dirijo a usted para solicitarle de la manera más comedida, permitir el acceso a la información de precipitación que proporcionan los equipos de monitoreo meteorológico ubicados en la microcuenca del río Tabacay, así como también la cartografía de la microcuenca ya mencionada.

La información compartida se utilizará en la elaboración del trabajo de titulación "**ESTIMACIÓN DE VALORES FALTANTES DE PRECIPITACIÓN EN LAS ESTACIONES METEOROLÓGICAS**" previo a la obtención del título de Ingeniero Civil de BYRON STALIN CASTAÑEDA DOMÍNGUEZ con cédula 0302497789, estudiante de la carrera de Ingeniería Civil de la UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA, SEDE AZOGUES.

Anticipando mis agradecimientos por la oportuna atención que sabrá dar al presente.

Atentamente,

DIOS, PATRIA CULTURA Y DESARROLLO

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'R. Romero'.

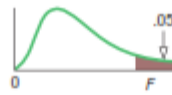
Ing. Ricardo Romero

DIRECTOR DE LA CARRERA DE INGENIERIA CIVIL



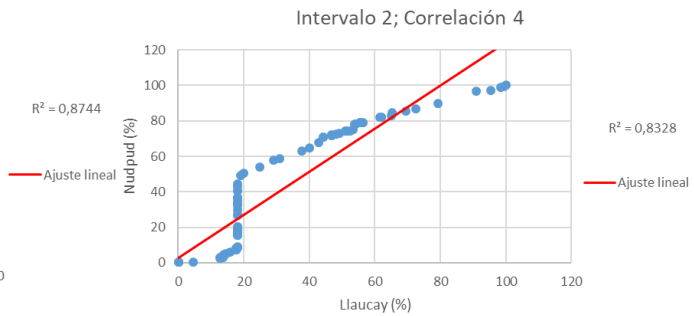
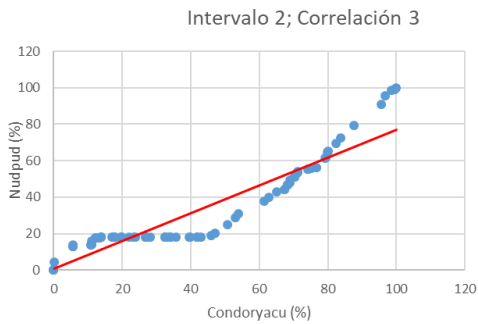
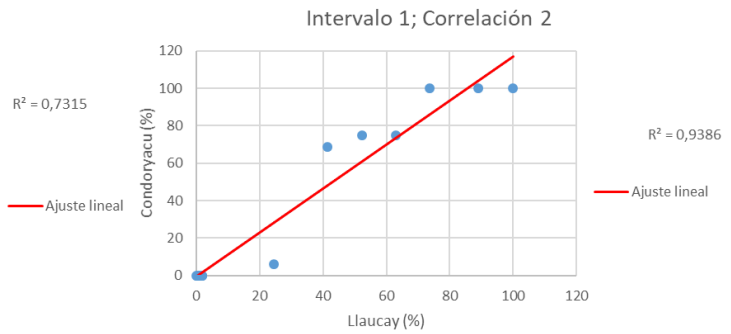
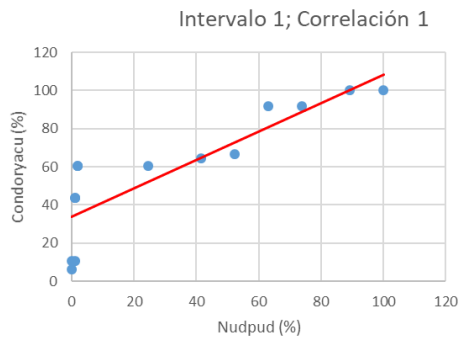
Por Ing. Ricardo Romero a las 20:56:25, 23/6/2020

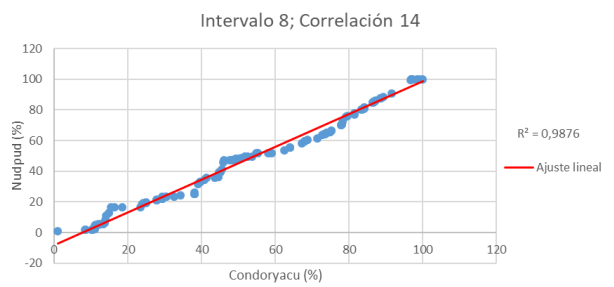
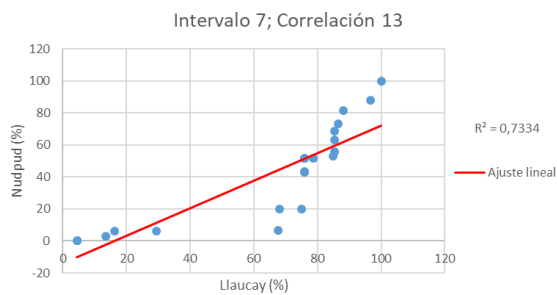
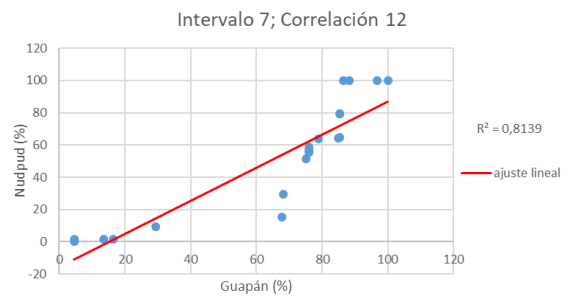
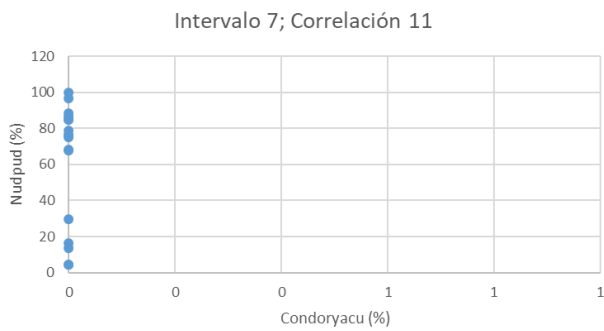
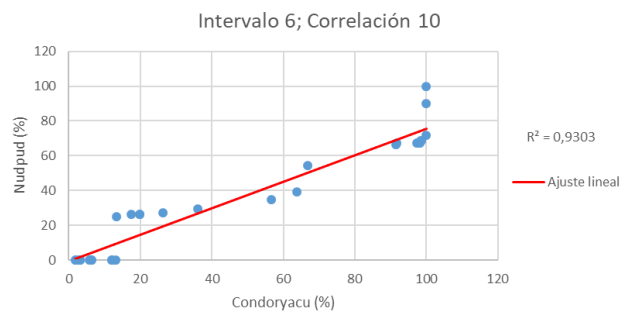
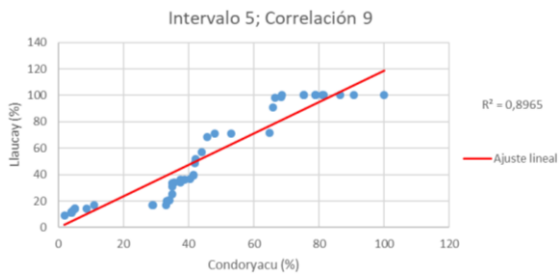
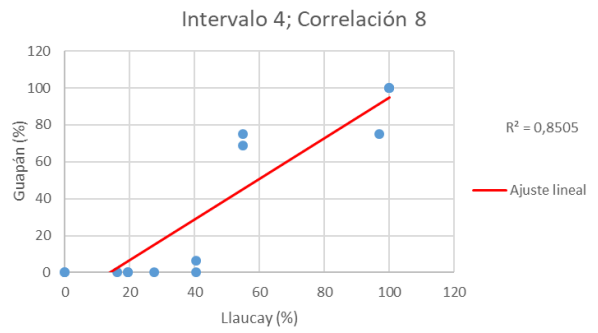
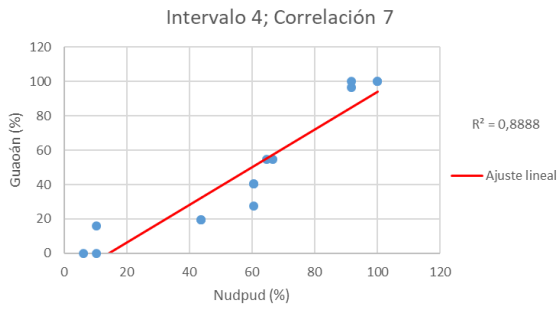
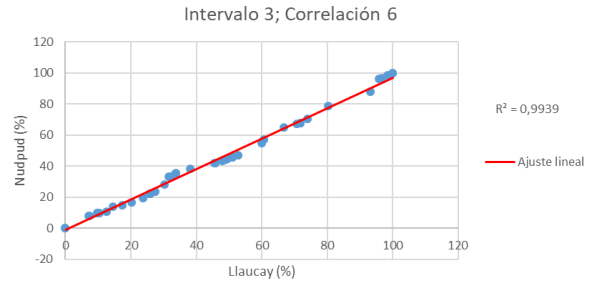
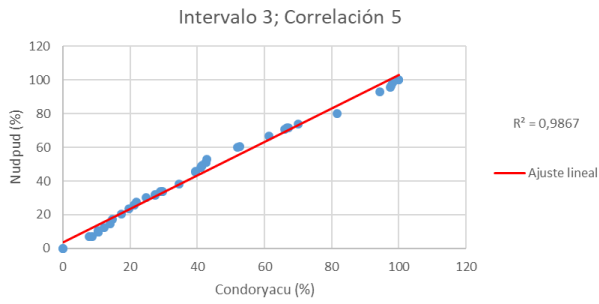
Anexo 2 Valores críticos de la distribución "F" (significancia de 5%). Fuente: [12]

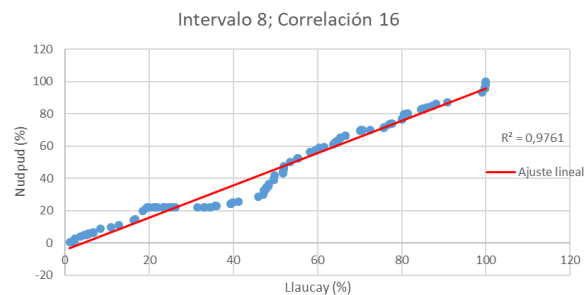
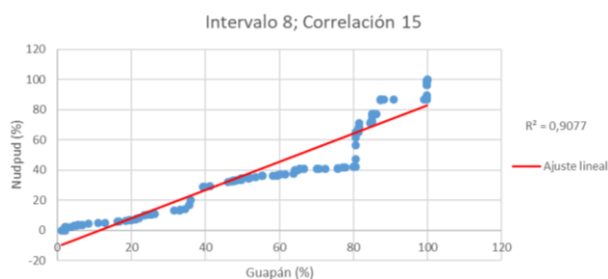


	Grados de libertad en el numerador																
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	15	20	24	30	40	
Grados de libertad en el denominador	1	161	200	216	225	230	234	237	239	241	242	244	246	248	249	250	251
	2	18.5	19.0	19.2	19.2	19.3	19.3	19.4	19.4	19.4	19.4	19.4	19.4	19.4	19.5	19.5	19.5
	3	10.1	9.55	9.28	9.12	9.01	8.94	8.89	8.85	8.81	8.79	8.74	8.70	8.66	8.64	8.62	8.59
	4	7.71	6.94	6.59	6.39	6.26	6.16	6.09	6.04	6.00	5.96	5.91	5.86	5.80	5.77	5.75	5.72
	5	6.61	5.79	5.41	5.19	5.05	4.95	4.88	4.82	4.77	4.74	4.68	4.62	4.56	4.53	4.50	4.46
	6	5.99	5.14	4.76	4.53	4.39	4.28	4.21	4.15	4.10	4.06	4.00	3.94	3.87	3.84	3.81	3.77
	7	5.59	4.74	4.35	4.12	3.97	3.87	3.79	3.73	3.68	3.64	3.57	3.51	3.44	3.41	3.38	3.34
	8	5.32	4.46	4.07	3.84	3.69	3.58	3.50	3.44	3.39	3.35	3.28	3.22	3.15	3.12	3.08	3.04
	9	5.12	4.26	3.86	3.63	3.48	3.37	3.29	3.23	3.18	3.14	3.07	3.01	2.94	2.90	2.86	2.83
	10	4.96	4.10	3.71	3.48	3.33	3.22	3.14	3.07	3.02	2.98	2.91	2.85	2.77	2.74	2.70	2.66
	11	4.84	3.98	3.59	3.36	3.20	3.09	3.01	2.95	2.90	2.85	2.79	2.72	2.65	2.61	2.57	2.53
	12	4.75	3.89	3.49	3.26	3.11	3.00	2.91	2.85	2.80	2.75	2.69	2.62	2.54	2.51	2.47	2.43
	13	4.67	3.81	3.41	3.18	3.03	2.92	2.83	2.77	2.71	2.67	2.60	2.53	2.46	2.42	2.38	2.34
	14	4.60	3.74	3.34	3.11	2.96	2.85	2.76	2.70	2.65	2.60	2.53	2.46	2.39	2.35	2.31	2.27
	15	4.54	3.68	3.29	3.06	2.90	2.79	2.71	2.64	2.59	2.54	2.48	2.40	2.33	2.29	2.25	2.20
	16	4.49	3.63	3.24	3.01	2.85	2.74	2.66	2.59	2.54	2.49	2.42	2.35	2.28	2.24	2.19	2.15
	17	4.45	3.59	3.20	2.96	2.81	2.70	2.61	2.55	2.49	2.45	2.38	2.31	2.23	2.19	2.15	2.10
	18	4.41	3.55	3.16	2.93	2.77	2.66	2.58	2.51	2.46	2.41	2.34	2.27	2.19	2.15	2.11	2.06
	19	4.38	3.52	3.13	2.90	2.74	2.63	2.54	2.48	2.42	2.38	2.31	2.23	2.16	2.11	2.07	2.03
	20	4.35	3.49	3.10	2.87	2.71	2.60	2.51	2.45	2.39	2.35	2.28	2.20	2.12	2.08	2.04	1.99
	21	4.32	3.47	3.07	2.84	2.68	2.57	2.49	2.42	2.37	2.32	2.25	2.18	2.10	2.05	2.01	1.96
	22	4.30	3.44	3.05	2.82	2.66	2.55	2.46	2.40	2.34	2.30	2.23	2.15	2.07	2.03	1.98	1.94
	23	4.28	3.42	3.03	2.80	2.64	2.53	2.44	2.37	2.32	2.27	2.20	2.13	2.05	2.01	1.96	1.91
	24	4.26	3.40	3.01	2.78	2.62	2.51	2.42	2.36	2.30	2.25	2.18	2.11	2.03	1.98	1.94	1.89
	25	4.24	3.39	2.99	2.76	2.60	2.49	2.40	2.34	2.28	2.24	2.16	2.09	2.01	1.96	1.92	1.87
30	4.17	3.32	2.92	2.69	2.53	2.42	2.33	2.27	2.21	2.16	2.09	2.01	1.93	1.89	1.84	1.79	
40	4.08	3.23	2.84	2.61	2.45	2.34	2.25	2.18	2.12	2.08	2.00	1.92	1.84	1.79	1.74	1.69	
60	4.00	3.15	2.76	2.53	2.37	2.25	2.17	2.10	2.04	1.99	1.92	1.84	1.75	1.70	1.65	1.59	
120	3.92	3.07	2.68	2.45	2.29	2.18	2.09	2.02	1.96	1.91	1.83	1.75	1.66	1.61	1.55	1.50	
∞	3.84	3.00	2.60	2.37	2.21	2.10	2.01	1.94	1.88	1.83	1.75	1.67	1.57	1.52	1.46	1.39	

Anexo 3 Diagramas de dispersión para "R²". Fuente: Autor.







Anexo 4 Tablas "ANOVA". Fuente: Autor.

Análisis de Varianza Para los Intervalos N°1 y N°4.

Origen de las Variaciones	Suma de Cuadrados	Grados de Libertad	Media Cuadrática	F	Valor Crítico de "F"
Tratamientos	5434.57	3	1811.52		
Error	76127.47	52	1463.99	1.24	2.79
Total	81562.03	55			

Análisis de Varianza Para el Intervalo N°2 (1)

Origen de las Variaciones	Suma de Cuadrados	Grados de Libertad	Media Cuadrática	F	Valor Crítico de "F"
Tratamientos	3924.98	1	3924.98		
Error	133557.65	182	733.83	5.35	3.88
Total	137482.63	183			

Análisis de Varianza Para el Intervalo N°2 (2)

Origen de las Variaciones	Suma de Cuadrados	Grados de Libertad	Media Cuadrática	F	Valor Crítico de "F"
Tratamientos	4250.08	1	4250.08	5.21	3.88
Error	148401.60	182	815.39		
Total	152651.68	183			

Análisis de Varianza Para el Intervalo N°3

Origen de las Variaciones	Suma de Cuadrados	Grados de Libertad	Media Cuadrática	F	Valor Crítico de "F"
Tratamientos	278.75	2	139.38		
Error	117108.93	135	867.47	0.16	3.08
Total	117387.69	137			

Análisis de Varianza Para el Intervalo N°5

Origen de las Variaciones	Suma de Cuadrados	Grados de Libertad	Media Cuadrática	F	Valor Crítico de "F"
Tratamientos	1525.15	1	1525.15		
Error	111167.70	106	1048.75	1.45	3.94
Total	112692.85	107			

Análisis de Varianza Para el Intervalo N°6

Origen de las Variaciones	Suma de Cuadrados	Grados de Libertad	Media Cuadrática	F	Valor Crítico de "F"
Tratamientos	1935.78	1	1935.79		
Error	83936.23	62	1353.81	1.43	4.00
Total	85872.02	63			

Análisis de Varianza Para el Intervalo N°7 (1)

Origen de las Variaciones	Suma de Cuadrados	Grados de Libertad	Media Cuadrática	F	Valor Crítico de "F"
Tratamientos	47770.64	1	47770.64		
Error	19368.50	42	461.15	103.59	4.08
Total	67139.14	43			

Análisis de Varianza Para el Intervalo N°7 (2)

Origen de las Variaciones	Suma de Cuadrados	Grados de Libertad	Media Cuadrática	F	Valor Crítico de "F"
Tratamientos	6016.46	2	3008.23		
Error	64238.07	63	1019.65	2.95	3.15
Total	70254.54	65			

Análisis de Varianza Para el Intervalo N°8 (1)

Origen de las Variaciones	Suma de Cuadrados	Grados de Libertad	Media Cuadrática	F	Valor Crítico de "F"
Tratamientos	1517.32	1	1517.32		
Error	292398.35	336	870.23	1.74	3.86
Total	293915.66	337			

Análisis de Varianza Para el Intervalo N°8 (2)

Origen de las Variaciones	Suma de Cuadrados	Grados de Libertad	Media Cuadrática	F	Valor Crítico de "F"
Tratamientos	17405.37	1	17405.37		
Error	306272.50	336	911.53	19.09	3.86
Total	323677.87	337			

Análisis de Varianza Para el Intervalo N°8 (3)

Origen de las Variaciones	Suma de Cuadrados	Grados de Libertad	Media Cuadrática	F	Valor Crítico de "F"
Tratamientos	1510.45	1	1510.45		
Error	316651.72	336	942.42	1.60	3.86
Total	318162.17	337			

Anexo 5 Datos calculados para el intervalo N°2. Fuente: Autor.

N° Dato	RN	RD	CEV	RQ	RLS	RLM
1	0.00	0.00	0.00	0.00	1.05	0.40
2	0.00	0.00	0.00	0.00	1.05	0.40
3	0.00	0.00	0.00	0.00	1.05	0.40
4	0.14	0.14	0.13	0.00	1.05	0.54
5	0.00	0.00	0.00	0.00	1.05	0.40
6	0.55	0.56	0.64	0.37	1.33	0.96
7	1.32	1.35	1.54	0.89	1.73	1.75
8	5.84	5.98	6.81	3.95	4.04	6.34
9	0.00	0.00	0.00	0.00	1.05	0.40
10	0.44	0.45	0.51	0.30	1.28	0.85
11	0.00	0.00	0.00	0.00	1.05	0.40
12	1.65	1.69	1.93	1.12	1.90	2.08
13	1.98	2.03	2.31	1.34	2.07	2.42
14	1.54	1.58	1.80	1.04	1.84	1.97
15	3.19	3.27	3.73	2.16	2.69	3.65
16	0.33	0.34	0.39	0.22	1.22	0.74
17	0.00	0.00	0.00	0.00	1.05	0.40
18	0.11	0.11	0.13	0.07	1.11	0.51
19	0.00	0.00	0.00	0.00	1.05	0.40
20	0.00	0.00	0.00	0.00	1.05	0.40
21	0.00	0.00	0.00	0.00	1.05	0.40
22	0.00	0.00	0.00	0.00	1.05	0.40

N° Dato	RN	RD	CEV	RQ	RLS	RLM
23	0.11	0.11	0.13	0.07	1.11	0.51
24	0.22	0.23	0.26	0.15	1.17	0.63
25	0.00	0.00	0.00	0.00	1.05	0.40
26	0.00	0.00	0.00	0.00	1.05	0.40
27	0.00	0.00	0.00	0.00	1.05	0.40
28	2.97	3.05	3.47	2.01	2.57	3.43
29	1.54	1.58	1.80	1.04	1.84	1.97
30	0.55	0.56	0.64	0.37	1.33	0.96
31	0.77	0.79	0.90	0.52	1.45	1.19
32	0.00	0.00	0.00	0.00	1.05	0.40
33	0.77	0.79	0.90	0.52	1.45	1.19
34	0.00	0.00	0.00	0.00	1.05	0.40
35	0.00	0.00	0.00	0.00	1.05	0.40
36	1.10	1.13	1.29	0.74	1.62	1.52
37	8.04	8.24	9.38	5.44	5.17	8.59
38	0.33	0.34	0.39	0.22	1.22	0.74
39	13.98	14.34	16.32	9.46	8.21	14.64
40	2.42	2.48	2.83	1.64	2.29	2.87
41	1.10	1.13	1.29	0.74	1.62	1.52
42	2.97	3.05	3.47	2.01	2.57	3.43
43	2.09	2.15	2.44	1.42	2.12	2.53
44	0.22	0.23	0.26	0.15	1.17	0.63
45	0.00	0.00	0.00	0.00	1.05	0.40

N° Dato	RN	RD	CEV	RQ	RLS	RLM
46	5.28	5.42	6.17	3.58	3.76	5.78
47	0.33	0.34	0.39	0.22	1.22	0.74
48	0.00	0.00	0.00	0.00	1.05	0.40
49	0.55	0.56	0.64	0.37	1.33	0.96
50	0.66	0.68	0.77	0.45	1.39	1.07
51	1.32	1.35	1.54	0.89	1.73	1.75
52	0.00	0.00	0.00	0.00	1.05	0.40
53	4.62	4.74	5.40	3.13	3.42	5.11
54	1.65	1.69	1.93	1.12	1.90	2.08
55	0.33	0.34	0.39	0.22	1.22	0.74
56	1.02	1.04	1.15	0.60	1.50	1.44
57	8.18	8.33	8.81	3.72	3.87	8.63
58	1.59	1.61	1.66	0.60	1.50	1.99
59	6.95	6.97	6.28	0.22	1.22	7.23
60	0.14	0.14	0.13	0.00	1.05	0.54
61	0.50	0.51	0.51	0.15	1.17	0.90
62	0.33	0.34	0.39	0.22	1.22	0.74
63	1.11	1.13	1.14	0.37	1.33	1.51
64	0.00	0.00	0.00	0.00	1.05	0.40
65	5.57	5.64	5.72	1.86	2.46	5.97
66	0.00	0.00	0.00	0.00	1.05	0.40
67	0.00	0.00	0.00	0.00	1.05	0.40
68	3.15	3.16	2.90	0.22	1.22	3.50

Nº Dato	RN	RD	CEV	RQ	RLS	RLM
69	0.96	0.96	0.88	0.07	1.11	1.34
70	0.00	0.00	0.00	0.00	1.05	0.40
71	0.00	0.00	0.00	0.00	1.05	0.40
72	0.00	0.00	0.00	0.00	1.05	0.40
73	0.00	0.00	0.00	0.00	1.05	0.40
74	0.00	0.00	0.00	0.00	1.05	0.40
75	0.00	0.00	0.00	0.00	1.05	0.40
76	0.00	0.00	0.00	0.00	1.05	0.40
77	0.00	0.00	0.00	0.00	1.05	0.40
78	0.00	0.00	0.00	0.00	1.05	0.40
79	0.00	0.00	0.00	0.00	1.05	0.40
80	8.06	8.16	8.12	2.31	2.80	8.43
81	1.02	1.04	1.15	0.60	1.50	1.44
82	0.00	0.00	0.00	0.00	1.05	0.40
83	0.00	0.00	0.00	0.00	1.05	0.40
84	0.14	0.14	0.13	0.00	1.05	0.54
85	0.39	0.40	0.38	0.07	1.11	0.79
86	0.00	0.00	0.00	0.00	1.05	0.40
87	2.11	2.12	1.88	0.00	1.05	2.47
88	17.01	17.24	17.56	5.88	5.51	17.40
89	3.25	3.30	3.44	1.34	2.07	3.66

Nota: Para la identificación de los métodos en las posteriores tablas se utilizó la siguiente nomenclatura: RN: Razón Normal; RD: Razones de distancias; CEV: Correlación con estaciones vecinas; RQ: Razón "Q"; RLS: Regresión lineal simple; RLM: Regresión lineal múltiple.

Anexo 6 Datos calculados para el intervalo N°6. Fuente: Autor.

N° Dato	RN	RD	CEV	RQ	RLS	RLM
1	0.00		0.00	0.00	0.25	
2	0.21		0.50	0.05	0.27	
3	5.15		12.00	1.12	0.66	
4	5.15		12.00	1.12	0.66	
5	4.72	Método	11.00	1.03	0.63	Método
6	1.61	No	3.75	0.35	0.38	No
7	3.97	aplicado	9.25	0.86	0.57	aplicado
8	2.36		5.50	0.51	0.44	
9	0.00		0.00	0.00	0.25	
10	2.90		6.75	0.63	0.48	
11	0.32		0.75	0.07	0.28	

Anexo 7 Datos calculados para el intervalo N°7. Fuente: Autor.

N° Dato	RN	RD	CEV	RQ	RLS	RLM
1	0.86	0.42	0.72	0.61	1.91	1.89
2	4.49	3.81	4.17	2.20	2.03	1.63
3	4.34	6.69	4.78	0.18	1.88	0.69
4	4.77	2.35	4.00	3.42	2.11	2.15
5	0.24	0.12	0.21	0.18	1.88	1.85
6	6.96	3.55	5.87	4.92	2.22	2.26
7	0.11	0.18	0.12	0.00	1.87	1.80
8	0.12	0.06	0.10	0.09	1.87	1.84

Nº Dato	RN	RD	CEV	RQ	RLS	RLM
9	3.17	1.68	2.69	2.20	2.03	2.01
10	4.39	4.87	4.36	1.40	1.97	1.28
11	5.69	8.59	6.22	0.35	1.89	0.40
12	6.57	7.42	6.57	2.02	2.01	0.96
13	0.61	0.30	0.51	0.44	1.90	1.87

Anexo 8 Datos calculados para el intervalo N°8. Fuente: Autor.

Nº Dato	RN	RD	CEV	RQ	RLS	RLM
1	8.90	4.29	12.82	8.96	4.72	10.01
2	8.01	10.34	10.81	3.82	2.65	8.36
3	1.19	2.49	1.52	0.00	1.11	1.91
4	0.47	0.36	0.69	0.47	1.30	1.40
5	0.06	0.18	0.09	0.00	1.11	0.91
6	1.32	0.18	1.98	1.71	1.80	2.36
7	1.66	0.18	2.49	2.18	1.99	2.76
8	0.47	0.95	0.60	0.00	1.11	1.21
9	0.34	0.36	0.45	0.16	1.18	1.04
10	0.53	0.59	0.75	0.39	1.27	1.44
11	2.51	0.54	3.66	2.88	2.27	3.35
12	0.94	0.95	1.35	0.78	1.43	1.97
13	0.63	0.18	0.95	0.78	1.43	1.57
14	5.45	9.80	7.13	1.01	1.52	5.98
15	5.09	6.89	6.86	2.26	2.02	5.63

N° Dato	RN	RD	CEV	RQ	RLS	RLM
16	7.32	12.08	9.30	0.93	1.49	6.11
17	11.96	20.05	15.27	1.64	1.77	9.91
18	3.01	3.10	4.07	1.71	1.80	3.36
19	1.20	1.78	1.72	0.78	1.43	2.47
20	0.78	1.54	1.01	0.08	1.14	1.57
21	2.31	3.44	3.20	1.17	1.58	3.50
22	2.35	2.57	3.00	0.78	1.43	2.07
23	0.55	1.36	0.73	0.00	1.11	1.51
24	4.50	8.92	5.70	0.00	1.11	4.52
25	3.20	7.58	4.41	0.62	1.36	5.55
26	3.89	5.50	4.66	0.00	1.11	2.01
27	0.25	0.71	0.34	0.00	1.11	1.21
28	1.49	2.01	2.12	1.01	1.52	2.77
29	1.90	2.92	2.31	0.00	1.11	1.61
30	5.45	4.34	7.74	4.60	2.96	6.61
31	0.94	1.31	1.29	0.47	1.30	1.80
32	7.06	9.20	9.81	4.13	2.78	8.72
33	2.44	0.30	3.59	2.96	2.31	3.32
34	0.24	0.36	0.34	0.16	1.18	1.14
35	4.54	3.98	6.49	3.82	2.65	5.95
36	3.73	4.82	4.99	1.64	1.77	4.10
37	0.41	0.65	0.56	0.16	1.18	1.24
38	0.17	0.30	0.22	0.00	1.11	0.91

N° Dato	RN	RD	CEV	RQ	RLS	RLM
39	10.60	17.24	13.95	2.80	2.24	10.51
40	0.06	0.18	0.09	0.00	1.11	0.91
41	10.32	19.57	12.95	0.00	1.11	8.53
42	0.06	0.00	0.09	0.08	1.14	0.87
43	2.28	5.39	3.15	0.47	1.30	4.21
44	1.59	0.00	2.41	2.18	1.99	2.66
45	0.28	0.00	0.43	0.39	1.27	1.14
46	2.40	3.29	2.89	0.08	1.14	1.57
47	0.18	0.42	0.24	0.00	1.11	1.01
48	0.43	0.89	0.60	0.16	1.18	1.44
49	0.88	0.95	1.27	0.70	1.40	1.90
50	0.68	1.78	0.94	0.08	1.14	1.87
51	0.42	0.83	0.56	0.08	1.14	1.27
52	1.62	3.21	2.13	0.23	1.21	2.51
53	0.31	0.89	0.43	0.00	1.11	1.31
54	0.00	0.00	0.00	0.00	1.11	0.81
55	1.13	1.84	1.55	0.47	1.30	2.10
56	0.11	0.00	0.17	0.16	1.18	0.94
57	0.54	1.19	0.73	0.08	1.14	1.47
58	5.09	9.15	6.60	0.78	1.43	5.38
59	3.76	6.55	4.75	0.31	1.24	3.58
60	1.68	1.49	2.34	1.25	1.61	2.47
61	1.72	3.39	2.17	0.00	1.11	2.21

N° Dato	RN	RD	CEV	RQ	RLS	RLM
62	0.58	0.18	0.86	0.70	1.40	1.50
63	0.23	0.18	0.28	0.08	1.14	0.87
64	0.97	0.00	1.46	1.32	1.65	1.93
65	3.19	5.11	4.27	1.09	1.55	4.04
66	0.94	1.72	1.20	0.08	1.14	1.57
67	5.13	10.52	6.55	0.08	1.14	5.48
68	3.13	7.22	4.32	0.70	1.40	5.41
69	0.23	0.18	0.34	0.23	1.21	1.10
70	0.69	0.18	1.03	0.86	1.46	1.63
71	0.73	1.66	1.01	0.16	1.18	1.84
72	6.51	6.12	9.16	4.91	3.09	7.68
73	0.06	0.18	0.09	0.00	1.11	0.91
74	0.85	1.14	1.02	0.00	1.11	1.01
75	0.93	0.59	1.35	0.93	1.49	1.90
76	2.16	2.32	2.99	1.40	1.68	3.00
77	3.38	7.71	4.40	0.00	1.11	4.52
78	0.12	0.24	0.15	0.00	1.11	0.91
79	2.61	4.23	3.19	0.00	1.11	2.11
80	2.98	5.18	3.68	0.00	1.11	2.61
81	1.99	2.08	2.81	1.48	1.71	3.06
82	3.28	5.00	4.30	0.93	1.49	3.60
83	1.26	0.18	1.89	1.64	1.77	2.29
84	9.38	18.72	11.91	0.08	1.14	8.79

N° Dato	RN	RD	CEV	RQ	RLS	RLM
85	1.05	2.78	1.41	0.00	1.11	2.31
86	2.41	5.46	3.13	0.00	1.11	3.41
87	4.40	8.04	5.49	0.00	1.11	3.81
88	0.66	1.48	0.86	0.00	1.11	1.51
89	0.41	0.36	0.60	0.39	1.27	1.34
90	2.64	5.70	3.39	0.00	1.11	3.41
91	4.08	7.91	5.14	0.00	1.11	4.01
92	0.79	1.84	1.03	0.00	1.11	1.71
93	2.84	5.47	3.57	0.00	1.11	3.01
94	4.68	10.03	6.03	0.08	1.14	5.48
95	2.14	3.92	2.83	0.47	1.30	3.01
96	1.55	2.97	2.00	0.16	1.18	2.24
97	3.96	8.47	5.46	1.09	1.55	6.34
98	3.36	3.03	4.67	2.42	2.09	4.06
99	2.35	0.71	3.46	2.73	2.21	3.42
100	1.66	0.18	2.49	2.18	1.99	2.76
101	0.48	0.95	0.66	0.16	1.18	1.44
102	3.80	7.77	5.10	0.78	1.43	5.38
103	4.71	6.53	6.44	2.34	2.05	5.80
104	1.22	1.01	1.76	1.09	1.55	2.23
105	1.20	0.00	1.81	1.64	1.77	2.19
106	0.76	0.83	1.07	0.55	1.33	1.67
107	0.17	0.00	0.26	0.23	1.21	1.00

N° Dato	RN	RD	CEV	RQ	RLS	RLM
108	3.25	0.18	4.90	4.36	2.87	4.61
109	0.28	0.00	0.43	0.39	1.27	1.14
110	0.00	0.00	0.00	0.00	1.11	0.81
111	0.41	0.59	0.58	0.23	1.21	1.30
112	1.50	2.97	1.97	0.23	1.21	2.41
113	1.01	1.36	1.42	0.62	1.36	2.04
114	1.12	2.90	1.52	0.08	1.14	2.48
115	3.93	0.00	5.94	5.38	3.28	5.37
116	2.15	3.92	2.90	0.62	1.36	3.24
117	2.86	2.19	4.19	2.80	2.24	4.39
118	2.99	1.07	4.41	3.43	2.49	4.22
119	0.40	0.18	0.60	0.47	1.30	1.30
120	0.70	0.53	1.03	0.70	1.40	1.70
121	5.95	6.18	8.34	4.21	2.81	7.18
122	2.48	1.19	3.65	2.73	2.21	3.72
123	2.25	3.32	3.09	1.09	1.55	3.34
124	2.47	1.73	3.46	2.03	1.93	3.13
125	3.95	0.77	5.91	4.99	3.12	5.44
126	1.48	0.30	2.19	1.79	1.83	2.43
127	0.57	0.00	0.86	0.78	1.43	1.47
128	0.75	0.18	1.12	0.93	1.49	1.70
129	0.57	0.00	0.86	0.78	1.43	1.47
130	1.25	3.37	1.71	0.08	1.14	2.78

Nº Dato	RN	RD	CEV	RQ	RLS	RLM
131	0.66	1.36	0.90	0.16	1.18	1.64
132	1.58	3.44	2.14	0.31	1.24	2.87
133	3.63	6.11	4.96	1.40	1.68	5.00
134	2.40	4.27	3.30	0.93	1.49	3.80
135	0.24	0.36	0.34	0.16	1.18	1.14
136	0.00	0.00	0.00	0.00	1.11	0.81
137	0.91	0.00	1.38	1.25	1.61	1.86
138	0.87	1.37	1.06	0.00	1.11	1.21
139	0.11	0.00	0.17	0.16	1.18	0.94
140	0.67	0.66	0.80	0.08	1.14	0.87
141	0.00	0.00	0.00	0.00	1.11	0.81
142	1.85	1.38	2.34	0.78	1.43	1.47
143	0.80	0.00	1.20	1.09	1.55	1.73
144	0.74	0.00	1.12	1.01	1.52	1.67
145	0.90	1.42	1.29	0.55	1.33	2.07

Anexo 9 Datos calculados para el intervalo N^o2 (Validación). Fuente: Autor.

Nº Dato	RN	RD	CEV	RQ	RLS	RLM	Dato Real
1	0.000	0.000	0.000	0.000	1.737	0.497	0.000
2	3.494	6.858	4.594	2.777	4.028	8.300	0.090
3	0.647	1.270	0.851	0.514	2.162	1.942	0.110
4	8.929	17.526	11.741	7.098	7.592	20.439	0.440
5	0.259	0.508	0.340	0.206	1.907	1.075	0.020

Nº Dato	RN	RD	CEV	RQ	RLS	RLM	Dato Real
6	1.847	0.000	2.264	0.000	1.737	0.497	0.010
7	10.529	0.254	12.914	0.103	1.822	0.786	0.020
8	1.941	3.810	2.552	1.543	3.010	4.832	0.060
9	0.000	0.000	0.000	0.000	1.737	0.497	0.000
10	0.205	0.000	0.252	0.000	1.737	0.497	0.400
11	0.000	0.000	0.000	0.000	1.737	0.497	0.010
12	0.000	0.000	0.000	0.000	1.737	0.497	0.020
13	0.000	0.000	0.000	0.000	1.737	0.497	0.000
14	1.583	2.032	2.032	0.823	2.416	2.809	0.110
15	0.776	1.524	1.021	0.617	2.247	2.231	0.030
16	0.259	0.508	0.340	0.206	1.907	1.075	0.050
17	0.068	0.113	0.085	0.103	1.822	0.665	0.000
18	1.134	1.807	1.428	1.646	3.095	3.197	0.000
19	0.000	0.000	0.000	0.000	1.737	0.497	0.010
20	0.594	0.903	0.747	0.823	2.416	1.847	0.090
21	0.189	0.226	0.236	0.206	1.907	0.834	0.050
22	0.000	0.000	0.000	0.000	1.737	0.497	0.010
23	0.000	0.000	0.000	0.000	1.737	0.497	0.000
24	6.271	5.533	7.802	5.040	5.895	8.767	0.410
25	2.495	2.371	3.108	2.160	3.519	4.041	0.310
26	0.000	0.000	0.000	0.000	1.737	0.497	0.000
27	10.193	8.947	12.786	5.966	6.659	12.330	0.070
28	3.362	6.885	4.563	0.103	1.822	6.438	0.190

Nº Dato	RN	RD	CEV	RQ	RLS	RLM	Dato Real
29	7.118	10.780	9.286	2.880	4.113	11.716	0.020
30	8.741	7.930	11.084	2.983	4.198	9.359	0.030
31	2.183	4.854	2.977	0.309	1.992	4.851	0.070
32	0.670	1.242	0.897	0.103	1.822	1.627	0.040
33	12.196	22.602	16.398	0.411	2.077	20.051	0.070
34	11.235	14.760	14.471	5.349	6.150	16.849	0.480
35	0.062	0.141	0.085	0.000	1.737	0.617	0.000
36	0.000	0.000	0.000	0.000	1.737	0.497	0.000
37	0.000	0.000	0.000	0.000	1.737	0.497	0.000
38	7.418	6.182	9.264	4.732	5.641	9.102	0.060
39	5.249	9.426	6.843	4.217	5.216	11.505	0.480
40	0.062	0.141	0.085	0.000	1.737	0.617	0.000
41	2.227	4.176	2.967	0.720	2.331	4.564	0.040
42	0.000	0.000	0.000	0.000	1.737	0.497	0.000
43	0.248	0.564	0.340	0.000	1.737	0.978	0.000
44	0.062	0.141	0.085	0.000	1.737	0.617	0.020
45	0.062	0.141	0.085	0.000	1.737	0.617	0.010
46	1.085	1.778	1.436	0.206	1.907	2.157	0.040
47	7.372	10.499	9.504	4.423	5.386	12.564	0.520
48	0.461	0.847	0.596	0.514	2.162	1.581	0.310
49	0.639	1.129	0.832	0.514	2.162	1.822	0.090
50	0.463	0.564	0.604	0.000	1.737	0.978	0.000
51	0.062	0.141	0.085	0.000	1.737	0.617	0.000

Nº Dato	RN	RD	CEV	RQ	RLS	RLM	Dato Real
52	1.314	2.709	1.767	0.411	2.077	3.096	0.060
53	0.062	0.141	0.085	0.000	1.737	0.617	0.000
54	0.473	0.790	0.596	0.720	2.331	1.678	0.090
55	0.614	1.072	0.813	0.206	1.907	1.556	0.060
56	0.801	1.129	1.030	0.514	2.162	1.822	0.110
57	0.062	0.141	0.085	0.000	1.737	0.617	0.020
58	0.183	0.254	0.236	0.103	1.822	0.786	0.020
59	0.000	0.000	0.000	0.000	1.737	0.497	0.000
60	2.301	4.262	2.978	2.469	3.774	5.870	5.200
61	12.978	16.482	16.625	7.303	7.762	19.695	22.400
62	3.623	3.838	4.645	0.926	2.501	4.421	0.800
63	0.062	0.141	0.085	0.000	1.737	0.617	0.200
64	0.062	0.141	0.085	0.000	1.737	0.617	0.200
65	15.358	14.252	19.524	4.629	5.556	15.908	6.400
66	2.879	4.516	3.723	2.057	3.435	5.796	1.600
67	0.170	0.141	0.217	0.000	1.737	0.617	0.000
68	0.000	0.000	0.000	0.000	1.737	0.497	0.000
69	0.270	0.452	0.340	0.411	2.077	1.172	0.000
70	5.718	9.512	7.290	6.995	7.507	13.537	2.400
71	8.236	7.310	10.340	4.732	5.641	10.064	1.600
72	4.989	5.927	6.375	2.572	3.859	7.362	6.000
73	3.572	3.190	4.476	2.263	3.604	4.811	5.000
74	21.431	32.229	27.851	10.595	10.477	35.437	8.200

Nº Dato	RN	RD	CEV	RQ	RLS	RLM	Dato Real
75	17.058	22.915	22.083	6.480	7.083	24.597	16.400
76	2.575	3.781	3.372	0.617	2.247	4.155	4.400
77	3.363	5.333	4.439	0.617	2.247	5.478	0.400
78	3.215	5.362	4.214	1.543	3.010	6.155	11.000
79	1.547	2.258	1.994	1.029	2.586	3.146	1.200
80	4.990	8.099	6.529	2.366	3.689	9.068	3.000
81	0.291	0.254	0.368	0.103	1.822	0.786	0.000
82	0.601	0.593	0.756	0.411	2.077	1.292	0.800
83	0.191	0.395	0.255	0.103	1.822	0.906	0.200
84	2.986	2.794	3.786	1.131	2.671	3.676	2.600
85	0.197	0.367	0.255	0.206	1.907	0.955	0.000
86	0.116	0.141	0.151	0.000	1.737	0.617	0.000
87	11.665	12.587	14.846	5.555	6.320	15.142	11.400
88	5.191	8.638	6.582	7.098	7.592	12.864	1.200
89	3.724	4.600	4.779	1.749	3.180	5.651	9.600

Anexo 10 Datos calculados para el intervalo N^o6 (Validación). Fuente: Autor.

Nº Dato	RN	RD	CEV	RQ	RLS	RLM	Dato Real
1	0.022	1.391	0.758	0.051	0.070	0.067	0.090
2	0.007	0.400	0.240	0.013	0.042	0.033	0.050
3	0.000	0.000	0.000	0.000	0.032	0.020	0.010
4	0.000	0.000	0.000	0.000	0.032	0.020	0.000
5	0.217	11.940	7.903	0.310	0.261	0.344	0.410

Nº Dato	RN	RD	CEV	RQ	RLS	RLM	Dato Real
6	0.087	4.868	3.149	0.133	0.130	0.157	0.310
7	0.000	0.000	0.000	0.000	0.032	0.020	0.000
8	0.347	16.364	12.891	0.367	0.303	0.427	0.070
9	0.115	0.585	4.465	0.006	0.037	0.031	0.190
10	0.246	7.073	9.229	0.177	0.163	0.208	0.020
11	0.293	10.944	11.111	0.184	0.167	0.253	0.030

Anexo 11 Datos calculados para el intervalo N^o7 (Validación). Fuente: Autor.

Nº Dato	RN	RD	CEV	RQ	RLS	RLM	Dato Real
1	0.000	0.000	0.000	0.000	1.033	0.760	0.000
2	0.212	0.533	0.254	0.000	1.033	1.037	0.000
3	1.440	1.785	1.325	0.222	1.166	1.578	2.000
4	4.629	4.397	4.410	2.776	2.691	4.664	3.600
5	8.028	6.754	8.126	7.772	5.676	10.105	5.800
6	15.394	17.676	15.444	9.327	6.604	16.011	10.400
7	2.571	2.317	2.448	1.665	2.028	2.974	2.800
8	3.323	5.683	3.714	1.665	2.028	5.002	2.200
9	10.532	11.535	9.844	3.886	3.355	8.106	5.400
10	0.424	0.533	0.455	0.333	1.232	1.295	2.600
11	8.820	10.573	8.513	3.442	3.089	7.762	7.600
12	1.492	1.369	1.356	0.666	1.431	1.738	1.400
13	4.785	5.282	4.719	2.776	2.691	5.217	5.000

Anexo 12 Datos calculados para el intervalo N°8 (Validación). Fuente: Autor.

N° Dato	RN	RD	CEV	RQ	RLS	RLM	Dato Real
1	2.984	2.873	3.288	0.397	1.801	2.063	6.000
2	4.571	4.560	6.152	1.986	2.430	6.815	2.600
3	0.331	0.000	0.422	0.000	1.644	1.482	0.200
4	2.745	3.082	3.658	1.271	2.147	4.219	5.200
5	0.905	0.415	1.165	0.159	1.706	2.163	8.600
6	17.077	27.533	22.460	10.487	5.795	16.340	8.400
7	13.412	19.412	17.379	7.150	4.474	12.971	11.800
8	7.908	10.392	10.153	3.734	3.122	8.140	8.200
9	2.565	3.268	3.240	1.112	2.084	3.165	2.800
10	3.630	2.025	4.496	0.556	1.864	4.797	3.000
11	20.746	26.437	24.982	7.548	4.631	13.738	16.600
12	6.018	8.574	7.210	2.463	2.619	4.189	5.000
13	13.834	16.970	16.696	4.846	3.562	9.917	14.000
14	0.244	0.415	0.322	0.159	1.706	1.229	0.200
15	0.056	0.178	0.086	0.079	1.675	1.076	0.200
16	0.000	0.000	0.000	0.000	1.644	1.015	0.000
17	0.000	0.000	0.000	0.000	1.644	1.015	0.000
18	0.000	0.000	0.000	0.000	1.644	1.015	0.000
19	1.407	2.074	1.917	0.874	1.989	2.611	3.200
20	1.524	1.427	1.923	0.477	1.832	2.497	2.000
21	0.387	0.178	0.507	0.079	1.675	1.542	0.200
22	12.157	11.722	15.041	3.575	3.059	11.567	12.400

Nº Dato	RN	RD	CEV	RQ	RLS	RLM	Dato Real
23	11.283	16.015	14.933	6.277	4.128	12.401	14.400
24	2.965	4.575	3.765	1.589	2.273	3.247	2.200
25	4.599	6.838	5.714	2.225	2.524	4.102	5.200
26	3.562	4.214	4.633	1.589	2.273	4.647	10.600
27	2.332	4.322	3.301	1.907	2.398	3.768	8.600
28	0.543	0.948	0.747	0.397	1.801	1.597	0.800
29	0.331	0.000	0.422	0.000	1.644	1.482	3.000
30	0.000	0.000	0.000	0.000	1.644	1.015	0.200
31	0.112	0.355	0.171	0.159	1.706	1.136	1.600
32	7.637	7.037	7.718	0.079	1.675	1.169	10.400
33	11.346	15.231	13.906	4.688	3.499	8.583	5.200
34	7.032	9.865	8.857	3.337	2.964	6.439	11.400
35	3.133	6.634	4.442	2.860	2.776	4.397	0.200
36	0.056	0.178	0.086	0.079	1.675	1.076	0.400
37	0.519	0.178	0.676	0.079	1.675	1.729	0.600
38	0.366	0.533	0.510	0.238	1.738	1.476	2.000
39	6.430	8.940	8.899	3.972	3.216	9.068	2.200
40	2.481	2.902	3.375	1.271	2.147	4.126	0.200
41	0.000	0.000	0.000	0.000	1.644	1.015	1.000
42	0.421	0.831	0.559	0.318	1.769	1.350	4.200
43	1.087	1.896	1.494	0.794	1.958	2.178	5.200
44	2.628	3.729	3.653	1.668	2.304	4.334	1.800
45	1.540	1.953	2.122	0.874	1.989	2.985	2.600

Nº Dato	RN	RD	CEV	RQ	RLS	RLM	Dato Real
46	1.575	2.486	2.210	1.112	2.084	2.979	3.000
47	4.426	5.540	5.275	1.510	2.241	3.560	3.400
48	1.119	1.243	1.527	0.556	1.864	2.464	2.000
49	1.844	3.552	2.639	1.589	2.273	3.247	4.600
50	3.862	6.393	5.442	2.860	2.776	5.797	1.000
51	0.711	1.421	1.022	0.636	1.895	1.871	2.200
52	1.631	2.784	2.259	1.192	2.115	2.852	0.000
53	2.775	6.585	3.731	2.542	2.650	2.943	6.000
54	2.729	4.262	3.825	1.907	2.398	4.421	6.600
55	3.380	4.440	4.670	1.986	2.430	5.322	4.800
56	2.306	3.853	3.139	1.589	2.273	3.434	7.800
57	2.603	3.079	3.545	1.351	2.178	4.280	20.800
58	11.094	17.404	15.555	7.786	4.726	14.853	7.000
59	4.786	8.822	6.771	3.893	3.185	6.674	1.000
60	0.056	0.178	0.086	0.079	1.675	1.076	4.800
61	3.983	5.104	5.174	1.907	2.398	4.888	0.000
62	0.573	0.716	0.653	0.159	1.706	1.229	0.000
63	0.132	0.120	0.132	0.000	1.644	1.015	0.000
64	2.052	1.848	2.471	0.477	1.832	2.590	2.400
65	0.254	0.358	0.284	0.079	1.675	1.076	0.200
66	0.544	0.888	0.765	0.397	1.801	1.690	0.000
67	0.000	0.000	0.000	0.000	1.644	1.015	1.000
68	1.771	3.088	2.282	1.112	2.084	2.325	2.000

Nº Dato	RN	RD	CEV	RQ	RLS	RLM	Dato Real
69	0.965	1.719	1.324	0.715	1.927	2.024	1.800
70	0.666	1.066	0.935	0.477	1.832	1.844	0.000
71	0.720	1.544	0.930	0.556	1.864	1.437	0.000
72	4.234	9.538	5.990	4.052	3.248	5.301	0.000
73	0.649	0.719	0.681	0.079	1.675	1.076	0.000
74	0.860	0.000	1.097	0.000	1.644	2.229	2.800
75	3.105	8.533	4.446	3.575	3.059	3.726	0.400
76	0.056	0.178	0.086	0.079	1.675	1.076	0.000
77	2.243	1.564	2.396	0.000	1.644	1.762	3.600
78	1.745	0.831	2.246	0.318	1.769	3.217	4.600
79	2.398	4.262	3.403	1.907	2.398	3.955	5.800
80	1.563	4.972	2.396	2.225	2.524	2.702	0.400
81	0.264	0.241	0.265	0.000	1.644	1.015	0.000
82	2.911	0.181	3.657	0.000	1.644	4.843	3.800
83	6.495	20.305	9.905	9.057	5.229	7.975	1.600
84	0.554	0.710	0.764	0.318	1.769	1.723	1.400
85	0.345	0.948	0.494	0.397	1.801	1.317	0.000
86	4.553	0.659	5.676	0.079	1.675	6.676	20.200
87	12.625	16.081	16.491	6.118	4.065	13.681	20.200
88	6.991	17.464	10.307	7.786	4.726	8.972	5.000
89	3.540	6.637	4.892	2.781	2.744	4.710	4.800
90	2.568	2.486	3.475	1.112	2.084	4.379	5.600
91	1.136	3.317	1.673	1.430	2.210	2.100	0.000

Nº Dato	RN	RD	CEV	RQ	RLS	RLM	Dato Real
92	3.164	2.888	3.178	0.000	1.644	1.015	0.200
93	0.056	0.178	0.086	0.079	1.675	1.076	0.000
94	11.491	5.415	13.044	0.000	1.644	8.856	16.800
95	6.576	15.570	9.601	6.912	4.380	8.496	1.600
96	1.685	5.150	2.566	2.304	2.556	2.856	0.800
97	0.056	0.178	0.086	0.079	1.675	1.076	0.000
98	0.000	0.000	0.000	0.000	1.644	1.015	0.000
99	0.066	0.060	0.066	0.000	1.644	1.015	0.400
100	0.112	0.355	0.171	0.159	1.706	1.136	0.200
101	0.310	0.476	0.388	0.159	1.706	1.229	0.000
102	0.178	0.355	0.255	0.159	1.706	1.229	0.600
103	1.236	0.415	1.587	0.159	1.706	2.629	5.600
104	0.837	2.664	1.283	1.192	2.115	1.919	0.000
105	0.858	0.421	0.970	0.000	1.644	1.575	2.800
106	3.117	2.432	4.057	0.953	2.021	4.725	6.000
107	2.422	5.273	3.402	2.225	2.524	3.449	4.000
108	0.411	0.888	0.597	0.397	1.801	1.503	0.800
109	1.476	1.673	1.655	0.318	1.769	1.536	1.600
110	6.939	5.520	8.954	2.066	2.461	8.929	0.200
111	2.335	3.861	2.972	1.351	2.178	2.693	0.010
112	2.143	4.325	2.992	1.827	2.367	3.241	0.070
113	1.442	2.847	1.933	1.112	2.084	2.232	0.010
114	0.223	0.710	0.342	0.318	1.769	1.256	0.060

N° Dato	RN	RD	CEV	RQ	RLS	RLM	Dato Real
115	0.000	0.000	0.000	0.000	1.644	1.015	0.020
116	0.000	0.000	0.000	0.000	1.644	1.015	0.080
117	0.000	0.000	0.000	0.000	1.644	1.015	0.040
118	0.000	0.000	0.000	0.000	1.644	1.015	0.030
119	0.000	0.000	0.000	0.000	1.644	1.015	0.010
120	0.056	0.178	0.086	0.079	1.675	1.076	0.060
121	0.650	0.418	0.772	0.079	1.675	1.542	0.010
122	2.551	2.200	3.203	0.715	1.927	3.518	0.010
123	3.174	4.397	4.017	1.510	2.241	3.560	0.000
124	0.568	1.598	0.854	0.715	1.927	1.651	0.160
125	0.584	0.418	0.688	0.079	1.675	1.449	0.010
126	4.985	3.461	5.999	0.794	1.958	5.258	0.000
127	1.228	3.907	1.882	1.748	2.335	2.341	0.000
128	2.247	0.602	2.686	0.000	1.644	3.256	0.030
129	7.503	4.466	9.314	1.271	2.147	8.793	0.020
130	12.378	12.713	15.766	4.449	3.405	13.163	0.010
131	5.537	15.396	8.195	6.753	4.317	6.789	0.150
132	0.544	0.888	0.765	0.397	1.801	1.690	0.190
133	0.523	1.243	0.768	0.556	1.864	1.624	0.010
134	0.523	1.243	0.768	0.556	1.864	1.624	0.050
135	0.234	0.533	0.341	0.238	1.738	1.289	0.100
136	0.056	0.178	0.086	0.079	1.675	1.076	0.090
137	0.056	0.178	0.086	0.079	1.675	1.076	0.010

Nº Dato	RN	RD	CEV	RQ	RLS	RLM	Dato Real
138	0.781	0.839	0.814	0.079	1.675	1.076	0.000
139	1.271	1.129	1.620	0.397	1.801	2.343	0.000
140	0.970	2.664	1.452	1.192	2.115	2.106	0.000
141	1.000	2.191	1.430	0.953	2.021	2.112	0.050
142	1.778	1.845	2.189	0.556	1.864	2.464	0.050
143	4.914	4.423	5.625	0.794	1.958	3.671	0.270
144	1.730	5.505	2.653	2.463	2.619	2.883	0.000
145	0.122	0.238	0.152	0.079	1.675	1.076	0.070

Anexo 13 Test de Bland y Altman para el intervalo N° 1. Fuente: Autor.

Intervalo 1 (mm)				
Método	Calculado	Real	Media	Diferencia
RN	57.428	43.180	50.304	14.248
RD	41.263	43.180	42.221	-1.917
CEV	99.558	43.180	71.369	56.378
RQ	38.833	43.180	41.006	-4.347
RLS	62.548	43.180	52.864	19.368
RLM	100.411	43.180	71.796	57.231
Desviación estándar:		27.360	Diferencia media:	23.494
Tamaño de la muestra:		6.000	Límite superior:	77.120
Nivel de significancia:		0.050	Límite inferior:	-30.133

Anexo 14 Test de Bland y Altman para el intervalo N° 2. Fuente: Autor.

Intervalo 2 (mm)				
Método	Calculado	Real	Media	Diferencia
RN	265.260	127.350	196.305	137.910
RD	345.860	127.350	236.605	218.510
CEV	341.158	127.350	234.254	213.808
RQ	133.207	127.350	130.278	5.857
RLS	264.517	127.350	195.934	137.167
RLM	432.924	127.350	280.137	305.574
Desviación estándar:		101.689	Diferencia media:	169.804
Tamaño de la muestra:		6.000	Límite superior:	369.114
Nivel de significancia:		0.050	Límite inferior:	-29.506

Anexo 15 Test de Bland y Altman para el intervalo N° 3. Fuente: Autor.

Intervalo 3 (mm)				
Método	Calculado	Real	Media	Diferencia
RN	56.253	44.600	50.427	11.653
RD	61.926	44.600	53.263	17.326
CEV	41.179	44.600	42.890	-3.421
RQ	50.262	44.600	47.431	5.662
RLS	55.194	44.600	49.897	10.594
RLM	32.982	44.600	38.791	-11.618
Desviación estándar:		10.724	Diferencia media:	5.033
Tamaño de la muestra:		6.000	Límite superior:	26.051
Nivel de significancia:		0.050	Límite inferior:	-15.986

Anexo 16 Test de Bland y Altman para el intervalo N^o 4. Fuente: Autor.

Intervalo 4 (mm)				
Método	Calculado	Real	Media	Diferencia
RN	13.445	11.600	12.523	1.845
RD	44.132	11.600	27.866	32.532
CEV	41.411	11.600	26.506	29.811
RQ	8.478	11.600	10.039	-3.122
RLS	12.394	11.600	11.997	0.794
RLM	21.107	11.600	16.354	9.507
Desviación estándar:		15.507	Diferencia media:	11.895
Tamaño de la muestra:		6.000	Límite superior:	42.288
Nivel de significancia:		0.050	Límite inferior:	-18.499

Anexo 17 Test de Bland y Altman para el intervalo N^o 5. Fuente: Autor.

Intervalo 5 (mm)				
Método	Calculado	Real	Media	Diferencia
RN	59.938	0.254	30.096	59.684
CEV	144.162	0.254	72.208	143.908
RQ	35.350	0.254	17.802	35.096
RLS	54.296	0.254	27.275	54.042
Desviación estándar:		48.309	Diferencia media:	73.182
Tamaño de la muestra:		4.000	Límite superior:	167.868
Nivel de significancia:		0.050	Límite inferior:	-21.503

Anexo 18 Test de Bland y Altman para el intervalo N^o 6. Fuente: Autor.

Intervalo 6 (mm)				
Método	Calculado	Real	Media	Diferencia
RN	1.334	1.180	1.257	0.154
RD	53.566	1.180	27.373	52.386
CEV	49.745	1.180	25.463	48.565
RQ	1.241	1.180	1.211	0.061
RLS	1.269	1.180	1.225	0.089
RLM	1.582	1.180	1.381	0.402
Desviación estándar:		26.003	Diferencia media:	16.943
Tamaño de la muestra:		6.000	Límite superior:	67.908
Nivel de significancia:		0.050	Límite inferior:	-34.023

Anexo 19 Test de Bland y Altman para el intervalo N^o 7. Fuente: Autor.

Intervalo 7 (mm)				
Método	Calculado	Real	Media	Diferencia
RN	61.651	48.800	55.226	12.851
RD	68.437	48.800	58.619	19.637
CEV	60.609	48.800	54.704	11.809
RQ	34.531	48.800	41.665	-14.269
RLS	34.061	48.800	41.430	-14.739
RLM	66.249	48.800	57.525	17.449
Desviación estándar:		15.728	Diferencia media:	5.456
Tamaño de la muestra:		6.000	Límite superior:	36.284
Nivel de significancia:		0.050	Límite inferior:	-25.371

Anexo 20 Test de Bland y Altman para el intervalo N° 8. Fuente: Autor.

Intervalo 8 (mm)				
Método	Calculado	Real	Media	Diferencia
RN	401.389	410.480	405.934	-9.091
RD	561.330	410.480	485.905	150.850
CEV	520.455	410.480	465.468	109.975
RQ	207.522	410.480	309.001	-202.958
RLS	320.462	410.480	365.471	-90.018
RLM	514.495	410.480	462.488	104.015
Desviación estándar:		137.398	Diferencia media:	10.462
Tamaño de la muestra:		6.000	Límite superior:	279.761
Nivel de significancia:		0.050	Límite inferior:	-258.837

Ingeniero
Ricardo Romero González
DIRECTOR DE CARRERA

Ingeniero
Goethe Palomeque Larriva
DOCENTE TUTOR DE TRABAJO DE TITULACIÓN
INGENIERÍA CIVIL SEDE AZOGUES
Ciudad

ASUNTO: Índice de similitud del trabajo de titulación del estudiante
Byron Stalin Castañeda Domínguez

REFERENCIA: Oficio Nro. UCACUE-GP-G-21-21-010

Reciban un cordial y atento saludo; en atención a la solicitud en referencia adjunto el presente *ÍNDICE DE SIMILITUD TURNITIN* del trabajo de titulación: "*Estimación de datos faltantes de precipitación en las estaciones meteorológicas de la microcuenca del río Tabacay*", elaborado por el estudiante *BYRON STALIN CASTAÑEDA DOMÍNGUEZ*. El resultado presenta un índice de similitud del **NUEVE POR CIENTO (09%)**, siendo menor al límite establecido en el *Reglamento de la Unidad de Titulación*, y en consecuencia **APTO** para continuar con el proceso de titulación. Adjunto el documento completo revisado por el sistema Turnitin.

CastanedaDominguez - E1

INFORME DE ORIGINALIDAD

9%	8%	2%	%
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS


1	eias.utalca.cl Fuente de Internet	1%
2	qdoc.tips Fuente de Internet	1%

Particular que pongo a su conocimiento para fines pertinentes.

Atentamente;
DIOS, PATRIA, CULTURA Y DESARROLLO

Ing. ~~Cristóbal~~ Arturo Vintimilla Ulloa MSc.

RESPONSABLE UNIDAD DE TITULACIÓN
INGENIERÍA CIVIL SEDE AZOGUES


 <p>Universidad Católica de Cuenca</p>	<p>CERTIFICADO DE NO ADEUDAR LIBROS EN BIBLIOTECA</p>	<p>CÓDIGO: F – DB – 31 VERSION: 01 FECHA: 2021-04-15 Página 130 de 148</p>
---	--	--

El Bibliotecario de la Sede Azogues

CERTIFICA:

Que, **Byron Stalin Castañeda Domínguez** portador(a) de la cédula de ciudadanía N° **0302497789** de la Carrera de **Ingeniería Civil**, Sede Azogues, Modalidad de estudios presencial no adeuda libros, a esta fecha.

Cuenca, **02 de agosto del 2021.**



Sr. Byron Alonso Torres Romo
Bibliotecario

Biblioteca Universitaria
MONS. PROILAN POZO QUEVEDO

Byron Stalin Castañeda Domínguez portador(a) de la cédula de ciudadanía N° **0302497789**.

En calidad de autor/a y titular de los derechos patrimoniales del trabajo de titulación

“ESTIMACIÓN DE DATOS FALTANTES DE PRECIPITACIÓN EN LAS ESTACIONES METEOROLÓGICAS DE LA MICROCUENCA DEL RÍO TABACAY”

de conformidad a lo establecido en el artículo 114 Código Orgánico de la Economía Social de los Conocimientos, Creatividad e Innovación, reconozco a favor de la Universidad Católica de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos y no comerciales. Autorizo además a la Universidad Católica de Cuenca, para que realice la publicación de éste trabajo de titulación en el Repositorio Institucional de conformidad a lo dispuesto en el artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, **30 de julio de 2021**



Byron Stalin Castañeda Domínguez

C.I. 0302497789