

CAPÍTULO 1:

INTRODUCCIÓN

1.1. Generalidades.

El análisis climático necesita de la existencia de series temporales de datos meteorológicos continuos, homogéneos y que abarquen el máximo intervalo temporal posible. Una gran mayoría de esas series presentan vacíos de información debidos a diferentes causas: la interrupción de las lecturas, los fallos en los instrumentos de medida, errores asociados a cambios en las condiciones de medición, errores de transcripción, etc.

El presente trabajo aborda la temática de relleno de datos faltantes de precipitación y se incluye los diferentes métodos de cálculo para su determinación, análisis comparativo de los métodos, así como los procedimientos generales que se deben tener en cuenta al momento de realizar el relleno de datos faltantes. Finalmente proceder a explicar cómo debe ser el procedimiento de cálculo para el relleno de datos faltantes de precipitación mensual de acuerdo con los datos disponibles y mostrar, bajo este esquema de desarrollo, una aplicación práctica para su determinación.

Las metodologías de cálculo, presentan diferentes aproximaciones en la determinación del relleno de datos de precipitación que permiten evidenciar las diversas formas para su cálculo y la no unanimidad al respecto.

Los datos de medición a nivel diario y mensual se obtuvieron del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI), institución encargada en nuestro país para el manejo de información hidrológica y meteorológica. Se trabajó con estaciones meteorológicas de la región, que se utilizaron como referencia para la estimación de datos faltantes.

1.2. Antecedentes.

El 2012, la Consultora española Informes y Proyectos, S.A. (INYPSA) realizó el Estudio “Balance Hídrico Superficial de Bolivia”, a solicitud del Viceministerio de Recursos

Hídricos y Riego (VRHR), dependiente del Ministerio de Medio Ambiente y Agua (MMAyA) de BOLIVIA y con financiamiento de la Unión Europea.

La metodología seguida fue la tradicional en este tipo de estudios, consistente en estimar y calcular cada uno de los términos que intervienen en la ecuación del balance hídrico, introduciendo aspectos para la estimación de la precipitación y evapotranspiración, a partir de datos globales obtenidos mediante imágenes de satélite y calibrados con datos físicos, registrados en las estaciones climatológicas del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI) de este país. La metodología utilizada para completar datos de precipitación fue la siguiente:

Para completar los registros de una estación se recurre a los datos disponibles en estaciones que tienen un régimen similar de funcionamiento, o sea que pertenezcan a la misma zona climática.

Para el relleno de datos se utilizó el software Hidrometeorológico de Aportaciones y Crecidas (CHAC), desarrollado por el Centro de Estudios Hidrográficos (CEDEX) de España. El relleno se hizo a partir de un modelo de regresión bivariado con estandarización previa mensual de las series de datos (CORMUL). El completado de datos se ha realizado para el período 1998-99 hasta 2010-11 (MMAyA, 2016, pág. 55).

Otro antecedente que se tiene en nuestro país es del XVI CONGRESO BOLIVARIANO de ingeniería sanitaria, Medio Ambiente y Energías Renovables.

El artículo utiliza técnicas de regresión lineal y regresión múltiple para el relleno de vacíos en registros de series de precipitación mensual. Se evaluó dos softwares que contienen dentro sus algoritmos de rellenos de datos técnicas de regresión múltiple, Hydrologic Engineering Center (HEC 4), desarrollado por el cuerpo de ingenieros de los Estados Unidos, y Hidrometeorológico de Aportaciones y Crecidas (CHAC) desarrollado por el Centro de

Estudios Hidrográficos (CEH) del Centro de Experimentación de Obras Públicas, Ministerio de Infraestructuras de España (CEDEX). Posteriormente las series de precipitación mensual fueron desagregadas a nivel diario a partir de las matrices de correlación disponibles en los resultados de la herramienta HEC 4.

El área de estudio considerada en el presente trabajo corresponde a una parte de la cuenca del río Pilcomayo ubicada en los departamentos de Oruro, Potosí y Chuquisaca (Bolivia), dicho río es un tributario del río de la Plata. Los datos disponibles contienen registros de 68 estaciones meteorológicas y pluviométricas de las cuales 13 de ellas contienen registros largos, superiores a los 20 años; todos los registros aplicados fueron obtenidos del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI). Las estaciones de monitoreo, en su mayoría, se encuentran distribuidas en la parte media y baja de la cuenca.

Un análisis de comparación entre datos observado retirados aleatoriamente de las series a ser rellenadas y los rellenados por medio de las herramientas computacionales HEC 4 y CHAC, sugieren que la metodología aplicada por el HEC 4 obtiene resultados con menor dispersión en comparación a los obtenidos por el CHAC, en consecuencia, los mismos son confiables para su aplicación en un modelo de simulación hidrológica (Villazón y Callau, 2015, pág. 1).

1.3. Justificación de la investigación.

La situación actual sobre la información básica meteorológica, en este caso especial la precipitación, es fundamental debido a la falta de información sobre estaciones hidrométricas para la determinación de caudales que se constituye en un parámetro básico para el diseño de Obras Hidráulicas. Esta información en vez de mejorar en calidad y cantidad, al contrario, en los últimos años fueron cerradas numerosas estaciones y su calidad y cantidad es más deficiente.

La institución encargada a nivel nacional de administrar los datos hidrometeorológicos es el SENAMHI, el cual no cumple su función encomendada debido a sus limitantes de tipo financiero y técnico que hacen de la información sea inconsistente y de mala calidad.

En nuestro país no se cuenta con una base de información meteorológica amplia y muchas veces las estaciones pueden dejar de registrar información en algunos periodos de tiempo, debido a fallas en los instrumentos o por ausencia del observador. Esta información dejada de registrar puede ser indispensable, para el análisis de fenómenos que involucren la precipitación, por tanto, se han desarrollado distintos métodos para la estimación de la información pluviométrica faltante.

Distintos sectores técnico y académicos reconocen la preocupación que se tiene respecto a la información disponible y las alteraciones en el régimen de lluvias, para nuestra región especialmente los últimos años, el análisis de la variable climática, precipitación, se presenta como una herramienta útil en la orientación y prevención, así se podrá tomar medidas de forma oportuna para afrontar desastres naturales extremos.

Las precipitaciones registradas y disponibles son el insumo para la realización de estudios, investigaciones y manejo de la información que sirven para fundamentar la toma de decisiones en materia de recursos, costos de producción y política ambiental, entre otros. Es importante resaltar algunas limitaciones en cuanto a la disponibilidad de estos datos y en el caso específico de la información de precipitación, ya que su confiabilidad está en la continuidad y calidad en el registro de ellos, durante períodos mayores a 30 años.

Por otro parte, las estaciones meteorológicas además de presentar fallas, se encuentran distribuidas en toda el área del Departamento de Tarija de manera dispersa (no se cumple las normativas mínimas de densidad) sobre la cual se desean tomar las respectivas

mediciones, en la cual se presentan diferentes formas de relieve que varían las condiciones bajo las cuales se encuentran cada una de las estaciones y que influyen en las observaciones que estas recogen. En particular resulta importante comparar los distintos métodos de estimación encontrados en la literatura, según las condiciones en las que se encuentren las estaciones, ya que los métodos pueden verse influenciados por estas.

1.4. Planteamiento del problema.

1.4.1. Situación problemática.

La precipitación, es una variable climatológica de gran importancia en la hidrología, ya que es insumo fundamental para el cálculo de balances hídricos; la generación de alertas tempranas por riesgo de inundación o sequía; el estudio del régimen ambiental de caudales; y el diseño de Obras hidráulicas, por mencionar las más importantes. La medición de la precipitación tiene como propósito conocer su distribución en el espacio y en el tiempo. En la escala temporal, el registro de precipitación se estudia como una serie de tiempo horaria, diaria, mensual o anual, y su utilidad dependerá, en gran medida, de lo completa que este.

La mayoría de obras de ingeniería civil están influenciada por factores climáticos, entre los más destacados se encuentra las precipitaciones pluviales. El correcto dimensionamiento de las obras hidráulicas tiene que estar influenciado por las características climáticas de la región, esto garantiza la seguridad las obras y por lo tanto la seguridad de la población.

Las series climáticas se ven afectadas por la existencia de datos faltantes por ejemplo en interrupciones ocasionales de estaciones automáticas, mal funcionamiento del instrumento de medición, mal procesamiento, falta de criterio ingenieril o reorganizaciones de la red de monitoreo. Una manera de salir de esta dificultad es excluir los periodos con valores

incompletos del análisis de datos, o ignorar el problema si la cantidad de estos no es muy grande. No obstante, este tipo de soluciones generan problemas en la caracterización y modelación de las series de precipitación, generando una pérdida de confiabilidad en las conclusiones de dichos estudios.

Los resultados de cualquier modelo y análisis estadístico podrían deteriorarse cuando se utilizan registros incompletos como entrada en el análisis, por esto, la estimación de los datos faltantes se convierte en prioridad en el proceso de preparación de datos, que en conjunto con otras metodologías aplicadas dejan los datos listos para su respectivo análisis.

Actualmente se cuenta con varias metodologías para la solución del problema de los datos faltantes en series mensuales de precipitación, sin embargo, algunas de estas metodologías no presentan suficientes argumentos, para su validez o resultan ser mejores que otras para solucionar problemas específicos.

En este contexto, es de suma importancia evaluar métodos de estimación de datos faltantes en series de precipitación mensual, basados en la información que proporcionan estaciones meteorológicas cercanas; teniendo en cuenta la zona geográfica y el porcentaje de datos faltantes.

1.4.2. Problema.

¿Si se compara el desempeño de las metodologías de completado de datos faltantes de precipitación, a nivel mensual, podremos identificar y sugerir que método se adecua de manera más eficiente a cada zona pluviométrica del departamento de Tarija?

1.5. Objetivos.

1.5.1. Objetivo general.

Comparar el desempeño de las metodologías existentes de completado de datos faltantes de precipitación a nivel mensual, para identificar el mejor ajuste a cada zona pluviométrica (zona Central, zona Alta y Chaco) del departamento de Tarija.

1.5.2. Objetivos específicos.

- Realizar la zonificación de las estaciones en cada región en estudio del departamento de Tarija (zona Central, zona Alta y Chaco).
- Generar vacíos de información seleccionando, aleatoriamente, una muestra de los datos por estación.
- Aplicar los distintos métodos de completado de datos faltantes de precipitación a las estaciones en estudio.
- Comparar la calidad de estimación de las precipitaciones obtenidas en cada método con las precipitaciones reales.

1.6. Hipótesis.

Al comparar el desempeño de las metodologías de completado de datos faltantes de precipitación, a nivel mensual, se señala que los métodos multivariantes son los que mejor se adecuan a las estaciones pertenecientes a las zonas pluviométricas del departamento de Tarija, de acuerdo a las pruebas estadísticas, estos métodos tienen valores superiores al 0,85 en la prueba de coeficiente de correlación, además en el test de Bland-Altman el valor de las diferencias promedio son muy cercanas a 0 y se tiene intervalos de confianza con rangos pequeños, lo que indica la gran precisión de estos métodos y la poca dispersión de sus resultados.

1.7. Diseño metodológico.

Diseño de la investigación.

Dado que el objetivo del estudio será analizar las distintas metodologías de completado de datos de precipitación, se recurrió a un diseño cuantitativo, considerando que es importante obtener conclusiones estadísticas, se procedió a realizar una investigación tipo descriptivo para conocer a detalle el comportamiento de los métodos en las distintas zonas pluviométricas de Tarija.

De acuerdo a Tamayo (2007), la metodología cuantitativa "utiliza la recolección y el análisis de datos para contestar preguntas de investigación y probar hipótesis establecidas previamente, y confía en la medición numérica, el conteo y frecuentemente el uso de estadística para establecer con exactitud patrones de comportamiento en una población."

Enfoque de la investigación

El presente trabajo será diseñado bajo el planteamiento metodológico del enfoque cuantitativo, debido a que este es el que mejor se adapta a las características y necesidades de la investigación.

El enfoque cuantitativo utiliza la recolección y el análisis de datos para contestar preguntas de investigación y probar hipótesis establecida previamente, y confía en la "medición numérica, el conteo y frecuentemente en el uso de la estadística para establecer con exactitud patrones de comportamientos en una población" (Hernández, Fernández y Baptista, 2003, p.5).

Población.

La población se define como "un conjunto de todos los elementos que estamos estudiando, acerca de los cuales intentamos sacar conclusiones" (Levin y Rubin, 1996, p. 20).

La población de estudio estará conformada por los datos de precipitación mensual de las estaciones pertenecientes a las zonas pluviométricas del departamento de Tarija.

Técnicas de recolección de datos.

Falcón y Herrera (2005), se refiere a la técnica de recolección de datos como "el procedimiento o forma particular de obtener datos o información, la aplicación de una técnica conduce a la obtención de información, la cual deber ser resguardada mediante un instrumento de recolección de datos" (p. 12).

La técnica de recolección de datos que se utilizará en la presente investigación será la cuantitativa.

La recolección de datos cuantitativos implica el uso de números para evaluar la información. Las técnicas cuantitativas operan con números que son analizados con análisis estadísticos, para probar hipótesis y realizar un seguimiento de la fuerza y dirección de los efectos.

Instrumentos de recolección de datos

Un instrumento de recolección de datos es en principio:

Cualquier recurso de que pueda valerse el investigador para acercarse a los fenómenos y extraer de ellos información. De este modo el instrumento sintetiza en si toda la labor de la investigación, resume los aportes del marco teórico al seleccionar datos que corresponden a los indicadores y, por lo tanto, a las variables utilizadas. (Sabino, 1992, p. 88)

El instrumento será el análisis de contenido, en este caso se analizará los datos de precipitación mensual de las estaciones de las zonas pluviométrica de Tarija.

Técnica de procesamiento de datos.

La técnica que se utilizará en el procesamiento de los datos será la estadística descriptiva que consiste en “un conjunto de procedimientos que tienen por objeto presentar masas de datos por medio de tablas, gráficos y medidas de resumen” (Aula fácil, 2000, primer párrafo).

Herramientas para el procesamiento de datos.

El instrumento, es un mecanismo que utiliza el investigador para generar información, para llevar a cabo la tabulación de datos que se obtendrán por la recolección de datos de precipitación mensual de las estaciones de las zonas pluviométricas de Tarija, se utilizara el programa Microsoft Office Excel, el programa Hidrometeorológico de Aportaciones y Crecidas (CHAC), Hydrologic Engineering Center (HEC 4) y el programa Hydraccess.

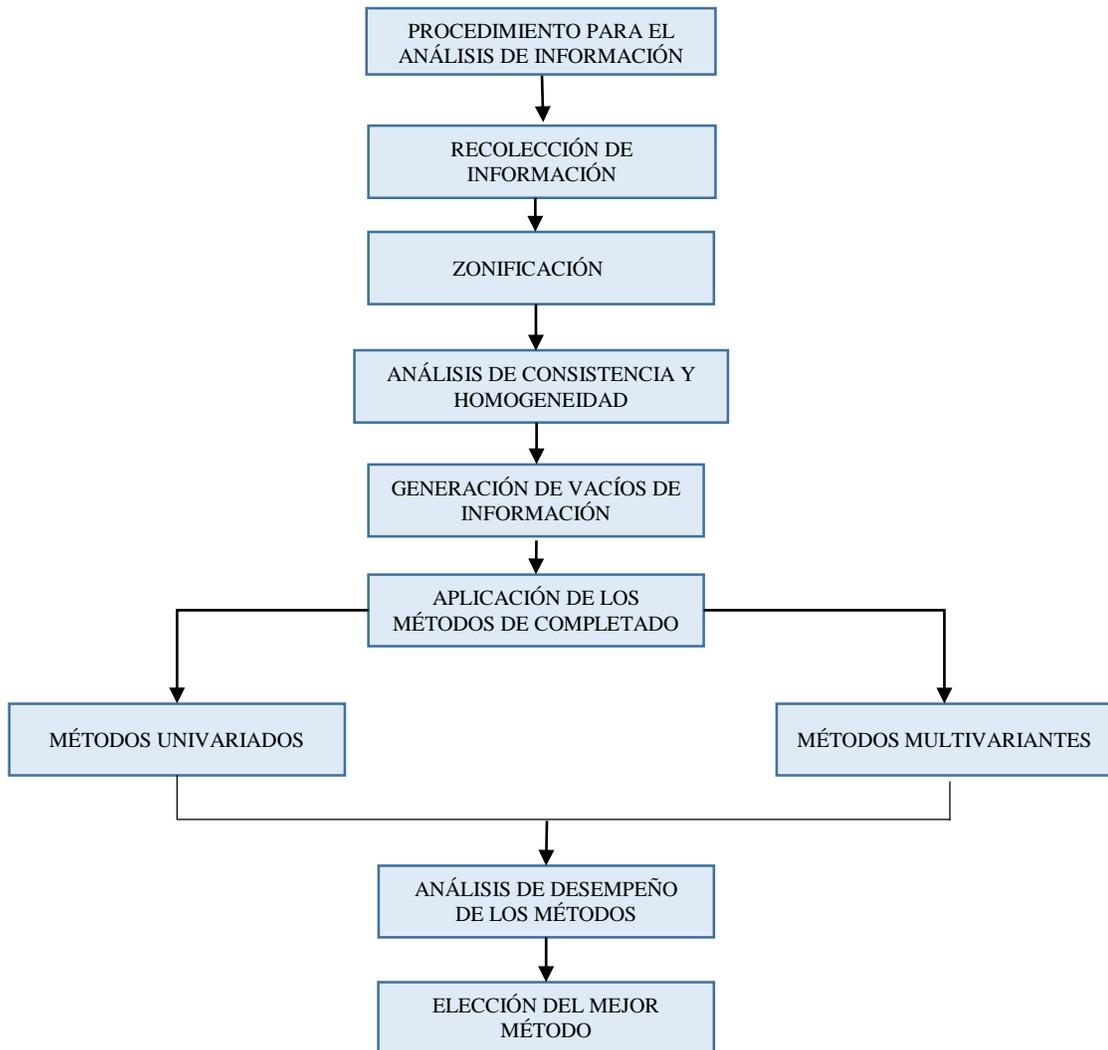
Alcance del trabajo.

Dentro del estudio “Análisis de metodologías de completación de datos faltantes de precipitación” se realizará:

- Recolección de datos de precipitación mensual, de las estaciones de Tarija, datos extraídos de la base de datos del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI).
- Análisis de datos de precipitación mensual.
- Estimación de datos faltantes de precipitación mensual, mediante métodos univariados y multivariantes.
- Comparación de los métodos aplicados, para establecer el que tiene un mejor desempeño.

Figura 1

Procedimiento de análisis de información



Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO 2:

MARCO TEÓRICO

2.1. Régimen pluvial.

El régimen pluvial en el Departamento de Tarija está definido por dos periodos bien diferenciados, el lluvioso y el seco. El periodo lluvioso, que se presenta de noviembre a abril, es donde se concentra del 85 al 95 % del total de la precipitación anual. El periodo seco, (mayo a octubre), en el cual los meses de mayo a agosto, tienen una precipitación muy reducida o nula, se presenta generalmente en forma de lloviznas, especialmente en la región del subandino.

El relieve o la orografía, es un factor muy importante en la circulación regional de las masas de aire, observándose que las serranías del Aguaragüe (1400 a 1900 m.s.n.m.), El Cóndor (2800 a 3400 m.s.n.m.) y Sama (3800 a 4600 m.s.n.m.), que tienen una dirección sur, paralela y distante 85 km entre la serranía del Aguaragüe y El Cóndor y 45 km entre ésta y la de Sama; son las serranías con mayor influencia y son determinantes, para la distribución espacial de las precipitaciones. Las precipitaciones más altas se encuentran en las laderas de las serranías expuestas a los vientos del sur-este, con disminución significativa hacia el oeste por el efecto de barrera que ejercen las serranías. Se observa también que la cantidad de lluvia es mayor en el sur, disminuyendo hacia el norte, donde se encuentran los sectores más secos, ubicados generalmente detrás de las serranías o de la parte no expuesta a los vientos predominantes (Vacaflores, 2008, pág. 33).

2.2. Zonas pluviométricas.

La zona pluviométrica, desde el punto de vista físico, es aquella área en la cual se presentan lluvias de características prácticamente iguales.

El límite físico de las zonas (en éste caso), se define considerando fundamentalmente la orografía, o sea, se toma como límite el filo de las serranías del Cóndor y el de Sama, que proporcionan la separación más clara entre las zonas, sin embargo, se hace notar que dichos

límites solo son indicativos para fines de cálculo, puesto que en la realidad éstos están constituidos por franjas de transición.

Desde el punto de vista estadístico, si se tiene un número de estaciones, se dice que pertenecen a la misma zona pluviométrica si los valores de la varianza de cada una de las series varían al azar alrededor de un único valor, de tal manera que las diferencias que se puedan dar, son menores al error del muestreo.

Los valores de la varianza deducidos para cada una de las estaciones pluviométricas, fueron ordenados de menor a mayor y se definieron intervalos de clase entre los que varía éste parámetro; observándose luego la localización de éstos en un mapa del departamento, donde se presenta una agrupación según los intervalos de clase definidos. Análisis que indujo al planteamiento de la hipótesis que existen tres zonas pluviométricas, cuyas pruebas de adecuación Chi-cuadrado con el 95% de probabilidad del ajuste, se muestran en la tabla 1 a 3 (Vacaflores, 2008, pág. 34).

Tabla 1

Datos de estaciones pluviométricas-Zona 1

Nº	Estación	Datos de precipitación de las estaciones pluviométricas, en mm			Nº Años	Parámetros ley logarítmico normal		
		Media	Máxima	Mínima		Media	Desviación	Varianza
1	Calderillas	1249,7	1758,7	664,2	35	3,08	0,1	0,01
2	Canasmoro	584,6	797,3	463	29	2,77	0,06	0,004
3	Canchasmayu	925,6	1328	587,7	24	2,96	0,09	0,007
4	Ce.Na.Vit.	443,1	591,2	309,3	17	2,64	0,09	0,007
5	Chocloca	641,5	940,6	437,3	29	2,79	0,08	0,007
6	Coimata	732,1	917	408,2	23	2,85	0,09	0,007

7	Gamoneda	517,1	690,9	327,1	21	2,7	0,09	0,008
8	Junacas	562,7	790,5	302	21	2,73	0,11	0,011
9	Juntas	711,9	1061	417,5	28	2,84	0,09	0,009
10	La Angostura	344,3	434,2	200	13	2,52	0,1	0,01
11	Laderas Centro	394,5	572,2	271,8	21	2,58	0,09	0,008
12	Padcaya	646,5	972	399	30	2,8	0,09	0,008
13	Pampa Redonda	903,9	1357	636,5	29	2,95	0,09	0,008
14	Pinos Sud	1165,3	1668	766,8	37	3,06	0,07	0,005
15	San Andrés	1057,9	1436,6	663	37	3,01	0,09	0,008
16	San Jacinto Sud	555,1	876	338,2	38	2,73	0,09	0,009
17	San Nicolás	491,5	597,8	328	15	2,67	0,06	0,004
18	Sella Quebradas	613,9	835,5	486,1	17	2,78	0,06	0,003
19	Tarija AASANA	595,8	845,6	347,5	55	2,77	0,08	0,007
20	Tarija-El Tejar	617,9	829,3	427,4	32	2,78	0,07	0,005
21	Tolomosa	773	1072,1	524,9	30	2,88	0,08	0,006
22	Trancas	807	1069,1	486,1	19	2,87	0,08	0,007
23	Yesera Norte	670,5	940,3	444,5	29	2,82	0,08	0,006
Promedio ponderado								0,0075

Fuente: Vacaflores, 2008

Tabla 2

Datos de estaciones pluviométricas-Zona 2

N°	Estación	Datos de precipitación de las estaciones pluviométricas, en mm			N° Años	Parámetros ley logarítmico normal		
		Media	Máxima	Mínima		Media	Media	Máxima
1	Copacabana	313,9	579	185	28	2,48	0,13	0,019
2	El Molino Tomayapo	472	747,7	288,1	22	2,65	0,13	0,016
3	Sama Cumbre	740,9	1173,8	339,4	17	2,84	0,15	0,022

4	Sama Iscayachi	423,3	599,6	169,8	11	2,6	0,16	0,026
5	San Antonio Iscayachi	363,3	610,7	158,2	15	2,54	0,15	0,023
6	Tojo	332,2	527	209,9	15	2,5	0,11	0,013
7	Tomayapo Pueblo	235,6	443,2	96,6	22	2,33	0,16	0,026
Promedio ponderado								0,0209

Fuente: Vacaflores, 2008

Tabla 3

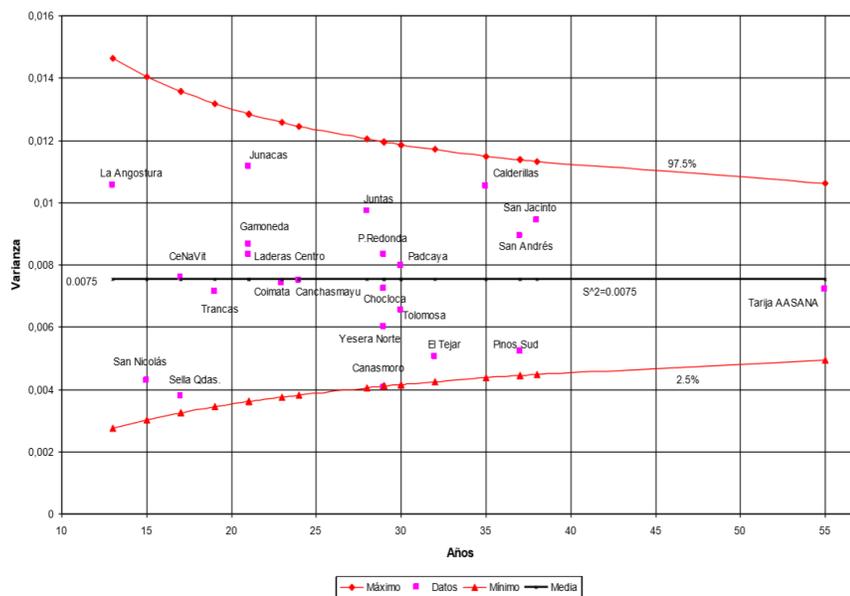
Datos de estaciones pluviométricas-Zona 3

N°	Estación	Datos de precipitación de las estaciones pluviométricas, en mm			N° Años	Parámetros ley logarítmico normal		
		Media	Máxima	Mínima		Media	Media	Máxima
1	Aguaraycito	717,8	1287,5	453,2	7	28,72	0,14	0,021
2	Algarrobillas	745	1213,4	474,1	14	28,68	0,12	0,015
3	Bermejo	1159,7	2301,5	625,3	33	30,63	0,11	0,013
4	Emborozú	2192,8	3186,4	1647,6	14	33,28	0,09	0,008
5	Entre Ríos	1134	1672	600,8	20	30,49	0,1	0,011
6	Guandacay	1089,8	1751,4	653,8	21	30,57	0,14	0,02
7	Itaú	961,5	1490,3	453,6	18	29,57	0,13	0,019
8	La Merced	598,8	796	417,5	7	27,64	0,09	0,008
9	Narváez	1161,8	1533,4	715,3	27	30,57	0,08	0,007
10	Palmar Chico	1084	1528,7	696,5	27	30,27	0,1	0,01
11	Palmar Grande	778,9	1032,1	495,5	18	28,97	0,08	0,007
12	Palos Blancos	665,2	1102,7	300,3	27	28,01	0,14	0,02
13	Sachapera	991,6	1651,1	578,2	25	2,98	0,12	0,014
14	Salinas	1275,7	1943,1	898,9	17	30,95	0,09	0,009
15	Villamontes	890,8	1226,7	343,9	24	29,07	0,13	0,017
16	Yacuiba	1078,8	1745	625,5	37	30,13	0,13	0,015

Fuente: Vacaflores, 2008

Figura 2

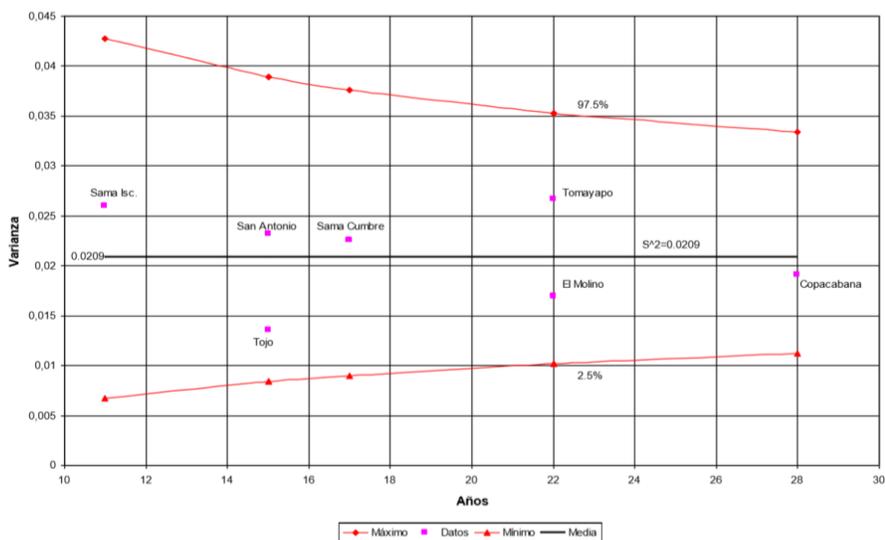
Prueba de Chi Cuadrado Zona 1



Fuente: Vacaflores, 2008

Figura 3

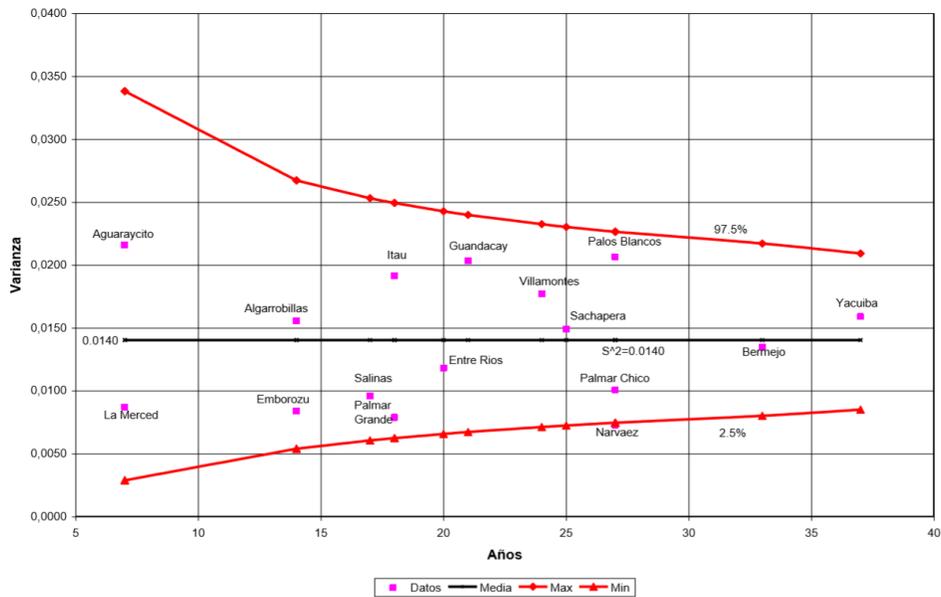
Prueba de Chi Cuadrado Zona 2



Fuente: Vacaflores, 2008

Figura 4

Prueba de Chi Cuadrado Zona 3



Fuente: Vacaflores, 2008

Las zonas así definidas se caracterizan por los valores de las varianzas, que fueron calculadas como una media ponderada de las varianzas de cada una de las estaciones de la zona, valores que se presentan en la tabla 4.

Tabla 4

Zonas pluviométricas del departamento de Tarija

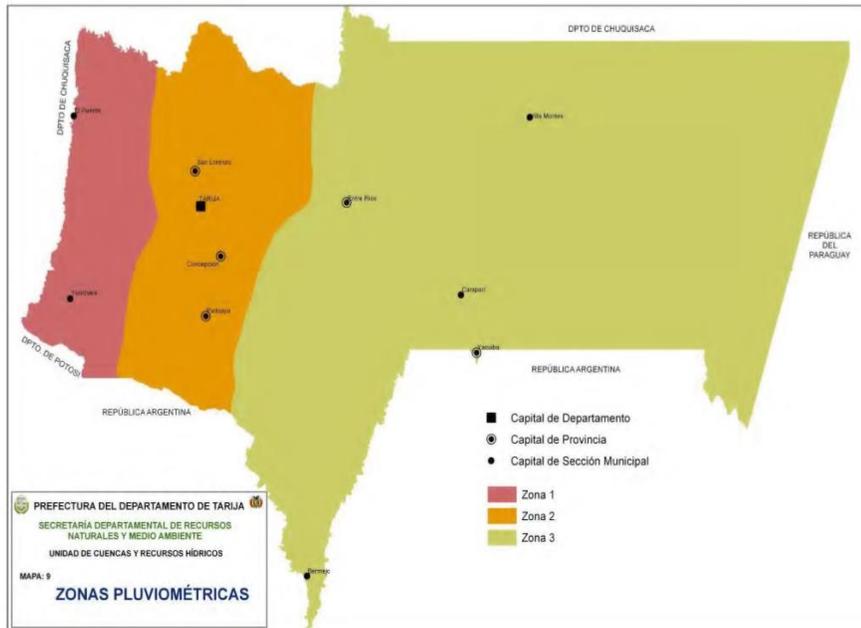
Zona	Varianza	Localización
1	0,007	Zona central
2	0,020	Zona alta
3	0,014	Subandino y Chaco

Fuente: Vacaflores, 2008

Representación gráfica de las zonas pluviométricas del departamento de Tarija:

Figura 5

Zonas Pluviométricas del Departamento De Tarija



Fuente: Vacaflores, 2008

2.3. Medición de la precipitación

2.3.1. Estaciones meteorológicas

Una estación meteorológica es el lugar donde se realizan mediciones y observaciones puntuales de los diferentes parámetros meteorológicos utilizando los instrumentos adecuados para así poder establecer el comportamiento atmosférico.

Las observaciones se realizan en lugares establecidos, donde es necesario contar con datos meteorológicos para una o varias finalidades, ya sea en tiempo real, en tiempo diferidos o ambos. Estos lugares deben reunir determinadas condiciones técnicas normalizadas y se los denomina "estaciones meteorológicas". Como se puede observar una estación meteorológica puede tener diferentes fines, dependiendo de los propósitos para los cuales fue instalada

De acuerdo a lo establecido por la Organización Meteorológica Mundial (OMM), las estaciones meteorológicas se clasifican de acuerdo a la tabla 5.

Tabla 5

Clasificación de Estaciones Meteorológicas Según OMM

Según su finalidad	Clasificación
Sinóptica	Climatológica
	Agrícolas
	Especiales
	Aeronáuticas
	Satélites
De acuerdo a la magnitud de las observaciones	Principales
	Ordinarias
	Auxiliares o adicionales
Por el nivel de observación	Superficie
	Altitud
Según el lugar de observación	Terrestres
	Aéreas
	Marítimas

Fuente: Moreno, 2016

2.3.2. Mediciones puntuales.

La lluvia se mide con dos tipos de instrumentos: medidores sin registro (pluviómetros) y medidores con registro (pluviógrafos). En realidad, cualquier recipiente es conveniente para medir la lámina total de la lluvia caída durante una tormenta. Sea esta de cualquier duración y simplemente midiendo con una regla la altura de la lluvia caída, pero debido a las variaciones que se pueden producir por efectos diversos (viento, influencia del

tamaño y forma del recipiente) y a la necesidad de estandarizar la medida se han establecido medidores estándar.

En cuanto a los pluviógrafos los hay de distinto tipo y todos registran en papel o digitalmente la lluvia caída y sus variaciones a través del tiempo. Debido a la importancia de este dato, se debe tener especial cuidado en la elección del sitio para la instalación del aparato de medición, en cuanto a su facilidad de acceso, como de evitar factores que distorsionan la medición como cercanías de árboles o edificios y cumplir las normas que se han establecido (Fattorelli y Fernandez, 2011, pág. 66).

2.3.2.1. Pluviómetro.

Instrumento que sirve para medir las cantidades de precipitación (altura de lámina de agua llovida); el periodo de tiempo empleado para hacer la medición por lo general es un día. El agua recogida por el pluviómetro es conducida por un embudo hacia un recipiente interior llamado colector. La medición de la precipitación recogida se la realiza mediante una probeta graduada en mm en la que se vierte el agua almacenada en el colector (Oñate, 2014, pág. 21).

2.3.2.2. Pluviómetros estándar.

El pluviómetro ordinario utilizado para las mediciones diarias suele ser un colector situado sobre un embudo que se vacía en un recipiente. El diámetro de la boca del colector no es importante. En algunos países se utiliza una superficie receptora de unos 1 000 cm², aunque entre 200 y 500 cm² será probablemente un tamaño más práctico. Es conveniente que el área del receptor sea igual a la décima parte del área del colector. Los requisitos más importantes exigibles a un pluviómetro son:

- a) El borde del colector debería ser en arista, descendiendo verticalmente en la parte interior, y acentuadamente biselado en el exterior.

- b) El área de la abertura debería conocerse con una precisión de 0,5 por ciento, y el medidor estará construido de modo que esa superficie permanezca constante.
- c) El colector estará diseñado de modo que impida las salpicaduras desde dentro y desde fuera. Para ello, la pared vertical debería ser suficientemente profunda y la inclinación del embudo suficientemente pronunciada (como mínimo, 45°).
- d) El cuello del recipiente debería ser estrecho y estar suficientemente protegido contra la radiación para minimizar las pérdidas de agua por evaporación (Comisión de Hidrología (CHi), 2008, pág. 95).

2.4. Análisis de los datos pluviométricos.

Las precipitaciones en altura de agua medidas con pluviómetros varían de un lugar a otro y en un mismo lugar, de un tiempo a otro. Estas medidas constituyen un conjunto numeroso de datos, que es necesario analizar y sintetizar en unos pocos valores más manuales y fáciles de utilizar en proyectos hidráulicos. Se recurre para ello a la estadística escogiendo un modelo matemático que represente el comportamiento de la lluvia en el lugar en estudio.

El manejo estadístico de la información pluviométrica, es decir el estudio de su comportamiento según un modelo matemático, sólo es posible realizarlo cuando la información reúne estos tres requisitos: es completa, consistente y de extensión suficiente. Es por eso que, una información pluviométrica antes de ser estudiada en su comportamiento debe ser revisada en estos tres aspectos, en la forma cómo se describe enseguida (Chereque, 1989, pág. 19).

2.4.1. Estimación de datos faltantes.

Frecuentemente se halla uno con que faltan datos en los registros de lluvias. Esto se debe a ausentismo del operador o a fallas instrumentales.

Se llama correlación a la operación o procedimiento por medio del cual se completan los datos faltantes. Para ello se utilizan los datos de estaciones índices, que sí tienen los datos completos y que se seleccionan de modo que estén lo más cerca posible y sean de altitud parecida a la estación en estudio.

Distancia y altitud son pues los factores principales para la selección de las estaciones índice (Chereque, 1989, pág. 21).

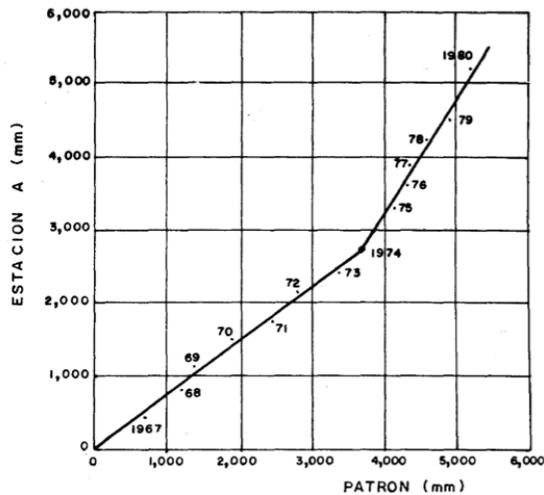
2.4.2. Análisis de consistencia.

Cualquier cambio en la ubicación como en la exposición de un pluviómetro puede conllevar un cambio relativo en la cantidad de lluvia captada por el pluviómetro. El registro completo publicado representará condiciones inexistentes. Un registro de este tipo se dice que es inconsistente.

Una forma de detectar las inconsistencias es mediante las curvas doble másicas. Una curva doble másica se construye llevando en ordenadas los valores acumulados de la estación en estudio y en abscisas los valores acumulados de un patrón, que consiste en el promedio de varias estaciones índice.

Figura 6

Curva doble másica para análisis de consistencia de estaciones



Fuente: Chereque, W. 1989

A veces un cambio pequeño en la ubicación del pluviómetro, de sólo unos cuantos metros, puede afectar su exposición y provocar inconsistencias en el registro. Además, aunque el pluviómetro no cambie de ubicación su exposición puede verse afectada por el crecimiento de vegetación cercana, o por la construcción de edificios en los alrededores. (Chereque, 1989, pág. 26).

2.4.3. Extensión del registro.

El tercer requisito para que un registro pluviométrico sea sometido a análisis probabilístico es que sea de extensión suficiente. No es posible precisar cuántos años debe tener un registro pluviométrico. Es evidente, sin embargo, que cuanto mayor extensión tenga es mejor. En la práctica se presentan estaciones con muy pocos años, las mismas que pueden extenderse sólo unos cuantos años también (Chereque, 1989, pág. 27).

2.5. Métodos de completado de datos faltantes de precipitación.

2.5.1. Métodos univariados.

Los métodos de completado univariados reciben este nombre porque para completar las lagunas existentes en una serie se utilizan los datos de una única serie y en este caso particular los datos de la misma serie que se quiere completar.

Una vez estudiada la autocorrelación de la serie, las lagunas que presenta se pueden sustituir básicamente a través de una serie de métodos sencillos, que se explican detalladamente más adelante, los cuales son los siguientes:

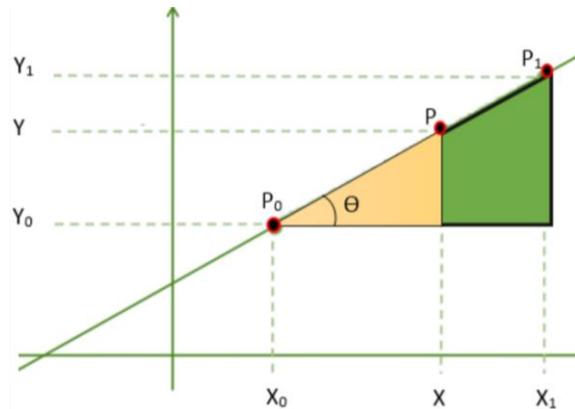
- lineal
- Criterio del valor medio
- Media móvil
- Diferencias promedio

2.5.1.1. Lineal.

Este método sustituye la falta de un dato por el valor correspondiente al registro en la escala temporal (anterior + posterior) /2. Este método es de esperar que sea más útil para escalas temporales reducidas, que para escalas mensual y anual y para series que no tengan un ciclo muy marcado en la escala de estudio (Chura, 2019, pág. 5).

Figura 7

Método lineal de relleno de datos faltantes de precipitación



Fuente: Chura, 2019

2.5.1.2. Criterio del valor medio.

Este método consiste en sustituir la carencia de un registro por el valor medio de la serie, o del mes en cuestión si se trata de valores mensuales. Si la serie que se está completando es una serie estacionaria, este método produce un efecto perturbador mínimo o muy pequeño, en magnitud, frente a las anomalías de la variable (Chura, 2019, pág. 6).

$$\bar{x} = \frac{\sum X_j}{n} \quad (1)$$

Donde: \bar{x} : media aritmética

X_j : observaciones de la serie

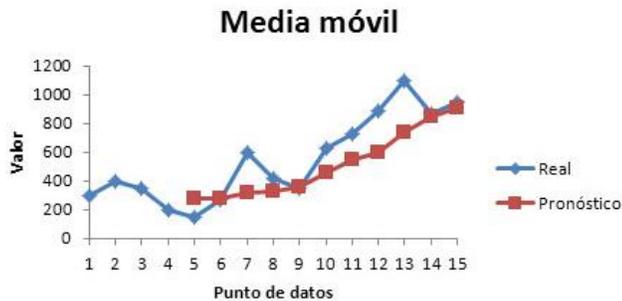
n : número total de datos

2.5.1.3. Media móvil.

El método de la Media Móvil consiste en sustituir la falta de un registro por el valor del promedio de orden N (Chura, 2019, pág. 8).

Figura 8

Método media móvil de relleno de datos faltantes de precipitación



Fuente: Chura, 2019.

2.5.1.4. Criterio de las diferencias

Consiste en sustituir la falta de un registro mensual por el valor del mes anterior, añadiendo el valor medio de las diferencias entre el mes anterior y el mes en cuestión (Chura, 2019, pág. 19).

2.5.2. Métodos multivariantes.

Aplicados a una única variable meteorológica Los métodos incluidos en este apartado tienen en cuenta para rellenar los datos de una serie de una cierta variable meteorológica medida en un observatorio, series de la misma variable, pero medida en diferentes observatorios. Los métodos que se engloban dentro de este grupo son los que aparecen a continuación:

- Criterio de Karl (Karl y Williams, 1987)
- Razón o ratio normal (Paulus y Kohler, 1952)
- Combinación lineal ponderada (CLP)
- Criterio de la correlación lineal
- Criterio de la correlación ortogonal
- Correlación múltiple (CORMUL)

- Método del vector regional
- Relación lineal múltiple

2.5.2.1. Criterio de Karl (Karl y Williams, 1987).

Es un método que consiste en sustituir la carencia de un registro en una estación dada por el valor correspondiente de otra estación vecina (estación próxima a la estación problema) que presente un alto índice de correlación lineal (Barrera Escoda, 2004, pág. 27).

2.5.2.2. Razón normal (Paulus y Kohler, 1952).

Este método consiste en calcular el dato incompleto, $x(t)$, de una serie a partir de los datos de las series de tres estaciones vecinas y contemporáneas, que presenten un alto grado de correlación con la serie a completar, a través de la expresión:

$$x(t) = \frac{1}{3} \left[\frac{\bar{x}}{\bar{x}_1} x_1(t) + \frac{\bar{x}}{\bar{x}_2} x_2(t) + \frac{\bar{x}}{\bar{x}_3} x_3(t) \right] \quad (2)$$

Donde: \bar{x} : es la media de la variable en cuestión de la serie incompleta.

$\bar{x}_1, \bar{x}_2, \bar{x}_3$: medias de las tres series vecinas, respectivamente.

$x_1(t), x_2(t), x_3(t)$: datos correspondientes a las series vecinas, respectivamente.

Este método juega con la variabilidad registrada en otras estaciones y con la razón proporcional entre ellas. Al ser tres estaciones se suaviza la influencia que podría tener un error en una de ellas (Barrera Escoda, 2004, pág. 28).

2.5.2.3. Combinación lineal ponderada (CLP).

El método consiste en sustituir la falta de datos a partir de los datos de series estadísticamente próximas, que son conocidas como vecinas. De tal manera que cada dato incompleto se obtiene mediante la combinación lineal ponderada de los datos de las series

que se van a utilizar para el completado. Dichos datos tienen un peso en el CLP proporcional al coeficiente de correlación de Pearson con la serie incompleta, siempre que éste sea superior a un valor crítico aceptable.

Por lo tanto, se tiene que para un mes t determinado, el dato incompleto $x(t)$ se puede expresar como:

$$x(t) = \frac{r_1 * x_1(t) + r_2 * x_2(t) + r_3 * x_3(t) + \dots}{r_1 + r_2 + r_3 + \dots} \quad (3)$$

Donde: r_1 : coeficiente de correlación de Pearson entre la serie i -ésima y la serie incompleta.

$x_i(t)$: valor del instante t de la serie i -ésima.

El número de series que se utilizan para el completado es arbitrario en principio. El valor que se suele coger está en torno a cinco y nunca inferior a dos (Chura, 2019, pág. 12).

2.5.2.4. Criterio de la correlación lineal.

Este método consiste en el cálculo de los valores inexistentes por el ajuste, a través del método de los mínimos cuadrados, de una recta de regresión lineal del tipo $y = a \cdot x + b$; entre dos estaciones: una incompleta, cuya serie es la variable dependiente (y), y otra completa que proporciona la variable independiente (x) de la cual depende la anterior.

La base teórica del cálculo admite como hipótesis de partida que entre las dos series a comparar existe una correlación apreciable, de tal modo que las variaciones que se producen en ambas son similares. Esto quiere decir que la estación que se utiliza de referencia presenta un coeficiente de correlación lineal lo más cercano posible al valor 1. El coeficiente de correlación lineal que se calcula es el de Pearson.

Para que el ajuste sea correcto se han de cumplir una serie de requisitos como son:

- a) La existencia de un número de años comunes en ambas series.

- b) La proximidad geográfica de los observatorios es necesaria, pero no suficiente, debido a las modificaciones que pueden introducir los factores locales del clima.
- c) Comprobación de que la nueva serie resultante aporta un incremento a la información original (Barrera Escoda, 2004, pág. 30).

Incremento de la información hidrológica por regresión

$$\bar{x} = \frac{\sum x_j}{n} \quad (4)$$

$$\bar{y} = \frac{\sum y_j}{n} \quad (5)$$

$$s_x^2 = \frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n - 1} \quad (6)$$

$$s_y^2 = \frac{\sum (y_i - \bar{y})^2}{n - 1} \quad (7)$$

$$s_{xy} = \frac{\sum (x_i - \bar{x}) \sum (y_i - \bar{y})}{n - 1} \quad (8)$$

$$m = \frac{s_{xy}}{s_x^2} \quad (9)$$

$$y = mx + b \quad (10)$$

$$b = \bar{y} - m\bar{x} \quad (11)$$

Donde: \bar{x} : media aritmética de la variable x

\bar{y} : media aritmética de la variable y

x_i : observaciones de la serie x

y_i : observaciones de la serie y

s_x^2 : varianza de la serie x

s_y^2 : varianza de la serie y

s_{xy} : covarianza

m: pendiente de la recta

b: ordenada al origen

n: número total de datos

2.5.2.5. Criterio de la correlación ortogonal

Para su desarrollo es necesario elaborar una gráfica con las parejas de datos existentes conservando la misma escala en los dos ejes y representado con símbolos diferentes cada año. La recta que se ajusta a la nube de puntos o recta de regresión tiene la particularidad de que la suma de los cuadrados de las distancias de cada punto a la recta es un valor mínimo, pudiéndose recurrir, para el cálculo de la ecuación, al método de los cuadrados, las distancias son medidas perpendicularmente del punto a la recta (Oñate, 2014, pág. 28).

Ecuación base del método:

$$\lambda^2 - (s_x^2 + s_y^2)\lambda + (s_x^2 s_y^2 - (s_{xy})^2) = 0 \quad (12)$$

$$\lambda_1 > \lambda_2 > 0$$

$$m = \frac{s_{xy}}{\lambda_1 - s_y^2} \quad (13)$$

Donde: λ : coeficiente

2.5.2.6. Correlación múltiple (CORMUL)

Este método es válido para series homogéneas y tal que la autocorrelación temporal de los datos sea baja. Se utilizan los datos de series que presenten una alta correlación con la serie de datos que se quiere completar. Cuanto mayor sea el número de series, menor será la sensibilidad al error en una de ellas. El caso más sencillo de aplicar es en el que se escogen dos series de referencia (caso particular de la regresión bivariada).

Una vez elegidas las estaciones por su correlación con la dada y por su disponibilidad de datos, se ajusta la ecuación de regresión. En el momento de rellenar un dato se debe elegir aquella pareja de estaciones que proporcione el completado más satisfactorio. El criterio que se debe seguir para realizar tal elección se basa en la formación de una matriz de priorización para cada estación a completar, función de los coeficientes de correlación múltiple entre las series normalizadas y del número de datos comunes entre las tres estaciones (la pareja que se utiliza en el completado y la serie incompleta que se quiere rellenar) (Barrera Escoda, 2004, pág. 31).

2.5.2.7. Método del vector regional

Método de cálculo orientado a tres tareas definidas: la crítica de datos, la homogenización y la extensión-completación de datos de precipitación. El vector regional elabora una estación ficticia (vector), que sea una especie de "promedio" de todas las estaciones de la zona. El vector se calcula bajo el concepto de precipitación media extendida, salvando los problemas del peso de las estaciones más lluviosas sobre las menos lluviosas. Se emplea el método de mínimos cuadrados para encontrar los índices pluviométricos regionales anuales Z_i y la precipitación media extendida P_j , esto se logra al minimizar la expresión:

$$\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M M \left(\frac{P_{ij}}{P_j} - Z_i \right) \quad (14)$$

Dónde: i: es el índice del año

j: es el índice de la estación.

N: es el número de años

M: es el número de estaciones.

P_{ij} : es la precipitación anual en la estación j el año i.

P_j : es la precipitación media extendida al período de N años.

Z_i : es el índice pluviométrico regional del año i (Luna R. y Lavado C., 2015, pág. 48).

2.5.2.8. Método regresión lineal múltiple

Los programas HEC 4 y CHAC permiten la utilización de esta técnica para el completado de registros de precipitación mensual, el primero, utiliza una matriz de correlación de un grupo de 6 estaciones para el completado de datos faltantes utilizando también el mes precedente, cada grupo debe contener al menos una de las estaciones con periodos de registros largos para una mayor confiabilidad en el completado realizado.

El CHAC, utiliza dos parámetros estimados por el usuario para el completado de datos, el exponente de priorización y el umbral de priorización, ambos parámetros son aplicados en los algoritmos, es recomendable que el exponente de priorización sea lo más alto posible ya que se encuentra relacionado al coeficiente de correlación de las estaciones a ser analizadas, a su vez, el umbral de priorización es el valor que no se debe bajar para no acumular errores en los datos que se completan (Villazón y Callau, 2015, pág. 4).

CAPÍTULO 3:

METODOLOGÍA

En este capítulo se propone la metodología para la comparación de métodos de estimación de datos faltantes de series de precipitación mensual en el departamento de Tarija, en diferentes escenarios y usando diferentes metodologías de estimación.

Teniendo en cuenta que el objetivo de este trabajo es evaluar los métodos a emplear para llevar a cabo la estimación de datos faltantes, se hace necesario involucrar diferentes escenarios de altura de las estaciones climatológicas que toman las mediciones de la precipitación mensual que se presenta en el departamento de Tarija, dado que las formas de relieve influyen en las condiciones climatológicas de la zona lo que implica un comportamiento diferente en la variable de análisis (precipitación) de acuerdo a la zona en que se mida y que permitan comparar los métodos según estas condiciones.

Por lo que en este estudio se propone un período artificial de datos faltantes del 20% para evaluar y comparar los métodos de estimación.

3.1. Datos de estudio

Se cuenta con datos de precipitación (mm) mensual en el departamento de Tarija con registros de aproximadamente 78 estaciones meteorológicas.

El comportamiento de la precipitación se encuentra determinado con respecto a la posición geográfica y las características que esto implica, por lo cual las estimaciones de los datos y las comparaciones de los métodos de estimación se realizarán por separado (zonificación del departamento), para las estaciones meteorológicas ubicadas en las distintas zonas pluviométricas del departamento, para lograr identificar si el comportamiento de la precipitación mensual se ve o no influenciado de acuerdo a la altitud de las estaciones. Las estaciones meteorológicas con altitudes hasta 2198 m.s.n.m se consideraron que están ubicadas en la zona Central, las estaciones con altitudes hasta 3450 m.s.n.m se consideran que están ubicadas en la zona Alta y las estaciones con altitudes hasta 1356 m.s.n.m se

consideran que están ubicadas en la zona Chaco, también se tomó como referencia para la zonificación el trabajo de Vacaflores, A. (2008). Recursos hídricos superficiales y sus posibilidades de aprovechamiento en el departamento de Tarija.

Es de resaltar la presencia de largos periodos con ausencia de datos que se explican tanto por la falla del instrumento de registro como por la ausencia de lectura explicada por la suspensión temporal de la estación, situaciones que son comunes en el contexto boliviano y dan origen al desarrollo de este tipo de investigación.

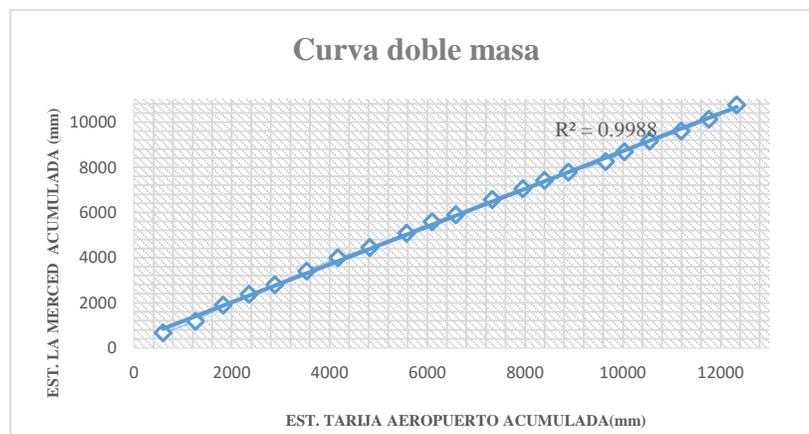
3.2. Análisis de consistencia de datos

En esta etapa se procedió a realizar un análisis de datos extraídos de la base de datos del SENAMHI para hallar las series de datos faltantes y la calidad de la información de las estaciones tomadas en cuenta para la presente investigación. Posteriormente, se procede a trabajar según los datos extraídos por dicha entidad y hacer uso de la metodología de la curva de doble masa.

El método de doble masa considera que, en una zona meteorológica homogénea, los valores de precipitación que ocurren en diferentes puntos de esa zona en períodos anuales o estacionales, guardan una relación de proporcionalidad que puede representarse gráficamente. Esa representación consiste en identificar la estación que queremos controlar, tomando los valores anuales de precipitación.

Figura 9

Representación gráfica curva de doble masa



Fuente: Elaboración propia

Luego de considerar estaciones activas, periodo de registros completos, longitud del registro, y después del análisis de consistencia para cada zona pluviométrica y para todas las estaciones en estudio, se consideró 30 estaciones para realizar el estudio, estaciones que se ilustran en la tabla 6.

Tabla 6

Estaciones climatológicas y pluviométricas analizadas del departamento de Tarija

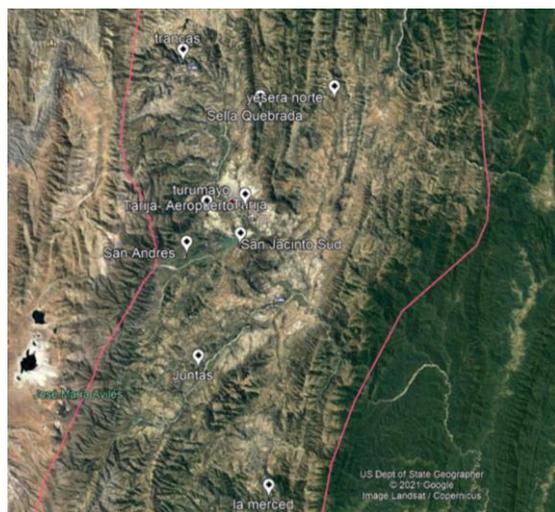
Nº	Estaciones	Zona Pluviométrica	Tipo	Periodo de años analizado
1	Juntas	Central	Pluviométrica	2000-2020
2	La Merced	Central	Climatológica	2000-2020
3	San Andrés	Central	Climatológica	2000-2020
4	San Jacinto Sud	Central	Climatológica	2000-2020
5	Sella Quebrada	Central	Climatológica	2000-2020
6	Tarija Aeropuerto	Central	Climatológica	2000-2020
7	Trancas	Central	Climatológica	2000-2020
8	Turumayo	Central	Climatológica	2000-2020
9	Yesera Norte	Central	Climatológica	2000-2020
10	Algarrobillas	Chaco	Pluviométrica	1996-2009
11	Bermejo Aeropuerto	Chaco	Climatológica	2003-2017
12	Emborozú	Chaco	Pluviométrica	2003-2017
13	Itaú	Chaco	Pluviométrica	2003-2017
14	Mcal. Estigarribia Paraguay	Chaco	Pluviométrica	1996-2009
15	Misión La Paz Argentina	Chaco	Pluviométrica	1996-2009

16	Narváez	Chaco	Pluviométrica	2003-2017
17	Palmar Chico	Chaco	Climatológica	1996-2009
18	Pratts Gill Paraguay	Chaco	Pluviométrica	1996-2009
19	Sachapera	Chaco	Pluviométrica	1996-2009
20	Saykan-Las Perulas	Chaco	Pluviométrica	2003-2017
21	Villamontes Aeropuerto	Chaco	Climatológica	1996-2009
22	Yacuiba Aeropuerto	Chaco	Climatológica	1996-2009
23	Calderillas	Alta	Pluviométrica	1980-1992
24	Carrizal	Alta	Pluviométrica	2006-2017
25	El Puente	Alta	Climatológica	2006-2017
26	El Puente (c)	Alta	Climatológica	1980-1992
27	Iscayachi San Antonio	Alta	Pluviométrica	1980-1992
28	Paicho Centro	Alta	Pluviométrica	2006-2017
29	Sama Iscayachi	Alta	Pluviométrica	1980-1992
30	Tojo	Alta	Pluviométrica	1980-1992

Fuente: Elaboración propia

Figura 10

Estaciones pertenecientes a la zona pluviométrica Central del departamento de Tarija



Fuente: Elaboración propia con colaboración de google earth

Figura 11

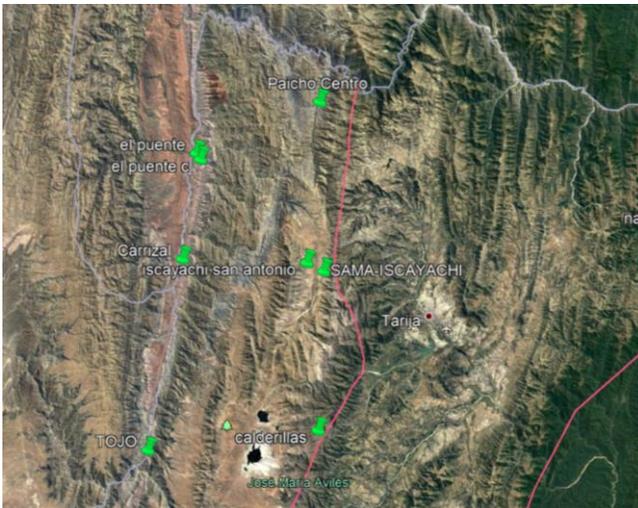
Estaciones pertenecientes a la zona pluviométrica Chaco del departamento de Tarija



Fuente: Elaboración propia con colaboración de google earth

Figura 12

Estaciones pertenecientes a la zona pluviométrica Alta del departamento de Tarija



Fuente: Elaboración propia con colaboración de google earth

3.3. Generación de vacíos seleccionando una muestra de datos por zona pluviométrica

Para simular la ausencia de datos observados (vacíos) en las estaciones se generaron vacíos en posiciones aleatorias, según el porcentaje de vacíos deseado. En cada caso se generó un total de 20% de datos faltantes en relación con el total de datos.

Estos datos eliminados artificialmente nos permitirán compararlos con los datos estimados por los métodos de completado y se determinara su eficiencia mediante indicadores de confiabilidad.

Se debe señalar que para poder usar de forma comparativa los métodos, en todas las estaciones se estableció que los meses en los cuales se eliminó la información debían ser los mismos en cada estación.

Tabla 7

Selección aleatoria de meses con falta de información (zona pluviométrica Central)

Años	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
2000		X					X					X
2001				X					X			
2002	X					X					X	
2003			X					X				
2004					X					X		
2005		X					X					X
2006				X					X			
2007	X					X					X	
2008			X					X				
2010					X					X		
2015		X					X					X
2017				X					X			
2018	X					X					X	
2019			X					X				
2020					X					X		

Fuente: Elaboración Propia

3.4. Elección de estaciones patrón

La elección de la estación patrón para cada zona pluviométrica, se basa en encontrar la estación más representativa de la zona (estación con mayor registro histórico de datos y datos completos).

3.4.1. Zona pluviométrica Central

Para la zona Central destaca la estación Tarija Aeropuerto, con las siguientes características:

- Ubicación: Departamento de Tarija, provincia Cercado.

Latitud S.: 21° 32' 48"

Longitud W.: 64° 42' 39"

Altura: 1849 m.s.n.m.

- Estado: En funcionamiento (estación climatológica).

- Periodo de registro de lluvias.

Anuales: 1954-2020

Años sin registro: 1954, 1973 y 1997

Número de datos mensuales de precipitación disponibles: 790

Número de datos anuales de precipitación disponibles: 67

- Distancia aproximada con las demás estaciones patrón:

Estación Tojo: 68,7 Km. (zona pluviométrica Alta)

Estación Yacuiba Aeropuerto: 118,7 Km. (zona pluviométrica Chaco)

Estación Bermejo Aeropuerto: 141,7 Km. (zona pluviométrica Chaco)

3.4.2. Zona pluviométrica Chaco.

Para la zona Chaco (sub zona uno), destaca la estación Bermejo Aeropuerto, con las siguientes características:

- Ubicación: Departamento de Tarija, provincia Arce.

Latitud S.: 22° 46' 15"

Longitud W.: 64° 18' 42"

Altura: 385 m.s.n.m.

- Estado: En funcionamiento (estación climatológica).
- Periodo de registro de lluvias.

Anuales:1957-2018

Años sin registro: 1957, 1962, 1964, 1965, 1973, 1975, 1977, 1986-1994, 2013, 2016 y 2018.

Número de datos mensuales de precipitación disponibles: 615

Número de datos anuales de precipitación disponibles: 43

- Distancia aproximada con las demás estaciones patrón:

Estación Tarija Aeropuerto: 141, 7 Km. (zona pluviométrica Central)

Estación Yacuiba Aeropuerto: 112 Km. (zona pluviométrica Chaco)

Estación Tojo: 149,3 Km. (zona pluviométrica Chaco)

Para la zona Chaco (sub zona dos), destaca la estación Yacuiba Aeropuerto, con las siguientes características:

- Ubicación: Departamento de Tarija, provincia Gran Chaco.

Latitud S.: 21° 57' 56"

Longitud W.: 63° 39' 16"

Altura: 580 m.s.n.m.

- Estado: En funcionamiento (estación climatológica).
- Periodo de registro de lluvias.

Anuales:1944-2020

Años sin registro: 1944, 1948, 1965, 1992 y 2020.

Número de datos mensuales de precipitación disponibles: 715

Número de datos anuales de precipitación disponibles: 63

- Distancia aproximada con las demás estaciones patrón:

Estación Tarija Aeropuerto: 118,7 Km. (zona pluviométrica Central)

Estación Bermejo Aeropuerto: 112 Km. (zona pluviométrica Chaco)

Estación Tojo: 172,7 Km. (zona pluviométrica Chaco)

3.4.3. Zona pluviométrica Alta

Para la zona Alta destaca la estación Tojo, con las siguientes características:

- Ubicación: Departamento de Tarija, provincia Méndez.

Latitud S.: 21° 49' 08"

Longitud W.: 65° 19' 35"

Altura: 2643 m.s.n.m.

- Estado: En funcionamiento (estación pluviométrica).
- Periodo de registro de lluvias.

Anuales: 1975-2020

Años sin registro: 1975, 1993-2005, 2008, 2009, 2011, 2012 y 2018-2020

Número de datos mensuales de precipitación disponibles: 363

Número de datos anuales de precipitación disponibles: 33

- Distancia aproximada con las demás estaciones patrón:

Estación Tarija Aeropuerto: 68,7 Km. (zona pluviométrica Central)

Estación Yacuiba Aeropuerto: 172,7 Km. (zona pluviométrica Chaco)

Estación Bermejo Aeropuerto: 149,3 Km. (zona pluviométrica Chaco)

3.5. Aplicación de los métodos de completación de datos faltantes de precipitación

Teniendo en cuenta que se realizará la comparación de métodos, se necesita tener los datos completos de todas las estaciones, para poder comparar los datos reales eliminados, con los estimados por los métodos.

Siendo así, de las 30 estaciones en estudio solo se trabajará con los años que cuenten con datos completos, la zona Central cuenta con nueve estaciones, la zona del Chaco trece (dos sub zonas) y la zona Alta con ocho estaciones,

Luego, se realizará la extracción de datos, para crear periodos faltantes artificiales para su posterior estimación con los métodos a comparar, esto de forma aleatoria para cada estación.

La extracción de los datos se hará por cada una de las estaciones, esto teniendo en cuenta cada porcentaje mencionado anteriormente (20%).

Cada uno de los métodos realiza la estimación de los datos de forma diferente, y es por ello que se comparará, para poder tener una idea de cuál de ellos dentro de su forma de ejecutarse, realiza una mejor estimación teniendo en cuenta los escenarios mencionados. La comparación de los métodos se realizará por cada escenario de datos faltantes teniendo en cuenta las tres zonas pluviométricas de estudio. Se emplearán tres indicadores para la comparación en los escenarios mencionados, estos son:

Coefficiente de correlación (r).

Error Estándar de Estimación (EEE).

Análisis gráfico de Bland-Altman.

Mediante el coeficiente de correlación (r), se determinó si es aceptable el grado de asociación correlativa de dos variables (precipitaciones calculadas y las precipitaciones reales) linealmente relacionadas. Por otra parte, el EEE mide las posibles variaciones de los

valores estimados con respecto a los valores reales y el análisis de Bland-Altman es un método gráfico y analítico que permitió determinar cuánto difiere un método (precipitaciones estimadas por lo métodos de completación), de otro ya establecido (precipitaciones reales). Para ello, el método de Bland-Altman cuantifica la diferencia media entre ambos métodos y un rango de confianza, entre los cuales se espera que se incluyan el 95% de las diferencias entre una técnica de medida y la otra. (Gil Martinez, 2017)

Luego de obtener los indicadores en los diferentes escenarios, se compararán los métodos escogiendo el valor mínimo o máximo dependiendo de cada indicador por cada método. De esta forma, se hará una amplia evaluación de los métodos en donde por medio de tres diferentes indicadores se escogerá el mejor método de estimación de datos faltantes de acuerdo a las condiciones bajo las cuales se encuentra (zona pluviométrica).

Los fundamentos estadísticos en los cuales se basó este estudio, para elegir el método de completación de datos más adecuado para cada zona pluviométrica, son los siguientes:

- Valor más cercano a 1 o -1 del coeficiente de correlación (r).
- Menor valor del error estándar de estimación (EEE).
- Menor valor de las diferencias promedios del análisis gráfico de Bland-Altman.

3.5.1. Métodos univariados

La secuencia de pasos de los métodos en una aplicación práctica se encuentra en el ANEXO 5.

3.5.1.1. Lineal

Para la aplicación de este método es necesario identificar el dato anterior y posterior de los faltantes, para después proceder a realizar un promedio entre ambos, y sustituir el resultado en el registro faltante.

3.5.1.2. Criterio del valor medio

Este método consiste en sustituir la carencia de un registro por el valor medio de la serie, en este caso se cuenta con series mensuales.

Por lo tanto, se separa las series en meses comprendidos entre enero y diciembre de cada año, para posteriormente proceder a calcular el promedio aritmético de la serie incompleta.

3.5.1.3. Media móvil.

El método consiste en sustituir la falta de un registro por el valor del promedio de orden N.

Para la aplicación de este método se utilizó la herramienta, análisis de datos, de Microsoft Excel que se basa en el cálculo de promedios, en nuestro caso, para el cálculo de promedios se utilizó un número de orden N comprendido entre 2 valores, este criterio se tomó de acuerdo a la disposición de datos faltantes de las series.

3.5.2. Métodos multivariados.

La secuencia de pasos de los métodos en una aplicación práctica se encuentra en el ANEXO 5.

3.5.2.1. Criterio de Karl.

Este método consiste en sustituir la carencia de un registro en una estación dada, por el valor correspondiente de otra estación vecina.

Para ello se identificó la estación más representativa de cada zona pluviométrica (estación patrón). El esquema de aplicación de este método se basa en las tablas 8, 9 y 10.

Tabla 8*Esquema para la aplicación del método, zona pluviométrica Central*

Estación patrón	Estaciones con carencia de información
Tarija Aeropuerto	Juntas
	La Merced
	San Andrés
	San Jacinto Sud
	Sella Quebrada
	Trancas
	Turumayo
	Yesera Norte

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 9*Esquema para la aplicación del método, zona pluviométrica Chaco (sub zona 1)*

Estación patrón	Estaciones con carencia de información
Yacuiba Aeropuerto	Algarrobillas
	Palmar Chico
	Mcal. Estigarribia
	Paraguay
	Misión La Paz Argentina
	Pratts Gill Paraguay
	Sachapera
	Villamontes Aeropuerto

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 10*Esquema para la aplicación del método, zona pluviométrica Chaco (sub zona 2)*

Estación patrón	Estaciones con carencia de información
Bermejo Aeropuerto	Emborozú
	Itaú
	Narváez
	Saykan-Las Perulas

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 11*Esquema para la aplicación del método, zona pluviométrica Alta*

Estación patrón	Estaciones con carencia de información
Tojo	Calderillas
	El Puente
	Iscayachi San Antonio
	Sama Iscayachi
	Carrizal
	El Puente c.
	Paicho Centro

Fuente: Elaboración Propia

3.5.2.2. Razón normal

Este método requiere de 3 estaciones completas para cada zona pluviométrica, para poder estimar la precipitación en la estación faltante.

Fue necesario separar las series en meses comprendidos entre enero y diciembre de cada año, para posteriormente calcular el promedio aritmético de la serie incompleta y las series completas mediante la Ec. (1) (ver página 27).

Posteriormente se procede a calcular los datos faltantes en hojas de cálculo de Microsoft Excel de acuerdo a la Ec. (2) (ver página 29).

Tabla 12*Esquema para la aplicación del método, zona pluviométrica Central*

Estaciones patrón	Estaciones con carencia de información
Tarija Aeropuerto	Juntas
	La Merced
Yesera Norte	San Andrés
	San Jacinto Sud
Turumayo	Sella Quebrada
	Trancas

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 13*Esquema para la aplicación del método, zona pluviométrica Chaco*

Estaciones patrón	Estaciones con carencia de información
Yacuiba Aeropuerto	Mcal. Estigarribia Paraguay
Algarrobillas	Palmar Chico
Misión La Paz Argentina	Pratts Gill Paraguay Sachapera
Bermejo Aeropuerto	Itaú
Narváez	
Saykan-Las Perulas	Emborozú

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 14*Esquema para la aplicación del método, zona pluviométrica Alta*

Estaciones patrón	Estaciones con carencia de información
Tojo	Calderillas Carrizal
Iscayachi San Antonio	El Puente El Puente (c)
Sama Iscayachi	Paicho Centro

Fuente: Elaboración Propia

3.5.2.3. Combinación lineal ponderada (CLP).

El método consiste en sustituir la falta de datos a partir de los datos de series estadísticamente próximas, de tal manera que cada dato incompleto se obtiene mediante la combinación lineal ponderada de los datos de las series que se van a utilizar para el completado.

Para ello, en nuestro caso, se requiere de tres estaciones completas (patrón), con un grado de correlación alto, respecto a las estaciones faltantes, de acuerdo a cada zona pluviométrica.

Los cálculos fueron realizados en hojas de cálculo de Microsoft Excel de acuerdo a la Ec. (3) (ver página 30). El esquema de aplicación de este método se basa en las tablas 12, 13 y 14 (ver página 49).

3.5.2.4. Criterio de la correlación lineal.

El método requiere de una estación patrón con un alto grado de correlación con la estación incompleta.

La base de método es la Ec. (10) (ver página 31), para ello es necesario calcular los parámetros estadísticos de la serie patrón (x) y la serie incompleta (y), parámetros basados en las Ec. (4) (5) (6) (7) (8) (ver página 31).

Una vez obtenidos estos parámetros se procede a calcular la pendiente de la recta (m) mediante la Ec. (9) (ver página 31), y la ordenada al origen según la Ec. (11) (ver página 31). El esquema de aplicación de este método se basa en las tablas 8, 9 y 10 (ver página 48).

3.5.2.5. Criterio de la correlación ortogonal

El método de la correlación ortogonal es complementario al de la correlación lineal, se utilizan los mismos parámetros estadísticos.

La variante se encuentra en la Ec. (12) (ver página 31), que es la base de este método, ecuación de segundo grado, que se tiene que resolver mediante ecuaciones cuadráticas, donde el primer término (λ) tiene un valor igual a 1.

Una vez resuelta la ecuación se obtiene el coeficiente (λ_1), valor necesario para poder calcular la pendiente de la recta mediante la Ec. (13) (ver página 32), y la ordenada al origen

mediante la Ec. (11) (ver página 31), para finalmente aplicar la Ec. (10) (ver página 31). El esquema de aplicación de este método se basa en las tablas 8, 9 y 10 (ver página 48).

3.5.2.6. Correlación múltiple (CORMUL)

Para completar los datos faltantes en las series mensuales, se utilizó el software Cálculo Hidrometeorológico de Aportaciones y Crecidas (CHAC).

El esquema de aplicación de este método se basa en las tablas 12, 13 y 14 (ver página 49).

La secuencia de cálculos para la realización de la correlación múltiple queda especificada en el ANEXO 1.

3.5.2.7. Método del vector regional

La idea básica del método, es la siguiente: en lugar de comparar dos por dos estaciones por correlación o doble masa, como se hace en los métodos clásicos, se elabora una estación ficticia que sea una “especie de promedio” de todas las estaciones de la zona, con la cual se comparan cada una de las estaciones (Espinoza, 2005, pág. 1).

La aplicación de este método se realizó mediante el software Hydraccess. La secuencia de cálculos para la realización del vector regional queda especificada en el ANEXO 1.

CAPÍTULO 4:

RESULTADOS

En este capítulo se presentan los resultados correspondientes a la estimación de datos faltantes de precipitación mensual en el departamento de Tarija, divididas en las zonas Central, Chaco y Alta, obtenidos por medio de los métodos de estimación univariados y multivariantes, teniendo en cuenta la distribución espacial de los datos de estudio, cada uno de los métodos empleados será evaluado a través de medidas de desempeño como: el coeficiente de correlación, error estándar de estimación y análisis gráfico de Bland-Altman.

4.1. Precipitaciones reales excluidas de cada estación

Se presenta en la tabla 15 los valores de precipitación mensual que se excluirán de cada estación perteneciente a la zona pluviométrica Central, valores que se tomarán como datos faltantes, para posteriormente compararlos con los valores estimados con los distintos métodos de completación de datos.

Tabla 15

Precipitaciones reales (mm), excluidas en cada estación, zona pluviométrica Central

Años	Meses	Estaciones								
		Juntas	La Merced	San Andrés	San Jacinto	Sella Quebradas	Tarija Aeropuerto	Trancas	Turumayo	Yesera Norte
2000	Febrero	88,5	50,9	230,1	58,9	111,7	86,6	106,9	179,0	100,0
	Julio	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Diciembre	196,0	80,0	204,7	70,0	101,9	116,4	148,1	96,2	68,0
2001	Abril	41,5	0,0	39,8	24,8	16,9	8,7	13,3	34,5	24,0
	Septiembre	8,5	13,0	17,2	1,1	16,0	6,4	10,0	26,0	16,0
2002	Enero	146,5	127,5	186,6	67,9	74,3	43,5	67,3	148,6	47,0
	Junio	0,0	0,0	0,0	0,0	2,2	0,0	0,0	0,0	3,0
	Noviembre	41,0	36,0	116,2	108,6	52,2	122,3	107,7	96,2	40,5
2003	Marzo	138,0	92,6	231,3	124,6	101,6	95,2	171,5	186,0	187,0
	Agosto	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2004	Mayo	3,5	0,0	34,5	1,7	17,2	1,9	15,7	20,0	19,9
	Octubre	11,0	6,5	35,2	45,3	10,0	54,1	17,2	52,5	17,0
2005	Febrero	233,0	138,1	309,9	237,0	180,8	139,6	175,4	217,2	194,4
	Julio	3,0	0,0	3,1	0,0	2,3	0,2	1,5	0,8	0,5
	Diciembre	158,0	166,2	239,5	105,7	133,7	166,8	150,7	281,4	208,0
2006	Abril	58,5	21,9	47,5	26,4	41,3	17,9	32,5	38,9	31,0
	Septiembre	0,0	0,0	1,0	3,3	6,0	1,4	7,4	0,0	3,0
2007	Enero	361,5	159,7	309,0	178,3	213,8	182,9	197,9	208,0	266,5

	Junio	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Noviembre	91,0	38,7	232,0	86,6	113,3	70,9	122,5	111,5	97,0
2008	Marzo	120,0	58,8	291,0	161,6	81,1	118,8	123,0	210,4	116,0
	Agosto	4,0	0,0	5,5	0,9	7,5	0,3	0,0	3,0	6,5
2010	Mayo	5,0	2,1	16,4	8,0	16,0	3,9	15,0	1,5	17,0
	Octubre	18,0	2,0	27,7	6,2	7,0	1,0	6,2	10,3	21,5
2015	Febrero	144,8	91,0	256,0	199,3	353,2	211,2	336,0	232,5	210,0
	Julio	0,0	0,0	7,4	0,0	9,5	1,0	3,0	0,8	1,5
	Diciembre	86,4	22,8	124,7	99,3	139,5	113,9	62,0	109,2	64,0
2017	Abril	16,0	9,5	39,1	14,6	33,5	19,7	66,0	23,9	23,5
	Septiembre	25,0	5,5	13,0	32,2	22,6	21,4	23,0	11,0	15,5
2018	Enero	344,8	148,0	292,7	188,6	205,5	194,9	480,0	252,3	172,9
	Junio	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3
	Noviembre	72,3	51,0	82,6	85,5	36,5	99,6	116,0	71,7	42,8
2019	Marzo	85,0	50,8	127,6	55,4	55,3	58,3	118,0	83,3	86,5
	Agosto	0,0	0,0	11,2	0,0	9,6	0,0	3,0	0,3	2,5
2020	Mayo	9,0	0,0	6,3	0,0	2,1	0,0	3,0	0,0	6,0
	Octubre	36,0	49,0	90,9	54,0	19,0	69,0	54,0	83,4	26,3

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 16

Precipitaciones reales (mm), excluidas en cada estación, zona pluviométrica Chaco (sub zona 1)

Años	Meses	Estaciones							
		Algarro- billas	Palmar Chico	Sacha- pera	Villa- montes Aeropuerto	Yacuiba Aeropuerto	Pratts Gill Paraguay	Mcal. Estiga- rribia	Misión La Paz Argentina
1996	Febrero	33,6	159	93,5	109	70,8	109	126	109
	Julio	0	0	0	0	0	0	0	0
	Diciembre	201	183	277	184	143	92	112	124
2000	Abril	6,5	57,4	28,3	40,8	36,8	67,4	112	23,5
	Septiembre	0	1,5	2,4	4,2	0,1	0	3,3	0
2001	Enero	33	78,7	145	78,9	100	22,1	45,7	96
	Junio	0	1,4	0	9,6	5,5	0	2,9	0
	Noviembre	53,9	81,4	60,7	26,6	87,8	55,4	170	31,4
2002	Marzo	30,3	94,8	105	11,2	122	31,5	50,8	81
	Agosto	0	3,2	0	0	4,6	0	0,6	0,9
2003	Mayo	6,8	0	0	4,4	6,5	11,4	4	4
	Octubre	76,6	94,6	64,6	63,5	58,6	65,8	56,2	82
2007	Febrero	73,7	241	161	262	226	86,8	90,3	46,5
	Julio	0	0,7	0	2,1	1,6	0,2	1,4	3
	Diciembre	83,4	122	77,3	269	146	80	255	31
2008	Abril	61,8	47,1	73,3	68,7	46,5	24	50,9	56
	Septiembre	0	0	0	0	0	0	0	0

2009	Enero	51,9	98	79,5	119	81	150	25,3	70,5
	Junio	0	0	0	0	0	0	3,4	0
	Noviembre	107	114	118	128	193	98,2	58,5	30,5

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 17

Precipitaciones reales (mm), excluidas en cada estación, zona pluviométrica Chaco (sub zona 2)

Años	Meses	Estaciones				
		Bermejo Aeropuerto	Emborozú	Itaú	Narváez	Saykan-Las Perulas
2003	Febrero	268	249,4	123,8	143,8	184
	Julio	0	7,7	0	0	5,4
	Diciembre	209,6	500,5	218,5	168,6	265,6
2005	Abril	70,1	141,2	190,6	117,9	88,8
	Septiembre	0	37	8	0	13,3
2006	Enero	274	302,2	163	378,7	190,7
	Junio	8	44,3	19	25,8	25,4
	Noviembre	110,5	147,8	91	123,4	107,3
2007	Marzo	235,2	578,7	60	202,6	58
	Agosto	0,3	0	2	4	3,2
2012	Mayo	24,5	44,1	18,6	12	15,2
	Octubre	12,4	51	33	45,7	21,8
2015	Febrero	76,5	259,5	110	285	182,2
	Julio	2	63	0	5,5	2,3
	Diciembre	111,9	94,3	92	174,5	81,7
2017	Abril	83,7	120,9	141	149,6	63,9
	Septiembre	1,1	5,5	16	31,5	16,5

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 18

Precipitaciones reales (mm), excluidas en cada estación, zona pluviométrica Alta

Años	Meses	Estaciones				
		Tojo	Calderillas	El Puente	Iscayachi San Antonio	Sama Iscayachi
1980	Febrero	82,7	251,8	32,6	66,9	71,9
	Julio	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Diciembre	23,7	162,7	53,3	8,0	10,4
1981	Abril	11,1	94,2	47,5	55,0	30,1
	Septiembre	5,3	10,4	0,0	3,0	0,9
1983	Enero	93,9	174,3	38,0	24,6	39,0

	Junio	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Noviembre	9,1	142,0	0,3	14,2	12,2
1985	Marzo	23,3	109,1	59,3	3,4	1,6
	Agosto	0,0	20,0	16,0	9,9	13,3
1986	Mayo	0,0	1,8	0,0	0,0	0,0
	Octubre	14,1	57,7	66,0	17,2	21,2
1987	Febrero	47,7	149,9	102,0	38,7	55,5
	Julio	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0
	Diciembre	37,1	198,4	34,0	25,3	37,4
1988	Abril	8,7	73,0	22,0	39,2	47,8
	Septiembre	0,2	19,6	14,0	2,1	3,6
1989	Enero	74,7	213,3	57,0	79,1	87,1
	Junio	0,0	7,9	0,0	0,0	0,0
	Noviembre	47,3	74,0	63,0	17,7	22,0
1990	Marzo	0,0	118,0	80,5	47,0	24,4
	Agosto	0,0	1,9	1,0	0,0	0,0
1991	Mayo	0,0	2,3	0,0	0,0	0,0
	Octubre	12,5	43,8	15,0	16,1	17,4
1992	Febrero	42,4	245,5	104,5	58,4	60,4
	Julio	0,5	3,7	0,0	0,0	0,0
	Noviembre	16,0	165,5	15,0	26,7	38,4

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 19

Precipitaciones reales (mm), excluidas en cada estación, zona pluviométrica Alta

Años	Meses	Estaciones			
		Tojo	Carrizal	El Puente	Paicho Centro
2006	Febrero	78,5	97,2	85,8	69,0
	Julio	0,0	0,0	0,0	0,0
	Diciembre	54,2	26,0	30,7	23,8
2007	Abril	0,0	0,0	0,9	1,0
	Septiembre	0,0	0,0	0,0	5,4
2010	Enero	78,5	82,0	65,0	61,7
	Junio	0,0	0,0	0,0	0,0
	Noviembre	4,0	3,0	0,9	0,0
2013	Marzo	17,9	0,0	35,1	5,3
	Agosto	0,0	0,0	8,1	24,9
2014	Mayo	0,0	0,0	0,0	0,0
	Octubre	8,3	6,0	34,7	83,0
2015	Febrero	60,1	52,0	129,4	39,5
	Julio	0,0	0,0	0,0	0,0
	Diciembre	22,6	5,0	22,9	14,3

2017	Abril	0,0	0,0	2,3	4,0
	Septiembre	0,0	0,0	10,4	14,5

Fuente: Elaboración Propia

Para la zona pluviométrica Alta, se trabajó en dos años periodos comprendidos entre 1980 al 1992 y otro en el periodo 2006 al 2017, ambos periodos homogéneos con distintas estaciones. La razón de esto es que, no se contaba con un número de estaciones suficiente para posteriormente calificar la metodología de completación de datos que se adapta mejor a esta zona pluviométrica.

4.2. Resultados de los métodos de completación de datos faltantes

Los resultados obtenidos después de aplicar los distintos métodos de completación a cada estación se las muestra en las tablas 20 a 35.

Las abreviaturas significan:

VM: Valor Medio

MM (2): Media Móvil para un N=2

DP: Diferencias Promedio

CK: Criterio de Karl

RN: Razón Normal

CLP: Correlación Lineal Ponderada

CL: Correlación Lineal

CO: Correlación Ortogonal

CM: Correlación Múltiple

VR: Vector Regional.

RLM: Regresión Lineal Múltiple

Tabla 20

Resumen de las precipitaciones estimadas en (mm), estación Juntas zona pluviométrica Central

Pp Real	Lineal	VM	MM (2)	DP	CK	RN	CLP	CL	CO	CM	VR	RLM
88,5	251,8	83,4	-	461,3	86,6	182,1	122,0	93,0	102,5	175,9	125,9	187,4
0,0	0,0	83,4	1,8	0,0	0,0	0,0	0,0	8,8	0,0	0,3	0,0	0,0
196,0	159,5	83,4	108,3	217,5	116,4	144,7	93,6	122,0	139,3	8,4	71,7	121,8
41,5	76,3	72,1	136,8	224,8	8,7	24,6	22,4	17,3	6,2	26,9	27,0	32,0
8,5	21,3	72,1	1,0	0,0	6,4	17,5	16,1	15,0	3,4	28,9	45,3	32,9
146,5	196,8	62,2	135,8	202,3	43,5	84,3	79,8	51,1	49,2	0,0	114,5	24,3
0,0	0,8	62,2	19,0	0,0	0,0	1,5	1,0	8,8	0,0	1,6	0,0	0,0
41,0	98,5	62,2	81,5	223,5	122,3	101,1	86,5	127,7	146,6	0,0	103,2	91,3
138,0	62,0	64,4	141,0	167,0	95,2	171,7	156,0	101,4	113,1	104,8	181,8	130,9
0,0	5,0	64,4	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	8,8	0,0	1,5	0,1	0,1
3,5	35,0	78,8	113,8	101,0	1,9	20,6	13,9	10,6	0,0	2,2	29,5	1,5
11,0	48,0	78,8	23,5	45,0	54,1	63,8	41,3	61,4	62,3	49,3	86,6	26,0
233,0	136,8	56,2	119,3	36,3	139,6	160,8	183,7	144,6	168,0	200,7	209,5	140,3
3,0	0,0	56,2	0,0	0,0	0,2	0,4	0,5	9,0	0,0	0,0	0,0	0,0
158,0	173,0	56,2	173,0	152,0	166,8	189,3	218,8	171,0	201,6	157,3	177,6	151,7
58,5	95,5	80,6	178,3	258,5	17,9	37,2	29,3	26,2	17,6	17,6	46,5	52,1
0,0	22,5	80,6	0,0	0,0	1,4	2,0	1,5	10,2	0,0	0,0	14,1	5,4
361,5	105,6	54,0	103,6	152,8	182,9	188,9	219,0	186,7	221,5	115,9	240,9	383,4
0,0	0,8	54,0	26,3	2,3	0,0	0,0	0,0	8,8	0,0	0,5	0,0	0,0
91,0	95,5	54,0	45,5	20,5	70,9	78,4	93,1	77,8	83,1	42,7	154,9	89,2
120,0	50,0	70,7	126,5	131,0	118,8	133,7	148,5	124,3	142,3	155,1	216,8	146,1
4,0	0,3	70,7	0,0	0,0	0,3	2,9	3,3	9,1	0,0	1,9	2,6	0,1
5,0	3,0	51,2	55,0	9,0	3,9	8,8	7,4	12,6	0,3	5,3	28,1	1,2
18,0	2,8	51,2	0,0	0,0	1,0	12,4	10,9	9,8	0,0	0,0	0,0	17,6
144,8	193,0	65,3	143,5	242,9	211,2	215,3	217,9	214,2	256,5	156,5	263,1	160,6
0,0	0,8	65,3	0,8	2,3	1,0	1,1	1,1	9,8	0,0	0,4	0,0	0,0
86,4	41,0	65,3	47,6	95,0	113,9	94,7	95,8	119,6	136,2	120,7	57,4	98,8
16,0	36,4	29,7	59,1	109,2	19,7	14,4	22,4	28,0	19,8	6,5	68,6	5,3
25,0	10,5	29,7	0,0	0,0	21,4	10,5	16,0	29,6	21,9	15,8	33,9	8,6
344,8	157,4	40,0	71,8	88,8	194,9	137,9	206,8	198,3	236,3	153,1	197,0	131,7
0,0	0,0	40,0	3,5	0,0	0,0	0,1	0,1	8,8	0,0	0,0	40,9	0,0
72,3	43,0	40,0	15,5	0,0	99,6	48,7	71,4	105,7	118,6	121,6	67,0	72,1
85,0	32,0	23,8	37,6	64,0	58,3	33,3	76,0	65,5	67,5	132,2	66,7	85,8
0,0	12,7	23,8	0,2	0,0	0,0	0,4	0,9	8,8	0,0	0,0	1,1	0,0
9,0	0,0	39,5	36,6	0,0	0,0	1,6	2,0	8,8	0,0	0,7	0,0	0,6

36,0 25,4 39,5 11,5 14,7 69,0 41,0 59,7 75,9 80,7 0,0 93,9 41,9

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 21

Resumen de las precipitaciones estimadas en (mm), estación La Merced zona pluviométrica Central

Pp Real	Lineal	VM	MM (2)	DP	CK	RN	CLP	CL	CO	CM	VR	RLM
50,9	225,0	59,3	-	298,0	86,6	129,5	120,9	74,4	79,9	81,6	60,1	68,1
0,0	0,0	59,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	4,0	0,0	0,0	0,0	0,0
80,0	70,5	59,3	34,0	0,0	116,4	102,9	93,3	98,6	108,7	148,4	82,5	66,4
0,0	28,8	49,6	69,0	86,3	8,7	16,9	22,2	11,1	4,6	23,2	18,8	7,4
13,0	29,8	49,6	0,0	0,0	6,4	12,0	16,0	9,2	2,4	0,0	4,6	5,7
127,5	146,1	61,4	89,8	131,2	43,5	83,3	78,5	39,4	38,3	19,6	77,7	61,3
0,0	0,0	61,4	6,1	0,0	0,0	1,5	1,0	4,0	0,0	0,5	310,1	0,0
36,0	116,0	61,4	72,3	173,0	122,3	111,4	85,9	103,4	114,4	28,7	34,3	59,5
92,6	35,0	38,9	89,0	87,0	95,2	103,7	155,8	81,4	88,2	127,9	167,6	214,7
0,0	0,8	38,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	4,0	0,0	0,1	0,0	0,0
0,0	13,2	42,1	33,5	39,6	1,9	11,0	13,9	5,5	0,0	2,9	12,0	0,0
6,5	22,9	42,1	7,9	8,7	54,1	34,1	40,9	48,0	48,5	19,7	43,9	15,5
138,1	127,6	34,1	131,7	261,4	139,6	97,6	183,3	117,5	131,1	124,9	117,1	88,9
0,0	0,0	34,1	0,0	0,0	0,2	0,3	0,5	4,1	0,0	0,0	0,0	0,0
166,2	91,6	34,1	14,0	0,0	166,8	114,9	217,8	139,6	157,3	136,5	145,3	85,6
21,9	87,8	56,6	137,7	260,4	17,9	26,1	29,1	18,5	13,5	30,9	38,5	28,9
0,0	14,2	56,6	0,0	0,0	1,4	1,4	1,5	5,1	0,0	3,5	3,9	0,3
159,7	57,9	28,0	48,7	56,9	182,9	98,1	219,6	152,7	172,9	248,0	234,7	277,0
0,0	0,0	28,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	4,0	0,0	0,0	437,5	0,0
38,7	53,6	28,0	16,6	0,0	70,9	40,7	92,9	61,6	64,7	65,7	55,1	60,4
58,8	30,3	57,2	128,9	72,4	118,8	108,2	147,3	100,6	111,0	159,1	131,2	160,4
0,0	0,0	57,2	0,0	0,0	0,3	2,3	3,3	4,2	0,0	0,1	0,0	0,0
2,1	1,3	31,3	14,4	3,8	3,9	5,4	7,6	7,2	0,0	5,2	7,7	0,1
2,0	15,3	31,3	0,0	0,0	1,0	7,6	11,0	4,8	0,0	2,2	0,0	13,7
91,0	124,8	38,5	97,7	153,9	211,2	127,0	217,6	175,7	200,2	121,2	169,7	106,6
0,0	0,3	38,5	0,0	0,0	1,0	0,6	1,1	4,8	0,0	0,2	0,0	0,3
22,8	116,3	38,5	33,5	0,0	113,9	55,9	95,3	96,6	106,3	20,9	69,1	82,7
9,5	46,0	46,4	94,5	135,1	19,7	22,5	22,4	20,0	15,3	0,0	22,2	13,2
5,5	5,2	46,4	0,0	0,0	21,4	16,4	16,0	21,4	16,9	9,9	11,9	1,4
148,0	63,8	26,4	38,1	68,4	194,9	91,2	205,8	162,4	184,5	190,3	201,1	150,4
0,0	4,5	26,4	10,0	13,5	0,0	0,0	0,1	4,0	0,0	0,0	0,0	0,0
51,0	56,9	26,4	13,5	0,0	99,6	32,2	71,2	85,0	92,4	45,1	41,9	31,9

50,8	74,1	46,5	61,7	48,9	58,3	65,1	76,0	51,4	52,6	85,3	60,0	50,8
0,0	5,0	46,5	5,0	15,0	0,0	0,9	1,0	4,0	0,0	0,0	0,0	0,0
0,0	10,0	58,5	34,5	18,7	0,0	2,3	2,1	4,0	0,0	0,0	3,5	0,0
49,0	29,6	58,5	9,0	6,4	69,0	60,7	59,0	60,1	62,9	33,6	53,2	23,1

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 22

Resumen de las precipitaciones estimadas en (mm), estación San Andrés zona pluviométrica Central

Pp Real	Lineal	VM	MM (2)	DP	CK	RN	CLP	CL	CO	CM	VR	RLM
230,1	270,8	78,7	-	504,3	86,6	171,8	122,5	136,8	147,1	196,2	159,7	197,9
0,0	1,3	78,7	2,7	0,0	0,0	0,0	0,0	14,3	0,0	0,0	0,0	0,1
204,7	194,5	78,7	66,2	30,1	116,4	144,7	93,9	179,0	197,8	142,8	104,7	174,3
39,8	63,4	111,0	154,8	180,8	8,7	37,9	22,5	26,6	14,6	49,1	41,2	35,8
17,2	46,8	111,0	4,8	0,0	6,4	26,9	16,2	23,4	10,7	40,0	39,1	32,6
186,6	303,6	117,4	209,6	326,4	43,5	159,2	80,6	75,8	73,8	150,0	112,4	76,4
0,0	3,9	117,4	23,5	8,6	0,0	2,8	1,0	14,3	0,0	0,0	0,0	0,1
116,2	228,8	117,4	173,7	450,0	122,3	191,0	86,9	187,3	207,9	114,6	167,6	165,3
231,3	72,8	78,5	150,1	182,1	95,2	209,2	155,9	149,0	161,8	205,5	181,1	205,3
0,0	0,5	78,5	1,8	0,0	0,0	0,0	0,0	14,3	0,0	2,7	2,9	0,6
34,5	34,8	95,3	120,8	100,0	1,9	24,9	13,9	17,0	3,0	17,8	34,0	19,9
35,2	84,4	95,3	25,3	7,7	54,1	77,2	41,6	90,8	91,8	105,9	63,6	52,3
309,9	181,7	76,4	218,8	159,9	139,6	218,8	183,9	211,8	237,3	160,3	226,4	213,3
3,1	2,5	76,4	0,3	0,0	0,2	0,6	0,5	14,6	0,1	2,2	0,0	1,9
239,5	239,7	76,4	114,9	164,3	166,8	257,6	219,3	250,3	283,6	199,0	276,3	234,8
47,5	76,8	110,9	207,6	200,3	17,9	51,1	29,3	39,6	30,2	32,3	80,6	47,6
1,0	73,5	110,9	0,8	0,0	1,4	2,8	1,4	16,3	2,2	15,3	0,0	4,7
309,0	131,5	89,0	127,0	171,5	182,9	311,3	218,5	273,1	311,0	223,2	320,5	359,7
0,0	5,5	89,0	22,8	16,5	0,0	0,0	0,0	14,3	0,0	0,0	0,0	0,1
232,0	200,3	89,0	74,3	20,8	70,9	129,3	93,2	114,6	120,4	120,1	140,8	118,5
291,0	104,8	109,6	237,0	269,3	118,8	207,2	149,2	182,4	201,9	234,0	227,9	204,8
5,5	3,8	109,6	0,0	0,0	0,3	4,4	3,2	14,7	0,3	2,9	3,6	4,4
16,4	15,8	74,7	52,8	43,3	3,9	12,9	7,3	19,8	6,4	7,4	31,7	17,6
27,7	12,1	74,7	1,5	0,0	1,0	18,1	10,8	15,7	1,5	0,0	9,4	24,4
256,0	217,1	71,4	210,6	305,9	211,2	235,3	218,1	313,1	359,1	208,9	347,5	229,6
7,4	0,7	71,4	11,2	2,0	1,0	1,2	1,1	15,7	1,5	1,3	0,0	1,3
124,7	77,7	71,4	78,3	130,1	113,9	103,5	96,2	175,4	193,6	105,5	169,3	175,3
39,1	40,4	53,7	93,1	119,2	19,7	26,0	22,4	42,2	33,3	45,6	45,8	27,1
13,0	27,9	53,7	1,1	0,0	21,4	19,0	15,9	44,6	36,2	29,9	53,9	20,4

292,7	168,9	73,7	121,0	211,5	194,9	254,2	207,4	290,0	331,4	119,9	300,8	234,3
0,0	9,5	73,7	19,3	21,5	0,0	0,1	0,1	14,3	0,0	1,2	0,0	0,2
82,6	131,2	73,7	67,8	0,0	99,6	89,7	71,7	155,2	169,2	70,3	124,3	132,9
127,6	115,9	64,9	102,4	110,1	58,3	90,8	76,0	96,8	99,0	118,5	62,4	112,4
11,2	2,5	64,9	2,3	6,5	0,0	1,2	0,9	14,3	0,0	3,1	0,2	2,3
6,3	12,3	82,9	75,2	36,8	0,0	3,3	1,9	14,3	0,0	3,0	3,0	6,9
90,9	46,9	82,9	16,1	17,3	69,0	41,0	60,1	111,9	117,2	119,7	91,5	82,5

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 23

Resumen de las precipitaciones estimadas en (mm), estación San Jacinto Sud zona pluviométrica Central

Pp Real	Lineal	VM	MM (2)	DP	CK	RN	CLP	CL	CO	CM	VR	RLM
58,9	151,2	44,5	-	270,5	86,6	97,2	122,5	85,5	89,5	37,9	126,5	98,3
0,0	0,0	44,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	6,2	0,5	0,1	0,0	0,0
70,0	107,1	44,5	38,3	0,0	116,4	77,2	94,1	112,7	120,2	73,9	69,2	75,0
24,8	29,4	76,0	136,1	88,1	8,7	25,9	22,4	14,2	9,4	19,7	15,1	7,2
1,1	39,8	76,0	0,2	0,0	6,4	18,4	16,2	12,1	7,1	13,0	15,4	26,7
67,9	236,6	75,3	121,1	157,8	43,5	102,1	80,6	46,0	45,2	78,6	62,6	67,9
0,0	0,0	75,3	19,8	0,0	0,0	1,8	1,0	6,2	0,5	0,0	0,0	0,0
108,6	95,6	75,3	73,1	196,1	122,3	122,5	87,4	118,1	126,3	119,6	109,7	31,7
124,6	19,3	52,1	90,8	57,2	95,2	139,0	155,4	93,3	98,4	105,5	143,2	144,7
0,0	0,7	52,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	6,2	0,5	0,0	0,0	0,0
1,7	12,0	54,4	102,6	36,0	1,9	14,2	13,8	8,0	2,4	4,2	7,8	1,1
45,3	41,5	54,4	14,5	0,5	54,1	44,1	41,8	55,7	56,1	46,8	33,1	33,9
237,0	99,2	34,7	103,0	125,7	139,6	99,3	183,6	134,0	144,0	105,4	163,0	164,9
0,0	0,0	34,7	0,5	0,0	0,2	0,3	0,5	6,4	0,7	0,0	0,0	0,0
105,7	127,3	34,7	46,7	55,4	166,8	116,9	219,1	158,9	172,0	118,8	128,3	153,6
26,4	51,8	62,4	139,5	146,2	17,9	28,8	29,2	22,6	18,9	29,5	34,6	25,2
3,3	34,0	62,4	0,0	0,0	1,4	1,6	1,4	7,5	1,9	6,7	0,0	2,5
178,3	66,5	50,0	54,8	53,7	182,9	174,9	218,0	173,6	188,6	122,3	171,9	198,4
0,0	0,0	50,0	3,7	0,0	0,0	0,0	0,0	6,2	0,5	0,0	0,0	0,0
86,6	107,3	50,0	63,5	24,5	70,9	72,6	93,1	71,1	73,4	59,8	138,3	77,9
161,6	45,8	63,1	116,0	112,3	118,8	119,4	149,3	114,9	122,7	144,7	158,8	143,0
0,9	0,0	63,1	0,0	0,0	0,3	2,5	3,2	6,5	0,8	0,0	5,2	0,1
8,0	4,0	35,3	21,6	12,0	3,9	6,1	7,2	9,8	4,5	4,2	6,8	2,4
6,2	5,8	35,3	0,0	0,0	1,0	8,5	10,7	7,1	1,5	15,7	35,3	23,3
199,3	135,8	47,8	124,9	241,7	211,2	157,5	218,1	199,5	217,7	265,9	245,6	152,8

0,0	0,3	47,8	0,3	0,8	1,0	0,8	1,1	7,1	1,5	0,0	0,0	0,1
99,3	62,7	47,8	59,5	40,7	113,9	69,3	96,5	110,4	117,6	98,5	81,8	77,5
14,6	51,0	52,4	118,7	152,3	19,7	25,4	22,3	24,2	20,7	29,0	8,5	24,1
32,2	17,6	52,4	0,0	0,0	21,4	18,5	16,0	25,8	22,5	26,5	35,4	14,7
188,6	131,1	40,7	89,0	174,7	194,9	140,6	207,6	184,6	200,9	139,2	143,4	154,2
0,0	1,9	40,7	5,9	5,6	0,0	0,1	0,1	6,2	0,5	0,0	0,0	0,0
85,5	81,5	40,7	40,9	47,0	99,6	49,6	72,0	97,4	102,9	84,4	125,7	51,9
55,4	89,2	49,0	104,7	134,6	58,3	68,5	75,8	59,6	60,4	37,6	68,3	53,7
0,0	2,2	49,0	2,2	6,5	0,0	0,9	0,9	6,2	0,5	0,2	2,7	0,0
0,0	5,9	48,1	37,0	16,5	0,0	1,9	1,9	6,2	0,5	0,0	0,4	0,0
54,0	26,1	48,1	13,2	26,5	69,0	49,9	60,4	69,4	71,4	86,9	45,8	53,4

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 24

Resumen de las precipitaciones estimadas en (mm), estación Sella Quebrada zona pluviométrica Central

Pp Real	Lineal	VM	MM (2)	DP	CK	RN	CLP	CL	CO	CM	VR	RLM
111,7	191,4	47,8	-	325,4	86,6	104,4	120,6	87,9	93,1	49,6	115,2	85,7
0,0	1,2	47,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,5	0,0	0,0	0,0	0,0
101,9	107,1	47,8	9,4	0,0	116,4	144,7	93,2	117,0	126,4	87,9	85,2	67,6
16,9	35,4	62,6	109,9	96,9	8,7	21,4	22,2	12,0	5,9	1,8	77,1	13,8
16,0	6,9	62,6	1,1	0,0	6,4	15,2	16,0	9,7	3,4	19,0	22,9	30,7
74,3	153,6	46,0	95,0	171,5	43,5	62,3	78,1	45,9	44,9	57,0	111,0	77,6
2,2	1,3	46,0	12,5	3,8	0,0	1,1	1,0	3,5	0,0	0,0	0,0	0,0
52,2	66,4	46,0	48,2	117,4	122,3	101,1	85,7	122,7	133,0	51,5	57,0	63,7
101,6	22,1	36,5	70,9	49,2	95,2	97,2	155,9	96,3	102,7	179,1	131,4	191,7
0,0	7,5	36,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,5	0,0	0,0	0,0	0,3
17,2	2,4	50,5	54,8	2,3	1,9	13,2	13,9	5,3	0,0	8,8	17,9	75,0
10,0	37,5	50,5	18,7	31,3	54,1	40,9	40,7	56,2	56,7	30,7	27,1	25,1
180,8	65,9	23,2	116,4	114,6	139,6	66,3	183,3	139,6	152,4	155,2	134,9	169,4
2,3	0,0	23,2	0,0	0,0	0,2	0,2	0,5	3,7	0,0	0,0	0,0	0,7
133,7	95,3	23,2	26,6	0,0	166,8	78,1	217,5	166,1	182,8	152,6	214,3	162,6
41,3	51,9	60,2	115,9	143,7	17,9	27,7	29,1	20,9	16,2	39,4	62,3	25,4
6,0	30,8	60,2	0,3	0,0	1,4	1,5	1,5	4,8	0,0	10,8	0,0	2,5
213,8	70,0	40,0	74,2	95,2	182,9	139,9	219,8	181,8	200,8	227,7	218,1	215,3
0,0	3,9	40,0	12,2	11,6	0,0	0,0	0,0	3,5	0,0	0,0	0,0	0,0
113,3	86,0	40,0	37,1	29,2	70,9	58,1	92,9	72,6	75,5	75,3	67,7	65,6
81,1	39,2	69,6	131,7	73,0	118,8	131,6	147,0	119,3	129,1	83,9	148,3	117,6

7,5	3,3	69,6	0,0	0,0	0,3	2,8	3,3	3,8	0,0	4,1	1,8	5,5
16,0	16,3	60,5	59,3	48,8	3,9	10,4	7,7	7,3	0,6	4,3	6,7	2,7
7,0	25,5	60,5	5,0	0,0	1,0	14,6	11,1	4,4	0,0	40,3	20,5	13,9
353,2	260,3	91,8	194,6	384,0	211,2	302,5	217,6	209,4	232,4	148,3	198,0	131,2
9,5	0,0	91,8	0,0	0,0	1,0	1,5	1,1	4,4	0,0	0,0	0,0	1,1
139,5	86,6	91,8	75,8	74,5	113,9	133,0	95,1	114,6	123,6	54,2	122,1	65,3
33,5	69,0	43,9	101,8	207,0	19,7	21,3	22,4	22,7	18,2	35,1	65,4	10,3
22,6	7,0	43,9	0,8	0,0	21,4	15,5	16,0	24,3	20,1	9,5	26,6	10,9
205,5	110,9	61,6	63,6	55,2	194,9	212,6	205,5	193,5	214,2	161,8	249,2	188,6
0,0	1,5	61,6	7,2	4,5	0,0	0,1	0,1	3,5	0,0	0,0	0,0	0,0
36,5	148,4	61,6	43,5	0,0	99,6	75,0	71,0	100,6	107,6	15,2	57,5	54,0
55,3	76,5	48,2	123,4	158,9	58,3	67,4	76,0	60,3	61,4	43,6	62,9	79,6
9,6	8,1	48,2	8,1	24,3	0,0	0,9	1,0	3,5	0,0	2,0	1,5	0,1
2,1	4,8	49,9	53,5	6,2	0,0	2,0	2,1	3,5	0,0	2,0	2,8	0,8
19,0	45,6	49,9	11,7	1,1	69,0	51,8	58,8	70,8	73,4	39,3	51,5	39,6

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 25

Resumen de las precipitaciones estimadas en (mm), estación Trancas zona pluviométrica Central

Pp Real	Lineal	VM	MM (2)	DP	CK	RN	CLP	CL	CO	CM	VR	RLM
106,9	249,5	64,2	-	278,7	86,6	140,2	121,1	117,3	127,6	127,0	90,3	108,6
0,0	4,0	64,2	0,7	0,0	0,0	0,0	0,0	7,3	0,0	0,0	0,0	0,0
148,1	126,2	64,2	28,7	0,0	116,4	111,4	93,2	155,2	174,0	0,0	149,8	75,5
13,3	96,4	86,6	180,5	287,2	8,7	29,6	22,3	18,3	6,3	0,8	24,9	13,4
10,0	24,2	86,6	0,8	0,0	6,4	21,0	16,0	15,4	2,7	37,3	33,3	34,4
67,3	159,0	48,0	117,4	184,9	43,5	65,1	78,7	62,5	60,5	135,7	77,0	114,0
0,0	1,6	48,0	7,5	4,7	0,0	1,1	1,0	7,3	0,0	0,9	0,0	0,0
107,7	73,9	48,0	62,8	177,2	122,3	78,1	85,7	162,7	183,2	57,8	81,9	64,0
171,5	23,7	56,8	121,4	66,9	95,2	151,5	156,2	128,2	141,0	155,3	275,8	265,8
0,0	4,5	56,8	0,6	0,0	0,0	0,0	0,0	7,3	0,0	0,0	0,0	0,0
15,7	19,6	63,6	76,4	54,7	1,9	16,6	13,9	9,7	0,0	11,4	15,7	19,7
17,2	50,0	63,6	10,9	0,0	54,1	51,5	40,8	76,0	77,0	37,9	44,6	37,6
175,4	84,4	27,5	125,4	124,8	139,6	78,6	183,6	184,6	210,2	229,7	252,4	272,4
1,5	0,0	27,5	0,0	0,0	0,2	0,2	0,5	7,5	0,0	0,0	0,0	0,0
150,7	107,4	27,5	13,3	0,0	166,8	92,6	218,1	219,2	252,6	283,9	348,9	207,3
32,5	92,9	81,7	176,2	254,2	17,9	37,7	29,2	30,0	20,6	33,0	21,6	26,4
7,4	57,1	81,7	0,0	0,0	1,4	2,1	1,5	9,0	0,0	0,0	0,0	6,7
197,9	73,6	60,7	70,2	57,2	182,9	212,4	219,8	239,7	277,6	195,7	251,7	250,1

0,0	1,1	60,7	14,6	3,3	0,0	0,0	0,0	7,3	0,0	0,3	0,0	0,0
122,5	134,7	60,7	59,6	77,3	70,9	88,2	93,0	97,4	103,2	80,3	69,3	103,2
123,0	80,6	87,0	173,1	178,2	118,8	164,5	147,5	158,2	177,8	123,6	239,5	171,0
0,0	2,0	87,0	0,0	0,0	0,3	3,5	3,3	7,6	0,0	1,7	3,2	0,3
15,0	6,5	56,9	38,8	19,5	3,9	9,8	7,6	12,2	0,0	8,3	12,3	12,7
6,2	4,5	56,9	0,3	0,0	1,0	13,8	11,1	8,5	0,0	45,9	37,3	16,8
336,0	241,0	72,7	236,6	485,0	211,2	239,5	217,7	275,6	321,7	188,4	294,5	203,5
3,0	0,0	72,7	0,0	0,0	1,0	1,2	1,1	8,5	0,0	0,0	0,0	0,3
62,0	88,5	72,7	62,9	29,5	113,9	105,3	95,2	152,0	170,2	79,1	84,0	68,8
66,0	84,0	85,5	203,5	252,0	19,7	41,4	22,4	32,3	23,4	32,8	23,4	17,1
23,0	5,0	85,5	0,0	0,0	21,4	30,2	16,0	34,5	26,1	3,1	63,9	29,0
480,0	230,0	88,3	160,0	274,0	194,9	304,9	205,9	254,9	296,3	212,5	228,1	227,8
0,0	1,5	88,3	9,5	4,5	0,0	0,1	0,1	7,3	0,0	0,3	0,0	0,1
116,0	197,5	88,3	57,5	0,0	99,6	107,6	71,0	133,8	147,9	46,5	50,5	55,0
118,0	207,5	86,4	242,0	440,5	58,3	120,8	76,1	81,3	83,5	160,8	121,6	92,1
3,0	5,5	86,4	5,5	16,5	0,0	1,6	1,0	7,3	0,0	0,0	0,0	0,0
3,0	3,0	101,2	100,5	3,0	0,0	4,0	2,1	7,3	0,0	4,3	0,0	0,6
54,0	63,5	101,2	30,5	58,5	69,0	105,0	59,0	94,9	100,2	59,9	70,3	61,1

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 26

Resumen de las precipitaciones estimadas en (mm), estación Mcal. Estigarribia Paraguay zona pluviométrica Chaco (sub zona 1)

Pp Real	Lineal	VM	MM (2)	DP	CK	RN	CLP	CL	CO	CM	RLM	VR
126,0	111,4	75,8	-	205,1	70,8	81,9	70,4	57,5	56,0	66,9	71,3	74,5
0,0	9,9	75,8	11,6	5,6	0,0	0,0	0,0	22,4	5,5	3,0	1,3	0,0
112,2	118,5	75,8	101,3	177,5	142,5	182,5	157,5	93,0	107,1	187,4	106,7	207,1
111,8	77,6	70,8	82,8	198,2	36,8	22,8	21,4	40,6	31,7	48,2	38,7	0,0
3,3	23,6	70,8	3,8	0,0	0,1	0,0	0,0	22,4	5,6	0,0	0,1	3,3
45,7	191,5	65,4	111,4	55,4	100,0	97,3	74,6	72,0	76,8	18,2	46,7	24,8
2,9	17,7	65,4	57,6	53,1	5,5	2,3	1,7	25,1	9,4	24,8	16,3	0,0
169,7	52,4	65,4	37,1	58,0	87,8	72,0	56,6	65,9	68,1	101,0	39,0	10,4
50,8	149,1	54,5	131,4	305,8	122,0	87,9	75,2	82,9	92,5	73,9	113,2	42,3
0,6	4,9	54,5	18,7	14,7	4,6	1,6	1,7	24,7	8,8	2,8	0,0	0,0
4,0	35,7	76,8	89,0	68,7	6,5	5,1	5,8	25,6	10,2	4,3	17,1	28,5
56,2	58,8	76,8	2,3	0,0	58,6	66,8	72,9	51,4	47,3	72,4	56,1	43,3
90,3	51,4	22,6	189,0	74,1	225,7	40,0	110,7	134,3	166,4	12,4	33,6	230,4
1,4	1,6	22,6	5,1	4,7	1,6	0,7	1,5	23,2	6,7	4,5	8,9	0,0

255,0	90,8	22,6	12,4	0,0	145,5	31,9	84,6	94,5	109,2	125,1	76,7	55,7
50,9	38,5	74,1	153,0	100,6	46,5	60,4	55,2	45,4	38,7	22,1	80,7	102,2
0,0	47,2	74,1	3,2	0,0	0,0	0,0	0,0	22,4	5,5	1,5	0,1	0,0
25,3	86,3	43,7	80,7	174,0	81,0	50,6	67,0	62,5	63,3	72,7	97,3	33,6
3,4	24,1	43,7	34,2	70,1	0,0	0,0	0,0	22,4	5,5	2,5	3,5	0,0
58,5	117,8	43,7	24,0	0,0	193,2	67,2	107,5	118,2	143,2	124,0	87,0	117,2

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 27

Resumen de las precipitaciones estimadas en (mm), estación Palmar Chico zona pluviométrica Chaco (sub zona I)

Pp Real	Lineal	VM	MM (2)	DP	CK	RN	CLP	CL	CO	CM	RLM	VR
158,9	145,3	87,3	-	224,3	70,8	94,3	70,7	75,0	74,7	92,6	77,1	90,9
0,0	5,0	87,3	133,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0
183,1	146,2	87,3	71,1	110,9	142,5	210,1	155,6	153,1	156,6	177,9	135,4	134,0
57,4	215,1	101,4	246,7	605,3	36,8	32,7	23,2	38,0	35,8	29,3	26,9	23,3
1,5	31,7	101,4	1,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	7,8	0,2	0,0
78,7	136,8	80,3	134,0	101,3	100,0	119,5	77,6	106,8	108,0	164,5	158,1	168,7
1,4	5,5	80,3	32,9	16,4	5,5	2,8	2,1	3,9	0,0	1,4	0,3	1,9
81,4	70,5	80,3	22,0	0,0	87,8	89,4	60,0	93,5	94,1	150,4	92,8	32,8
94,8	99,1	65,5	161,8	232,3	122,0	105,6	80,6	130,8	133,2	59,3	299,1	84,1
3,2	1,2	65,5	1,8	3,6	4,6	1,7	2,0	2,9	0,0	2,2	0,0	0,0
0,0	6,0	104,3	136,2	17,9	6,5	6,9	5,8	5,0	1,1	0,0	5,8	0,0
94,6	87,5	104,3	5,7	0,0	58,6	90,8	71,4	61,7	60,7	31,8	1,4	62,7
240,7	216,5	64,7	280,4	396,7	225,7	114,6	123,5	243,8	251,8	164,1	149,2	95,4
0,7	0,0	64,7	4,5	0,0	1,6	2,0	1,5	0,0	0,0	0,5	0,0	0,0
122,0	120,8	64,7	50,2	0,0	145,5	91,5	91,3	156,4	160,1	44,8	90,3	40,7
47,1	83,4	76,6	142,7	250,1	46,5	62,5	54,2	48,5	46,9	41,5	49,8	16,9
0,0	2,0	76,6	2,0	6,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	5,4	0,0	1,3
98,0	158,0	78,3	144,7	280,9	81,0	90,7	68,6	86,1	86,3	203,6	156,0	82,8
0,0	8,3	78,3	39,0	24,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,2	0,2	0,0
114,0	94,7	78,3	28,0	17,3	193,2	120,4	116,9	208,4	214,6	178,8	158,5	169,5

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 28

Resumen de las precipitaciones estimadas en (mm), estación Pratts Gill Paraguay zona pluviométrica Chaco (sub zona 1)

Pp Real	Lineal	VM	MM (2)	DP	CK	RN	CLP	CL	CO	CM	RLM	VR
108,5	94,2	77,2	-	128,5	70,8	83,4	71,3	56,1	55,6	108,2	83,1	94,1
0,0	8,4	77,2	66,8	19,1	0,0	0,0	0,0	14,0	8,1	1,1	2,9	0,0
92,0	108,0	77,2	118,5	190,8	142,5	192,0	155,9	98,8	103,7	84,0	146,7	162,8
67,4	90,8	66,3	107,4	249,0	36,8	21,3	22,3	35,9	32,8	94,0	17,9	0,0
0,0	32,5	66,3	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	14,1	8,2	0,0	0,0	2,1
22,1	152,5	44,3	147,4	192,6	100,0	65,9	76,5	73,5	75,2	115,6	64,1	43,0
0,0	19,5	44,3	33,9	58,5	5,5	1,5	1,8	17,3	11,8	6,5	3,4	5,5
55,4	63,3	44,3	30,5	0,0	87,8	61,3	57,8	66,2	67,0	40,0	48,6	49,7
31,5	111,4	51,6	85,1	134,9	122,0	83,2	78,0	86,6	89,9	70,8	49,2	62,6
0,0	25,5	51,6	30,5	76,5	4,6	1,5	1,8	16,7	11,2	1,4	0,0	0,0
11,4	17,9	69,3	100,1	34,4	6,5	4,6	5,8	17,9	12,5	42,2	2,7	11,8
65,8	43,0	69,3	11,8	4,2	58,6	60,3	72,3	48,9	47,4	46,2	7,7	49,0
86,8	119,5	36,9	144,4	210,2	225,7	65,3	115,8	148,3	159,5	141,2	64,1	136,8
0,2	0,1	36,9	0,3	0,3	1,6	1,1	1,5	14,9	9,2	1,4	0,2	0,0
80,0	110,7	36,9	12,0	0,0	145,5	52,1	86,9	100,6	105,7	91,4	47,3	50,0
24,0	76,6	83,1	175,2	229,7	46,5	67,8	54,7	41,7	39,3	82,9	56,5	17,2
0,0	52,8	83,1	3,9	0,0	0,0	0,0	0,0	14,0	8,1	0,0	0,0	9,1
150,4	60,0	50,0	80,0	24,1	81,0	57,9	67,9	62,2	62,4	165,1	66,0	24,3
0,0	10,9	50,0	14,6	20,7	0,0	0,0	0,0	14,0	8,1	8,7	3,6	3,3
98,2	92,9	50,0	2,7	0,0	193,2	76,8	110,7	128,9	137,7	120,3	215,0	86,7

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 29

Resumen de las precipitaciones estimadas en (mm), estación Sachapera zona pluviométrica Chaco (sub zona 1)

Pp Real	Lineal	VM	MM (2)	DP	CK	RN	CLP	CL	CO	CM	RLM	VR
93,5	163,3	79,7	-	242,3	70,8	86,2	69,4	66,2	65,8	98,2	70,6	78,8
0,0	1,9	79,7	97,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0
277,1	146,9	79,7	87,1	175,8	142,5	192,0	157,3	132,9	136,4	85,2	98,0	161,8
28,3	180,7	85,2	201,4	506,9	36,8	27,4	22,4	34,5	32,3	26,0	4,5	21,0
2,4	17,0	85,2	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,4	0,0	10,1	0,1	19,3

145,0	116,2	55,7	128,8	101,2	100,0	82,8	75,7	93,3	94,5	5,7	123,1	114,9
0,0	3,9	55,7	44,1	11,7	5,5	1,9	2,0	5,4	1,5	2,3	3,0	0,0
60,7	66,8	55,7	60,4	78,5	87,8	61,3	59,4	82,0	82,5	32,1	90,1	0,0
104,9	77,8	57,0	115,5	183,2	122,0	91,9	78,2	113,8	116,2	119,7	116,0	80,2
0,0	0,0	57,0	4,3	0,0	4,6	1,7	1,9	4,5	0,6	1,5	0,0	0,0
0,0	1,9	103,2	87,2	5,7	6,5	6,8	5,9	6,3	2,5	0,0	6,7	0,0
64,6	58,8	103,2	0,0	0,0	58,6	89,8	71,7	54,8	53,8	74,4	18,6	96,5
160,7	126,9	47,1	260,4	247,2	225,7	83,4	120,2	210,4	218,3	167,8	120,1	126,2
0,0	0,0	47,1	3,8	0,0	1,6	1,4	1,5	1,7	0,0	0,0	0,0	0,0
77,3	120,3	47,1	65,5	84,8	145,5	66,6	90,1	135,7	139,3	39,8	72,4	82,9
73,3	101,4	76,9	162,4	301,8	46,5	62,7	54,6	43,5	41,9	72,4	43,4	46,2
0,0	8,2	76,9	1,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,0	20,4	0,0	0,3
79,5	111,6	72,4	144,4	130,6	81,0	83,9	67,9	75,7	75,8	59,3	155,0	50,1
0,0	13,9	72,4	39,6	41,6	0,0	0,0	0,0	0,3	0,0	4,4	0,1	0,0
117,6	83,0	72,4	5,8	0,0	193,2	111,3	115,3	180,1	186,3	215,6	170,3	179,8

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 30

Resumen de las precipitaciones estimadas en (mm), estación Villamontes Aeropuerto zona pluviométrica Chaco (sub zona 1)

Pp Real	Lineal	VM	MM (2)	DP	CK	RN	CLP	CL	CO	CM	RLM	VR
108,6	109,9	60,5	-	239,1	70,8	65,4	70,6	58,7	58,1	150,5	29,9	26,8
0,0	5,2	60,5	45,3	7,0	0,0	0,0	0,0	3,5	0,0	1,0	0,0	0,0
183,7	115,1	60,5	70,6	75,7	142,5	145,7	155,9	114,6	120,1	108,3	134,1	105,8
40,8	106,7	71,3	103,3	268,9	36,8	23,0	22,9	32,2	28,7	31,6	14,7	42,4
4,2	16,5	71,3	0,3	0,0	0,1	0,0	0,0	3,6	0,0	0,0	0,0	0,0
78,9	145,3	55,6	154,2	185,2	100,0	82,7	77,1	81,5	83,4	313,5	109,0	139,7
9,6	2,2	55,6	29,1	6,6	5,5	1,9	2,0	7,8	1,7	3,9	1,4	0,0
26,6	48,1	55,6	38,4	55,9	87,8	61,2	59,5	72,0	72,8	115,6	77,9	5,8
11,2	69,3	39,0	79,0	170,2	122,0	62,9	79,7	98,6	102,4	20,1	141,1	79,1
0,0	1,9	39,0	3,1	5,7	4,6	1,2	2,0	7,1	0,9	1,7	0,0	0,0
4,4	11,2	61,2	103,4	14,7	6,5	4,1	5,8	8,6	2,5	14,8	14,4	38,2
63,5	14,5	61,2	0,0	0,0	58,6	53,3	71,6	49,2	47,6	49,7	39,3	74,3
261,6	228,9	75,0	273,3	518,2	225,7	132,9	121,3	179,5	192,1	113,3	72,5	54,1
2,1	0,0	75,0	4,2	0,0	1,6	2,3	1,5	4,8	0,0	0,3	0,8	0,0
269,0	188,1	75,0	82,9	71,0	145,5	106,1	90,1	117,0	122,7	90,2	18,4	26,9
68,7	59,5	81,3	114,5	171,7	46,5	66,3	54,4	39,8	37,1	44,4	54,6	66,8
0,0	5,3	81,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,5	0,0	0,0	0,0	15,2

118,6	155,2	69,3	160,4	114,8	81,0	80,3	68,4	66,7	67,0	174,9	70,8	60,9
0,0	26,6	69,3	75,2	79,7	0,0	0,0	0,0	3,5	0,0	3,1	0,7	0,0
127,7	84,6	69,3	0,0	0,0	193,2	106,5	115,3	154,1	164,0	138,1	204,3	145,8

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 31

Resumen de las precipitaciones estimadas en (mm), estación Emborozú zona pluviométrica Chaco (sub zona 2)

Pp Real	Lineal	VM	MM (2)	DP	CK	RN	CLP	CL	CO	CM	VR	RLM
249,4	506,4	173,9	-	612,6	268,0	332,9	200,0	498,1	556,3	294,1	443,7	334,7
7,7	22,3	173,9	29,8	46,7	0,0	2,8	1,7	29,9	2,4	9,8	0,0	8,2
500,5	244,8	173,9	172,2	140,9	209,6	359,4	214,0	396,0	435,6	197,8	507,5	495,7
141,2	122,9	207,6	356,3	333,0	70,1	247,1	91,9	152,3	147,2	214,7	170,6	72,6
37,0	9,9	207,6	9,6	0,0	0,0	13,7	4,3	29,9	2,4	3,5	1,5	36,1
302,2	546,6	228,9	496,4	865,3	274,0	504,1	282,0	508,5	568,7	411,8	475,9	485,7
44,3	19,6	228,9	160,0	51,7	8,0	36,9	19,5	43,9	18,9	13,4	73,8	29,2
147,8	405,6	228,9	102,8	3,0	110,5	211,8	113,7	222,9	230,7	194,5	268,3	72,4
578,7	171,6	172,4	408,3	431,5	235,2	298,5	167,6	440,8	488,5	382,6	360,8	422,0
0,0	17,9	172,4	8,6	0,0	0,3	1,8	2,5	30,4	3,0	1,8	0,0	8,9
44,1	126,2	162,2	324,4	322,2	24,5	35,3	17,4	72,7	53,0	40,5	45,8	35,5
51,0	39,7	162,2	17,2	25,0	12,4	57,4	26,4	51,5	28,0	0,0	80,1	50,7
259,5	472,3	174,3	263,8	356,8	76,5	316,0	179,4	163,5	160,5	246,1	373,8	400,3
63,0	45,4	174,3	62,5	77,2	2,0	5,8	3,3	33,4	6,5	7,8	16,2	13,4
94,3	167,3	174,3	95,1	143,9	111,9	232,6	123,0	225,4	233,6	575,3	442,1	207,5
120,9	166,1	146,0	325,5	387,8	83,7	245,4	99,2	176,1	175,3	97,4	205,4	160,1
5,5	66,0	146,0	6,7	0,0	1,1	34,7	16,1	31,8	4,6	5,2	41,8	22,0

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 32

Resumen de las precipitaciones estimadas en (mm), estación Itaú zona pluviométrica Chaco (sub zona 2)

Pp Real	Lineal	VM	MM (2)	DP	CK	RN	CLP	CL	CO	CM	VR	RLM
123,8	170,0	54,3	-	0,0	268,0	103,9	196,9	192,8	218,5	69,0	132,3	171,1
0,0	0,0	54,3	0,0	0,0	0,0	0,9	1,9	18,8	6,6	0,2	0,0	4,3
218,5	104,0	54,3	65,4	6,2	209,6	112,1	216,0	154,9	172,3	319,2	198,6	199,3
190,6	62,5	84,6	149,8	157,6	70,1	100,7	92,6	64,3	62,0	14,8	64,1	83,6

8,0	19,0	84,6	0,8	0,0	0,0	5,6	4,8	18,8	6,6	0,0	9,8	0,0
163,0	197,3	104,9	163,4	276,2	274,0	231,0	278,9	196,7	223,3	117,6	203,2	143,7
19,0	8,3	104,9	66,3	24,8	8,0	16,9	20,1	24,0	12,9	1,9	62,8	19,4
91,0	180,1	104,9	56,1	44,3	110,5	95,8	113,6	90,5	94,0	59,5	87,7	110,7
60,0	80,0	68,2	179,3	120,0	235,2	118,0	161,1	171,5	192,6	217,2	73,8	118,6
2,0	1,0	68,2	3,5	3,0	0,3	1,8	2,6	19,0	6,8	0,2	1,0	0,5
18,6	43,7	56,3	95,6	114,6	24,5	12,3	17,0	34,7	26,0	33,2	19,7	9,8
33,0	44,9	56,3	0,0	0,0	12,4	19,9	26,8	26,8	16,4	101,8	30,0	34,4
110,0	153,3	77,0	113,9	276,7	76,5	139,5	183,2	68,4	67,1	104,2	142,9	146,3
0,0	28,0	77,0	47,0	64,0	2,0	2,5	3,3	20,1	8,2	0,4	2,0	0,3
92,0	127,5	77,0	42,0	0,0	111,9	102,7	121,8	91,4	95,1	0,0	147,2	57,8
141,0	49,4	78,6	136,7	65,2	83,7	132,1	98,4	73,1	72,8	71,3	75,7	51,0
16,0	22,0	78,6	0,0	0,0	1,1	18,7	16,7	19,5	7,5	0,2	18,0	0,0

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 33

Resumen de las precipitaciones estimadas en (mm), estación Calderillas zona pluviométrica Alta

Pp Real	Lineal	VM	MM (2)	DP	CK	RN	CLP	CL	CO	CM	VR	RLM
251,8	296,3	83,7	-	215,6	82,7	275,4	73,6	276	318,7	197,2	162,7	210,1
0	5,8	83,7	5,5	0,0	0	0	0	25,4	5,9	1	0	1,0
162,7	216,7	83,7	55,3	0,0	23,7	51,2	13,8	97,2	95,5	222,5	24,7	112,8
94,2	85,8	134,1	266,2	249,1	11,1	129,3	32,5	59	47,9	94,1	69,5	42,1
10,4	21,9	134,1	8,1	10,6	5,3	12,6	3	41,5	25,9	8,2	16,7	62,9
174,3	164	41,6	195,5	306,9	93,9	152,1	51,5	309,9	361,1	179,9	185,6	193,8
0	7,4	41,6	22,4	17,9	0	0	0	25,4	5,9	0,7	0	0,0
142	83	41,6	17,6	0,0	9,1	39,5	11,9	53	40,3	117,3	0	86,2
109,1	250,2	128,6	303,9	671,6	23,3	24,8	9,1	96	94	49,2	40,4	144,1
20	6,4	128,6	1,4	0,0	0	20,4	7,9	25,4	5,9	13	0	20,7
1,8	47	140,9	138,9	140,3	0	0	0	25,4	5,9	4,2	1,1	0,7
57,7	84,8	140,9	20,7	0,0	14,1	79,1	17,6	68,1	59,2	53,4	74,2	27,4
149,9	299,3	93,9	483,7	744,2	47,7	153,1	47,4	169,9	186,3	250,2	86,1	192,9
0	0,5	93,9	1,7	1,5	0	1,2	0,3	25,4	5,9	4,3	0	1,1
198,4	250,6	93,9	102,5	101,5	37,1	108,6	33,2	137,8	146,2	224,5	44,7	158,4
73	193	129,1	300,4	569,5	8,7	101,9	32,5	51,8	38,8	68,1	73,7	61,5
19,6	22,9	129,1	2,8	0,0	0,2	5,7	2	26	6,6	13,6	24,7	4,0
213,3	179,8	75,3	154,6	319,3	74,7	247,4	80,5	251,7	288,5	252,1	263,2	355,6
7,9	1	75,3	32,3	1,6	0	0	0	25,4	5,9	0	1,3	0,1
74	126,8	75,3	23,9	0,0	47,3	86,1	28,6	168,7	184,8	208,8	37,5	138,2

118	103,6	110,9	237,1	230,2	0	94,5	24,3	25,4	5,9	231,8	0	199,9
1,9	3,5	110,9	0	0,0	0	0	0	25,4	5,9	7,3	11,8	3,5
2,3	12,6	109,6	136	37,8	0	0	0	25,4	5,9	3,2	2,8	0,6
43,8	59,7	109,6	15,2	0,0	12,5	63,5	15,4	63,3	53,2	31,8	76,9	22,8
245,5	209,1	81	226,5	483,7	42,4	157,9	54	153,9	166,3	193	165,2	193,7
3,7	4,1	81	0,1	0,0	0,5	0,6	0,2	26,9	7,8	0,3	8	0,7
165,5	139,3	81	20,5	165,5	16	76,5	27,4	73,9	66,4	98,9	86	138,5

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 34

Resumen de las precipitaciones estimadas en (mm), estación El Puente (c) zona pluviométrica Alta

Pp Real	Lineal	VM	MM (2)	DP	CK	RN	CLP	CL	CO	CM	VR	RLM
32,6	24,1	9,1	-	37,9	82,7	30	73,4	100,5	141,3	82,4	58,7	109,5
0	0	9,1	0	0,0	0	0	0	9,5	0	0	0	0
53,3	30,6	9,1	13,9	0,0	23,7	5,6	13,5	35,6	34	85,4	27,1	13,9
47,5	23,6	31,6	85,5	70,8	11,1	30,4	33,1	21,7	11	13,6	21,3	7,5
0	13,2	31,6	0	0,0	5,3	3	2,9	15,3	0,5	3,3	5,7	4,9
38	58,6	15,4	28,8	0,0	93,9	56,1	50,4	112,8	161,7	23,7	44,5	24,1
0	0,1	15,4	6,8	0,0	0	0	0	9,5	0	0	0	0
0,3	10,6	15,4	11,5	7,5	9,1	14,5	12	19,5	7,4	62,6	14,3	12,3
59,3	80	65,8	96,5	214,0	23,3	12,7	8,7	35,1	33,2	0	4,9	20,5
16	0	65,8	2,5	0,0	0	20,4	8,2	9,5	0	4,1	6,9	1,5
0	0	49,4	38,5	0,0	0	0	0	9,5	0	0	0	0
66	80	49,4	11	0,0	14,1	27,7	17,7	25	16,5	31,1	13,8	6,8
102	69	26,1	124,5	207,0	47,7	42,6	47,3	62	77,6	92,6	60,1	102,8
0	0	26,1	0	0,0	0	0,3	0,3	9,5	0	0	0	0
34	104	26,1	43	22,0	37,1	30,2	33,1	50,3	58,3	160,4	102,6	26,5
22	129,5	68,2	217,5	388,5	8,7	53,8	33,2	19,1	6,7	24,1	10	7,8
14	11,5	68,2	0	0,0	0,2	3	2,1	9,7	0	1,2	0	3,9
57	83	26,9	39,5	9,0	74,7	88,5	80,6	91,7	126,8	110,4	120,5	106,1
0	0	26,9	0	0,0	0	0	0	9,5	0	0	0	0
63	23,8	26,9	5,5	0,0	47,3	30,8	28,1	61,5	76,9	82,4	10,3	43,6
80,5	46,7	25	47	98,1	0	21,3	25	9,5	0	96,3	79,6	11,9
1	0	25	0	0,0	0	0	0	9,5	0	0,8	2,7	0
0	17	51,4	59,4	51,0	0	0	0	9,5	0	0	0	0
15	23	51,4	7	0,0	12,5	29,8	15,5	23,2	13,6	25,2	8,9	6,8
104,5	128,3	42	107,5	149,8	42,4	81,8	54,3	56,1	68	108,3	103,2	106,1
0	0	42	0	0,0	0,5	0,3	0,1	10	0	0	0	0

15	60,7	42	17,5	15,0	16	39,6	27,7	27,1	20	51,6	45,4	87,9
----	------	----	------	------	----	------	------	------	----	------	------	------

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 35

Resumen de las precipitaciones estimadas en (mm), estación Carrizal zona pluviométrica Alta

Pp Real	Lineal	VM	MM (2)	DP	CK	RN	CLP	CL	CO	CM	VR	RLM
97,2	54,2	14,8	-	77,3	78,5	53	78,1	69,6	84,9	57	63,3	40,3
0	0	14,8	5	0,0	0	0	0	1,8	0	0	0	0,0
26	79,3	14,8	7,2	0,0	54,2	24,5	36,2	48,6	57,4	27,5	46,8	52,4
0	56,8	34	56,8	170,3	0	0,7	0,6	1,8	0	1,6	0	0,0
0	5,8	34	0	0,0	0	2,5	1,7	1,8	0	0	0	0,0
82	58,8	12	29,3	58,3	78,5	36,8	68,4	69,6	84,9	97,6	54,5	97,8
0	1	12	1	3,0	0	0	0	1,8	0	0	0	0,0
3	12,5	12	4,5	5,5	4	0,8	1,6	5,2	0,6	17,4	0,8	38,3
0	40,5	22,8	78,5	121,5	17,9	20,5	20,1	17,2	16,3	5,5	46,1	35,8
0	0	22,8	0	0,0	0	13,6	10,8	1,8	0	0	0	0,0
0	0	19,7	4	0,0	0	0	0	1,8	0	1,3	0	0,0
6	7	19,7	0	0,0	8,3	30,8	41,3	8,9	5,5	10,7	8,4	8,8
52	49,5	16,3	50	100,5	60,1	44,5	78,5	53,7	64,1	40,2	45,4	79,0
0	0	16,3	0	0,0	0	0	0	1,8	0	0	0	0,0
5	47	16,3	19	11,0	22,6	12	20,1	21,3	21,7	2,3	19,9	30,9
0	20	19,6	26	60,0	0	2,5	2,1	1,8	0	4	0,9	0,1
0	0	19,6	0	0,0	0	10	8,3	1,8	0	0	0	0,0

Fuente: Elaboración Propia

4.3. Método lineal.

En la Tabla 36 se presenta el resumen para los indicadores del método lineal.

- Los valores de r nos expresan que este método nos brinda una correlación alta.
- Los valores más dispersos se encuentran en la zona del Chaco (sub zona 2), según EEE.
- El método lineal no logra replicar de manera eficiente el patrón de comportamiento de la serie de lluvias mensuales (figura 13).

- Los resultados de los indicadores de r y EEE nos brindan resultados muy parecidos para las tres zonas pluviométricas.

Tabla 36

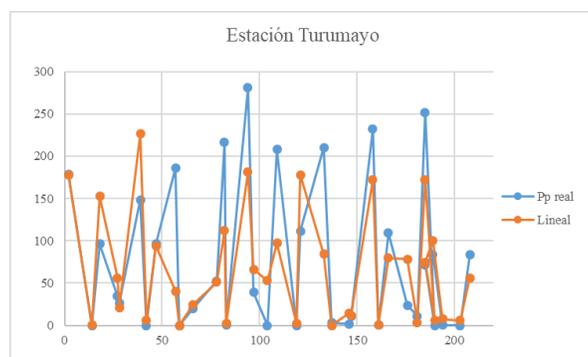
Resumen de los indicadores para el método lineal

Zona	r	EEE
Central	0,58 a 0,80	45-72
Chaco (sub zona 1)	0,55 a 0,88	33-55
Chaco (sub zona 2)	0,53 a 0,86	58-81
Alta	0,54 a 0,86	27-34

Fuente: Elaboración Propia

Figura 13

Comportamiento de la serie de lluvias mensuales



Fuente: Elaboración Propia

4.4. Valor medio

En la Tabla 37 se presenta el resumen para los indicadores del método valor medio.

- Los valores de r nos expresan que este método nos brinda una correlación nula o muy baja.
- Los valores más dispersos se encuentran en la zona del Chaco (sub zona 2), según EEE.
- El método valor medio no logra replicar de ninguna manera el patrón de comportamiento de la serie de lluvias mensuales (figura 14).

- Los resultados de los indicadores de r y EEE nos brindan resultados muy parecidos para las tres zonas pluviométricas.

Tabla 37

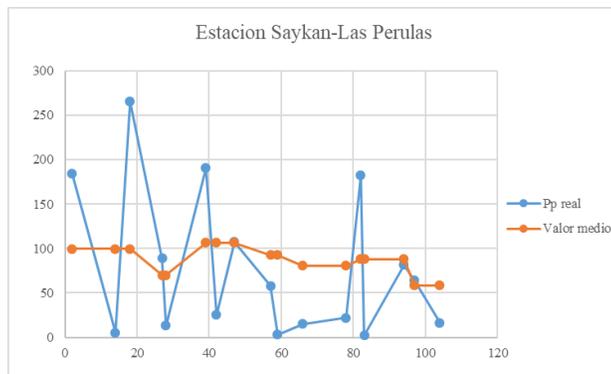
Resumen de los indicadores para el método valor medio

Zona	r	EEE
Central	-0,03 a -0,26	56-97
Chaco (sub zona 1)	-0,05 a -0,21	39-83
Chaco (sub zona 2)	0,06 a 0,38	73-175
Alta	-0,03 a -0,38	28-99

Fuente: Elaboración Propia

Figura 14

Comportamiento de la serie de lluvias mensuales



Fuente: Elaboración Propia

4.5. Media móvil

En la Tabla 38 se presenta el resumen para los indicadores del método media móvil.

- Los valores de r nos expresan que este método nos brinda una correlación moderada para las zonas Central y para el Chaco (sub zona 2), y para las zonas Chaco (sub zona 1) y Alta una correlación baja.
- El método media móvil no logra replicar el patrón de comportamiento de la serie de lluvias mensuales (figura 15).

Tabla 38

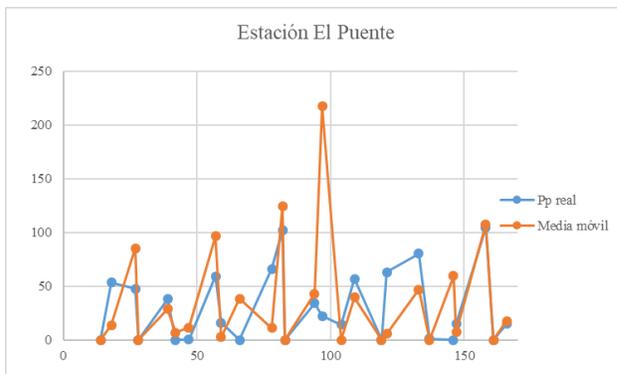
Resumen de los indicadores para el método media móvil

Zona	r	EEE
Central	0,44 a 0,71	51-91
Chaco (sub zona 1)	0,21 a 0,56	49-83
Chaco (sub zona 2)	0,42 a 0,68	59-97
Alta	0,26 a 0,67	30-48

Fuente: Elaboración Propia

Figura 15

Comportamiento de la serie de lluvias mensuales



Fuente: Elaboración Propia

4.6. Método de las diferencias promedio

En la Tabla 39 se presenta el resumen para los indicadores del método diferencias promedio.

- Los valores de r nos expresan que este método nos brinda una correlación moderada para las zonas Central y para el Chaco (sub zona 2), para el Chaco (sub zona 1) una correlación baja y para la zona Alta una correlación baja.
- Los valores más dispersos se encuentran en la zona del Chaco (sub zona 1), según EEE.
- El método diferencias promedio no logra replicar el patrón de comportamiento de la serie de lluvias mensuales (figura 16).

Tabla 39

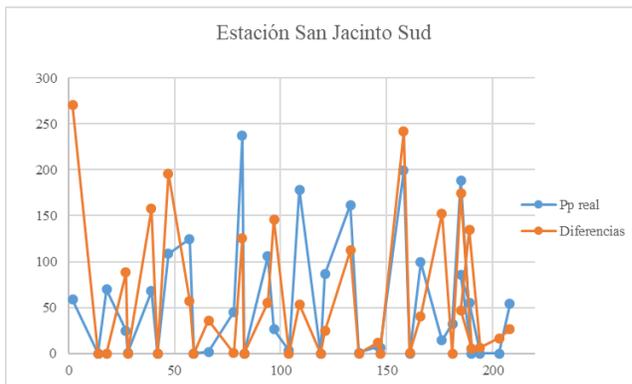
Resumen de los indicadores para el método diferencias promedio

Zona	r	EEE
Central	0,40 a 0,65	72-99
Chaco (sub zona 1)	0,18 a 0,44	85-156
Chaco (sub zona 2)	0,40 a 0,60	76-88
Alta	0,30 a 0,58	55-106

Fuente: Elaboración Propia

Figura 16

Comportamiento de la serie de lluvias mensuales



Fuente: Elaboración Propia

4.7. Criterio de Karl

En la Tabla 40 se presenta el resumen para los indicadores del método criterio de Karl.

- Los valores de r nos expresan que este método nos brinda una correlación alta para la zona Central, para el Chaco (sub zona 1) y zona Alta una correlación moderada.
- Los valores más dispersos se encuentran en la zona del Chaco (sub zona 2), según EEE.
- El método criterio de Karl logra replicar el patrón de comportamiento de la serie de lluvias mensuales (figura 17) de forma regular.

Tabla 40

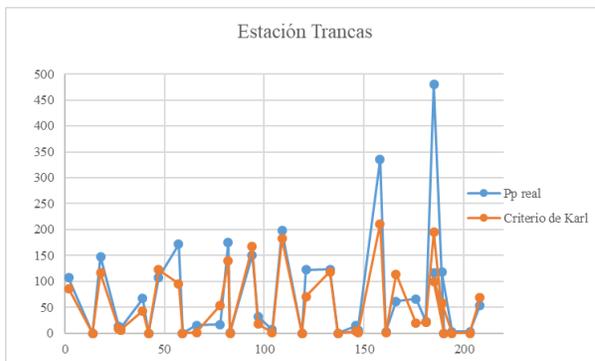
Resumen de los indicadores para el método criterio de Karl

Zona	r	EEE
Central	0,84 a 0,93	35-59
Chaco (sub zona 1)	0,55 a 0,83	32-54
Chaco (sub zona 2)	0,70 a 0,83	62-73
Alta	0,64 a 0,85	11-32

Fuente: Elaboración Propia

Figura 17

Comportamiento de la serie de lluvias mensuales



Fuente: Elaboración Propia

4.8. Razón normal.

En la Tabla 41 se presenta el resumen para los indicadores del método razón normal.

- Los valores de r nos expresan que este método nos brinda una correlación alta para todas las zonas pluviométricas.
- Los valores más dispersos se encuentran en la zona del Chaco (sub zona 2), según EEE.
- El método razón normal logra replicar el patrón de comportamiento de la serie de lluvias mensuales de forma regular (figura 18).

Tabla 41

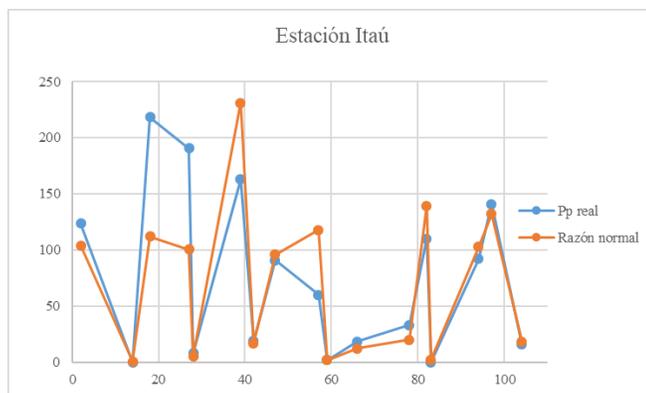
Resumen de los indicadores para el método razón normal

Zona	r	EEE
Central	0,80 a 0,95	31-56
Chaco (sub zona 1)	0,65 a 0,88	31-54
Chaco (sub zona 2)	0,77 a 0,82	43-113
Alta	0,64 a 0,86	18-48

Fuente: Elaboración Propia

Figura 18

Comportamiento de la serie de lluvias mensuales



Fuente: Elaboración Propia

4.9. Correlación lineal ponderada.

En la Tabla 42 se presenta el resumen para los indicadores del método correlación lineal ponderada.

- Los valores de r nos expresan que este método nos brinda una correlación alta para todas las zonas pluviométricas.
- Los valores más dispersos se encuentran en la zona del Chaco (sub zona 2), según EEE.
- El método correlación lineal ponderada logra replicar el patrón de comportamiento de la serie de lluvias mensuales de forma regular (figura 19).

Tabla 42

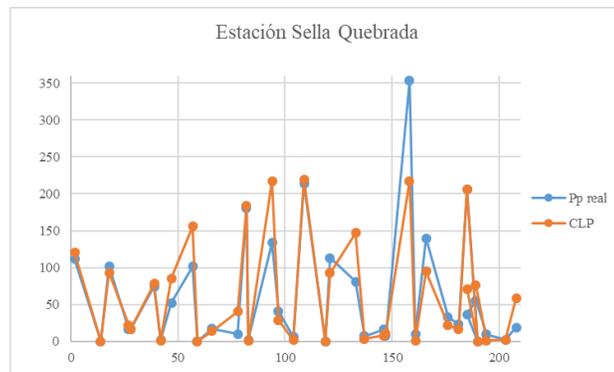
Resumen de los indicadores para el método correlación lineal ponderada

Zona	r	EEE
Central	0,87 a 0,95	34-59
Chaco (sub zona 1)	0,75 a 0,92	35-58
Chaco (sub zona 2)	0,81 a 0,82	54-130
Alta	0,63 a 0,86	15-27

Fuente: Elaboración Propia

Figura 19

Comportamiento de la serie de lluvias mensuales



Fuente: Elaboración Propia

4.10. Correlación lineal

En la Tabla 43 se presenta el resumen para los indicadores del método correlación lineal.

- Los valores de r nos expresan que este método nos brinda una correlación muy alta para la zona Central, para el Chaco y zona Alta una correlación alta.
- El método correlación lineal logra replicar el patrón de comportamiento de la serie de lluvias mensuales de forma regular (figura 20).

Tabla 43

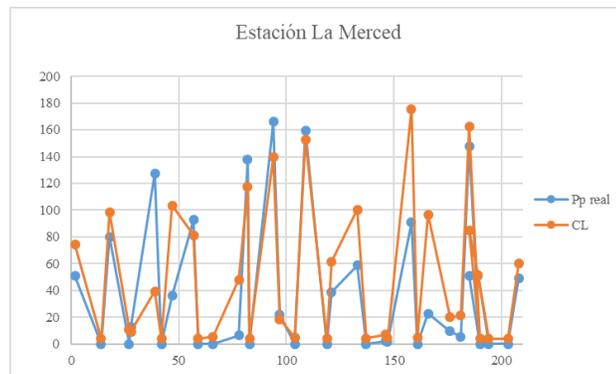
Resumen de los indicadores para el método correlación lineal

Zona	r	EEE
Central	0,84 a 0,93	31-53
Chaco (sub zona 1)	0,69 a 0,83	34-52
Chaco (sub zona 2)	0,70 a 0,83	54-74
Alta	0,64 a 0,85	20-55

Fuente: Elaboración Propia

Figura 20

Comportamiento de la serie de lluvias mensuales



Fuente: Elaboración Propia

4.11. Correlación ortogonal

En la Tabla 44 se presenta el resumen para los indicadores del método correlación ortogonal.

- Los valores de r nos expresan que este método nos brinda una correlación muy alta para la zona Central, para el Chaco y zona Alta una correlación alta.
- Los valores más dispersos se encuentran en la zona del Chaco (sub zona 2), según EEE.
- El método correlación ortogonal logra replicar el patrón de comportamiento de la serie de lluvias mensuales de forma regular (figura 21).

Tabla 44

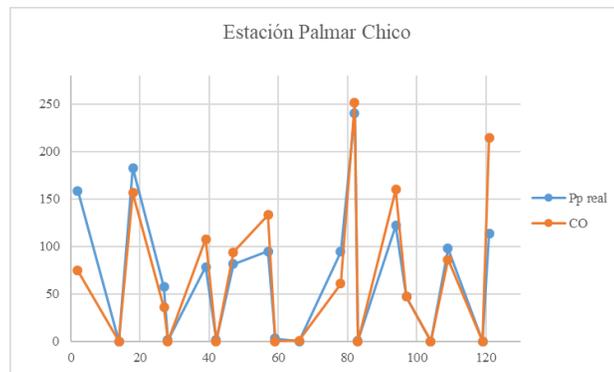
Resumen de los indicadores para el método correlación ortogonal

Zona	R	EEE
Central	0,84 a 0,93	35-52
Chaco (sub zona 1)	0,69 a 0,89	31-51
Chaco (sub zona 2)	0,70 a 0,83	54-72
Alta	0,67 a 0,84	22-42

Fuente: Elaboración Propia

Figura 21

Comportamiento de la serie de lluvias mensuales



Fuente: Elaboración Propia

4.12. Correlación múltiple

En la Tabla 45 se presenta el resumen para los indicadores del método correlación múltiple.

- Los valores de r nos expresan que este método nos brinda una correlación alta para la zona Central, Alta y Chaco (sub zona 1), y para Chaco (sub zona 2) una correlación moderada.
- Los valores más dispersos se encuentran en la zona del Chaco (sub zona 2), según EEE.
- El método correlación múltiple logra replicar el patrón de comportamiento de la serie de lluvias mensuales de forma regular (figura 22).

Tabla 45

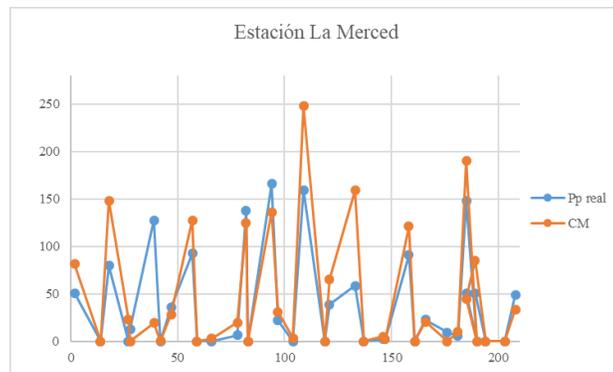
Resumen de los indicadores para el método correlación múltiple

Zona	r	EEE
Central	0,77 a 0,90	30-72
Chaco (sub zona 1)	0,68 a 0,85	42-60
Chaco (sub zona 2)	0,59 a 0,60	75-156
Alta	0,86 a 0,92	37-49

Fuente: Elaboración Propia

Figura 22

Comportamiento de la serie de lluvias mensuales



Fuente: Elaboración Propia

4.13. Relación lineal múltiple.

En la Tabla 46 se presenta el resumen para los indicadores del método relación lineal múltiple.

- Los valores de r nos expresan que este método nos brinda una correlación alta para la zona Central, Alta y Chaco (sub zona 2), para el Chaco (sub zona 1) una correlación moderada.
- El método relación lineal múltiple logra replicar el patrón de comportamiento de la serie de lluvias mensuales de forma regular (figura 23).

Tabla 46

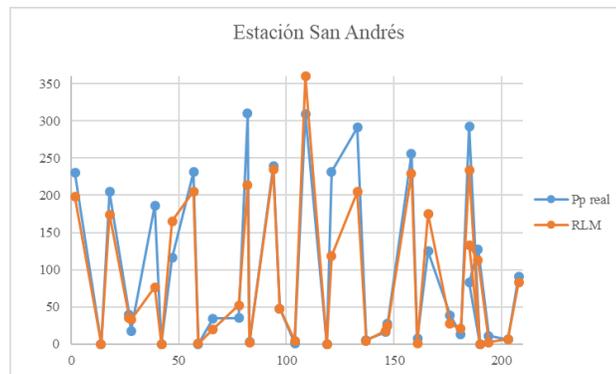
Resumen de los indicadores para el método relación lineal múltiple

Zona	r	EEE
Central	0,81 a 0,93	47-60
Chaco (sub zona 1)	0,49 a 0,66	35-66
Chaco (sub zona 2)	0,82 a 0,89	43-84
Alta	0,60 a 0,87	23-46

Fuente: Elaboración Propia

Figura 23

Comportamiento de la serie de lluvias mensuales



Fuente: Elaboración Propia

4.14. Vector regional

En la Tabla 47 se presenta el resumen para los indicadores del método vector regional.

- Los valores de r nos expresan que este método nos brinda una correlación alta para todas las zonas pluviométricas.
- Los valores más dispersos se encuentran en la zona del Chaco (sub zona 2), según EEE.
- El método vector regional logra replicar el patrón de comportamiento de la serie de lluvias mensuales de forma regular (figura 24).

Tabla 47

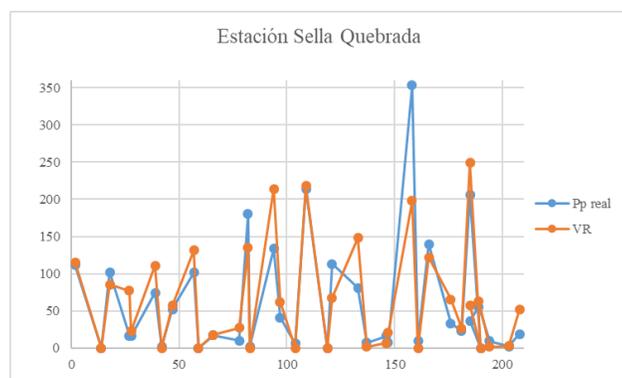
Resumen de los indicadores para el método vector regional

Zona	r	EEE
Central	0,81 a 0,93	38-66
Chaco (sub zona 1)	0,63 a 0,87	50-82
Chaco (sub zona 2)	0,78 a 0,82	42-132
Alta	0,65 a 0,83	17-66

Fuente: Elaboración Propia

Figura 24

Comportamiento de la serie de lluvias mensuales



Fuente: Elaboración Propia

4.15. Elección del mejor método

Para determinar el método que mejor se adecuaba a cada zona pluviométrica de Tarija, se asignó un puntaje equivalente al orden de mérito que ocupaban según el análisis de concordancia de Bland Altman, coeficiente de correlación (r) y error estándar de estimación (EEE) (ANEXO 8).

Al método que tiene mayor precisión se le asignó el valor de 1, al segundo el valor de 2 y así sucesivamente para cada una de las estaciones de cada zona pluviométrica.

Finalmente se realiza la suma de puntajes, donde, el método que tenga menor puntaje acumulado, será el método más preciso.

4.15.1. Puntajes finales de los métodos de completación de datos

Tabla 48

Puntajes finales de los métodos de completación de datos (zona pluviométrica Central).

Métodos	Puntajes				Orden General
	Puntaje análisis Bland-Altman	Puntaje coeficiente correlación	Puntaje error estándar de estimación	Puntaje ponderado	
Correlación Lineal	21	22	19	20,7	1
Correlación ortogonal	21	24	21	22,0	2
Razón Normal	40	23	18	27,0	3
Correlación Lineal Ponderada	51	12	27	30,0	4
Relación Lineal Múltiple	34	34	30	32,7	5
Vector Regional	30	36	37	34,3	6
Criterio de Karl	52	30	29	37,0	7
Correlación Múltiple Lineal	55	37	41	44,3	8
Diferencias Promedio	35	53	51	46,3	9
Media Móvil (2)	37	64	66	55,7	10
Valor Medio	49	61	60	56,7	11
	43	72	69	61,3	12

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 49

Puntajes finales de los métodos de completación de datos (zona pluviométrica Chaco sub zona 1).

Métodos	Puntajes				Orden General
	Puntaje análisis Bland-Altman	Puntaje coeficiente correlación	Puntaje error estándar de estimación	Puntaje ponderado	
Correlación Lineal	19	15	15	16,3	1
Correlación Ortogonal	20	22	18	20,0	2
Criterio de Karl	28	20	25	24,3	3
Correlación Lineal Ponderada	41	16	19	25,3	4
Razón Normal	35	22	22	26,3	5
Correlación Múltiple Lineal	27	27	27	27,0	6
Relación Lineal Múltiple	28	32	31	30,3	7
Vector Regional	30	39	39	36,0	8
	37	38	35	36,7	9
Valor Medio	25	58	48	43,7	10

Media Móvil (2)	40	49	51	46,7	11
Diferencias Promedio	60	52	60	57,3	12

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 50

Puntajes finales de los métodos de completación de datos (zona pluviométrica Chaco sub zona 2).

Métodos	Puntajes				Orden General
	Puntaje análisis Bland-Altman	Puntaje coeficiente correlación	Puntaje error estándar de estimación	Puntaje ponderado	
Correlación Lineal	5	7	6	6,0	5
Relación Lineal Múltiple	11	5	4	6,7	11
Razón Normal	11	8	5	8,0	11
Correlación Ortogonal	8	9	12	9,7	8
Vector Regional	16	9	8	11,0	16
Correlación Lineal Ponderada	23	7	11	13,7	23
Lineal	12	18	17	15,7	12
Media Móvil (2)	14	18	15	15,7	14
Criterio de Karl	23	11	15	16,3	23
Correlación Múltiple	11	18	20	16,3	11
Valor Medio	8	24	19	17,0	8
Diferencias Promedio	14	22	24	20,0	14

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 51

Puntajes finales de los métodos de completación de datos (zona pluviométrica Alta).

Métodos	Puntajes				Orden General
	Puntaje análisis Bland-Altman	Puntaje coeficiente correlación	Puntaje error estándar de estimación	Puntaje ponderado	
Correlación Lineal	7	15	12	11,3	7
Correlación Múltiple	14	8	15	12,3	14
Razón Normal	17	15	10	14,0	17
Correlación Ortogonal	11	17	17	15,0	11
Relación Lineal Múltiple	15	15	16	15,3	15
Vector Regional	14	19	16	16,3	14
Correlación Lineal Ponderada	28	13	15	18,7	28
Lineal	25	14	19	19,3	25
Criterio de Karl	28	19	16	21,0	28
Valor Medio	15	34	30	26,3	15

Media Móvil (2)	24	33	32	29,7	24
Diferencias Promedio	36	32	36	34,7	36

Fuente: Elaboración Propia

4.16. Análisis de resultados.

En las tablas 52 y 53 se muestran los resultados de las estimaciones realizadas por cada uno de los métodos de estimación de datos faltantes en todas las zonas pluviométricas en las que fueron aplicados. Para cada método, se calcularon tres indicadores, coeficiente de correlación, error estándar de estimación y test de Bland-Altman.

- Observando los resultados del coeficiente de correlación, EEE y test Bland-Altman, se tiene que el método con mejor desempeño en la estimación para todas las zonas pluviométricas de Tarija, bajo un porcentaje de datos faltantes del 20% es la correlación lineal.

Tabla 52

Clasificación por coeficiente de correlación

Métodos	Clasificación por coeficiente de correlación (r)			
	Zona Central	Zona Alta	Zona Chaco (sub zona 1)	Zona Chaco (sub zona 2)
Correlación Lineal	Muy alta	Alta	Alta	Alta
Correlación ortogonal	Muy alta	Alta	Alta	Alta
Razón Normal	Muy alta	Alta	Alta	Alta
Correlación Lineal Ponderada	Alta	Alta	Alta	Alta
Relación Lineal Múltiple	Alta	Alta	Moderada	Alta
Vector Regional	Alta	Alta	Alta	Alta
Criterio de Karl	Alta	Alta	Alta	Alta
Correlación Múltiple Lineal	Alta	Alta	Alta	Moderada
Diferencias Promedio	Moderada	Moderada	Moderada	Moderada
Media Móvil (2)	Moderada	Nula	Nula	Moderada
Valor Medio	Moderada	Moderada	Moderada	Moderada
	Nula	Nula	Nula	Nula

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 53*Rango de resultados error estándar de estimación (EEE)*

Métodos	Rango de resultados error estándar de estimación (EEE)			
	Zona Central	Zona Alta	Zona Chaco (sub zona 1)	Zona Chaco (sub zona 2)
Correlación Lineal	31-53	20-55	34-52	54-74
Correlación ortogonal	35-52	22-42	31-51	54-72
Razón Normal	31-56	18-48	31-54	43-113
Correlación Lineal Ponderada	34-59	15-27	35-58	54-130
Relación Lineal Múltiple	47-60	23-46	35-66	43-84
Vector Regional	38-66	17-66	50-82	42-132
Criterio de Karl	35-59	11.-32	32-54	62-73
Correlación Múltiple Lineal	30-72	37-49	42-60	75-156
Diferencias Promedio	45-72	27-34	33-55	58-81
Media Móvil (2)	72-99	55-106	85-156	76-88
Valor Medio	51-91	30-48	49-83	59-97
	56-97	28-99	39-83	73-175

Fuente: Elaboración Propia

- Cabe resaltar que no hay mucha variación de los indicadores entre los métodos multivariantes, pero si lo hay con respecto a los métodos univariados, donde ésta diferencia se observa de forma más marcada; Además, que los métodos valor medio, diferencias promedio y media móvil son los de peor desempeño en todos los escenarios de datos faltantes.
- Se debe señalar que se trabajó con las mismas estaciones patrón por cada zona pluviométrica, obteniendo resultados con una aproximación aceptable, principalmente por los métodos multivariantes para la zona Central. Pero las dos sub zonas del Chaco y la zona Alta presentan menor precisión, esto debido a que estas son zonas menos homogéneas y por lo tanto se debería utilizar

diferentes estaciones patrón para cada estación a rellenar, con esto se debería aumentar la precisión de estos métodos.

- En trabajos anteriores como los presentados por el Balance Hídrico Superficial de Bolivia (2016) y el XVI congreso bolivariano de ingeniería sanitaria, medio ambiente y energías renovables (2015), donde se hizo el relleno de datos de las series de precipitación mensual mediante los métodos: correlación múltiple (CORMUL) y relación lineal múltiple (RLM). Donde se pudo apreciar que las precipitaciones rellenadas con el software HEC 4 con el método RLM presentan mayor confiabilidad.

En nuestro trabajo estos métodos llegan a ocupar un cuarto y quinto lugar en la escala de precisión de rellenado de datos, presentándose como métodos menos precisos y poco destacados.

- De acuerdo a los resultados obtenidos en el presente trabajo, se recomienda no utilizar los métodos pertenecientes al grupo univariados, debido a la poca precisión que estos tienen con la variable precipitación mensual.

Mientras que los métodos multivariantes presentan una mayor precisión, destacando el método correlación lineal, que obtuvo los mejores resultados en todas las zonas pluviométricas de Tarija.

En la tabla 55 se presenta un cuadro comparativo de los métodos de completación de datos de precipitación mensual con sus características principales.

Tabla 54

Tabla comparativa de los métodos

Tabla comparativa						
Métodos	Exigencia del método	Herramientas necesarias (software)	Inconvenientes	Características	Clasificación del método de acuerdo al coeficiente de correlación	Recomendación
Correlación Lineal	Estación externa (patrón), con un alto grado de correlación	Excel	Encontrar estaciones externas completas y con un alto grado de correlación	-De fácil aplicación -Gran precisión -Existencia de valores negativos -Sigue el patrón de comportamiento de la precipitación	Muy alta	Método aplicable a esta variable
Correlación Ortogonal	Estación externa (patrón), con un alto grado de correlación	Excel	Encontrar estaciones externas completas y con un alto grado de correlación	-De fácil aplicación -Gran precisión -Existencia de valores negativos -Sigue el patrón de comportamiento de la precipitación	Muy alta	Método aplicable a esta variable
Razón Normal	Tres estaciones externas (mínimo), con un alto grado de correlación	Excel	Encontrar estaciones externas completas y con un alto grado de correlación	-De fácil aplicación -Gran precisión -Sigue el patrón de comportamiento de la precipitación	Alta	Método aplicable a esta variable

Correlación Lineal Ponderada	Tres estaciones externas (mínimo), con un alto grado de correlación	Excel	Encontrar estaciones externas completas y con un alto grado de correlación	-De fácil aplicación -Gran precisión -Depende del coef. de correlación -Sigue el patrón de comportamiento de la precipitación	Alta	Método aplicable a esta variable
Relación Lineal Múltiple	Tres estaciones externas (mínimo), con un alto grado de correlación	Programa HEC 4	Encontrar estaciones externas completas y con un alto grado de correlación	-Dificultades en el uso del programa -Uso de más estaciones cercanas -Sigue el patrón de comportamiento de la precipitación	Alta	Método aplicable a esta variable
Vector Regional	Tres estaciones externas (mínimo), con un alto grado de correlación	Programa Hydraccess	Encontrar estaciones externas completas y con un alto grado de correlación	-Dificultades en el uso del programa -Uso de más estaciones cercanas -Sigue el patrón de comportamiento de la precipitación	Alta	Método aplicable a esta variable
Criterio de Karl	Se rellena con la estación propia	Excel	Encontrar estaciones externas completas y con un alto grado de correlación	-De fácil aplicación -Gran precisión -Sigue el patrón de comportamiento de la precipitación	Alta	Método aplicable a esta variable

Correlación Múltiple	Tres estaciones externas (mínimo), con un alto grado de correlación	Programa CHAC	Encontrar estaciones externas completas y con un alto grado de correlación	-Dificultades en el uso del programa -Uso de más estaciones cercanas -Sigue el patrón de comportamiento de la precipitación	Alta	Método aplicable a esta variable
Lineal	Se rellena con la estación propia	Excel	No aplicable a datos faltantes seguidos	-No requiere de estaciones externas -Poca precisión -De difícil aplicación -No sigue el patrón de comportamiento de la precipitación	Moderada	Método no aplicable a esta variable
Diferencias Promedio	Se rellena con la estación propia	Excel	No aplicable a datos faltantes seguidos	-No requiere de estaciones externas -Poca precisión -Existencia de valores negativos -No sigue el patrón de comportamiento de la precipitación	Moderada	Método no aplicable a esta variable
Media Móvil (2)	Se rellena con la estación propia	Excel	No aplicable a datos faltantes seguidos	-No requiere de estaciones externas -Poca precisión -De difícil aplicación -No sigue el patrón de comportamiento de la precipitación	Nula	Método no aplicable a esta variable

Valor Medio	Se rellena con la estación propia	Excel	No aplicable a datos faltantes seguidos	-No requiere de estaciones externas -Poca precisión -De difícil aplicación -No sigue el patrón de comportamiento de la precipitación	Nula	Método no aplicable a esta variable
-------------	-----------------------------------	-------	---	---	------	-------------------------------------

Fuente: Elaboración Propia

CAPÍTULO 5:

CONCLUSIONES Y

RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones.

En el siguiente capítulo se presentan las conclusiones correspondientes a la estimación de datos faltantes en datos mensuales de precipitación en el departamento de Tarija, con un total de 30 estaciones divididas en las zonas Central (9), Chaco (13) y Alta (8), obtenidos por medio de los métodos de estimación: lineal, valor medio, diferencias promedio, media móvil, criterio de Karl, razón normal, correlación lineal ponderada, correlación lineal, correlación ortogonal, correlación múltiple y vector regional, teniendo en cuenta la distribución espacial de los datos de estudio, cada uno de los métodos empleados fue evaluado a través de medidas de desempeño como: coeficiente de correlación (r), error estándar de estimación (EEE) y test de concordancia de Bland-Altman.

5.1.1. Zona pluviométrica Central

- En el análisis realizado a los diferentes métodos de completación de datos, se concluye con los resultados obtenidos por el test de concordancia de Bland-Altman, coeficiente de correlación (r) y error estándar de estimación (EEE), que la correlación lineal es el método que mejor se adecua a la zona pluviométrica Central.
- Los resultados expresados por el coeficiente de correlación para el método correlación lineal, indican que se tiene un ajuste muy alto, lo que indica la precisión que este método tiene.
- El método de correlación lineal logra replicar el patrón de comportamiento de la serie de lluvias mensuales, aunque no se pudo ajustar muy bien a los valores extremos que se presentan en la serie, esto se concluye porque las estimaciones no alcanzan los picos más elevados.

- El método de correlación lineal, además de ser el que mejor desempeño tuvo en la zona, es un método que solo requiere una estación patrón, por lo que se hace ideal en nuestro contexto ya que se tiene pocas estaciones con datos completos.
- Para aplicar el método de correlación lineal es necesario determinar primero una estación que tenga la misma información que la estación a estimar y con la cual se tenga una mayor correlación en cuanto a la variable de estudio, y que no siempre será la estación más cercana, por lo que requiere tener a consideración todas las estaciones disponibles para la zona pluviométrica que se esté analizando.
- La zonificación, indica que existe una cantidad aceptable de estaciones para realizar los estudios, además de ser la zona más homogénea del departamento de Tarija. Los métodos resultan ser más adecuados para áreas o zonas geográficas en donde la variable a consideración tenga poca variabilidad, lo que claramente no ocurre en este caso, ya que como se observó, la precipitación cuenta con gran variabilidad en todos los casos por tratarse de precipitación mensual, aun cuando se considera la altura y se separa la región por zonas. Sin embargo, a pesar de hallarse gran variabilidad en los datos estudiados, esta resulto ser menor y más homogénea en la zona Central, por lo que en este caso resultan tener un mejor desempeño los métodos más prácticos y menos complejos de aplicar como la correlación lineal y ortogonal.
- El porcentaje de vacíos de información generados es del 20%, la zona Central presenta el mayor número de años analizados, debido a la existencia de estaciones con un registro más extenso de precipitación y años completos en común.

- La aplicación de todos los métodos multivariantes, presentaron la gran dificultad de escoger las estaciones patrón, debido a la poca abundancia de estaciones con registros completos.
- Los análisis de desempeño: coeficiente de correlación y error estándar de estimación y test de Bland-Altman, presentan los mejores resultados para los métodos multivariantes, con valores que indican la precisión de estos a la hora de estimar datos faltantes, destacando los métodos de correlación lineal y ortogonal. Mientras que todos los métodos univariados presentan poca o nula precisión de estimación de datos, por lo que no es apropiado aplicar estos métodos.
- El método de las diferencias promedio presenta inconsistencias al momento de realizar las estimaciones, ya que como se observó, se obtuvo valores inconsistentes en las estimaciones, como en este caso valores negativos para la precipitación.

5.1.2. Zona pluviométrica Chaco

- En el análisis realizado a los diferentes métodos de completación de datos, se concluye con los resultados obtenidos por el test de concordancia de Bland-Altman, coeficiente de correlación (r) y error estándar de estimación (EEE), que la correlación lineal es el método que mejor se adecua a las dos sub zonas pluviométricas del Chaco.
- Los resultados expresados por el coeficiente de correlación para el método correlación lineal, indican que se tiene un ajuste alto, lo que indica la precisión de este método.
- El método de correlación lineal logra replicar el patrón de comportamiento de la serie de lluvias mensuales, aunque no se pudo ajustar muy bien a los valores

extremos que se presentan en la serie, esto se concluye porque las estimaciones no alcanzan los picos más elevados.

- El método de correlación lineal, además de ser el que mejor desempeño tuvo en la zona, es un método que solo requiere una estación patrón, por lo que se hace ideal en nuestro contexto ya que se tiene pocas estaciones con datos completos.
- Para la zona del Chaco se realizó una sub zonificación del territorio, lo que evidenció la escasez de estaciones de esta zona, además de la gran variabilidad que presentan los datos de cada estación. Debido a esto, fue necesario incluir estaciones que están fuera del departamento de Tarija.
- La aplicación de los métodos multivariantes, a las distintas estaciones de la zona Chaco para ambas sub zonas pluviométricas presentó una gran dificultad a la hora de escoger las estaciones patrón para los métodos, debido a que la correlación entre estas, no presentaban valores altos.
- Los análisis de desempeño: coeficiente de correlación y error estándar de estimación y test de Bland-Altman, presentan los mejores resultados para los métodos multivariantes, destacando los métodos de correlación lineal, ortogonal para toda la zona. Mientras que todos los métodos univariados presentan poca o nula precisión de estimación de datos, por lo que no es apropiado aplicar estos métodos a esta zona.
- Se encontró una gran limitante para estimar los datos faltantes de precipitación con algunas de las metodologías existentes en las estaciones de las sub zonas pluviométricas del Chaco, debido a la falta de estaciones cercanas cuando se requiere de varias estaciones de referencia para su estimación.

- El método del valor medio fue el que presentó los mejores resultados en el análisis de Bland-Altman, sin embargo, este es uno de los peores métodos para estimar la precipitación, lo que indica que no se debe conformar con los resultados de un solo método de análisis ya que puede llevarnos a errores.

5.1.3. Zona pluviométrica Alta

- En el análisis realizado a los diferentes métodos de completación de datos, se concluye con los resultados obtenidos por el test de concordancia de Bland-Altman, coeficiente de correlación (r) y error estándar de estimación (EEE), que la correlación lineal es el método que mejor se adecua a la zona pluviométrica Alta.
- Los resultados expresados por el coeficiente de correlación para el método de correlación lineal, indican que se tiene un ajuste alto, lo que indica la precisión de este método.
- El método de correlación lineal logra replicar el patrón de comportamiento de la serie de lluvias mensuales, aunque no se pudo ajustar muy bien a los valores extremos que se presentan en la serie, esto se concluye porque las estimaciones no alcanzan los picos más elevados.
- El método de correlación lineal, además de ser el que mejor desempeño tuvo en la zona, es un método que solo requiere una estación patrón, por lo que se hace ideal en nuestro contexto ya que se tiene pocas estaciones con datos completos.
- La zonificación de esta zona presentó el problema de la poca abundancia de estaciones, además de la escasa extensión de registro de datos de precipitación, y como consecuencia se tiene una zona poco homogénea.

- La aplicación de los métodos multivariantes, a las distintas estaciones de la zona Alta presento una gran dificultad a la hora de escoger las estaciones patrón para los métodos, debido a que la correlación entre estas, no presentaban valores altos.
- Se encontró una gran limitante para estimar los datos faltantes de precipitación con algunas de las metodologías existentes en las estaciones de la zona pluviométrica Alta, debido a la falta de estaciones cercanas cuando se requiere de varias estaciones de referencia para su estimación.
- Los métodos de mejor desempeño en la zona Alta fueron los que requieren al menos 3 estaciones con datos completos, requerimientos que en la realidad son difíciles que se cumplan.

5.1.3.1. Conclusiones generales

- Los métodos univariados no deben aplicarse al cálculo de datos faltantes de precipitación mensual debido a su poca o nula precisión.
- El método correlación lineal, de acuerdo a este estudio tiene un buen comportamiento en todas las zonas pluviométricas de Tarija, aun, bajo las distintas condiciones que se presentaron en cada zona.
- El uso de las mismas estaciones patrón para todas las estaciones incompletas de una zona pluviométrica, no representa la mejor solución a la hora de rellenar datos, debido a que incluso dentro de una misma zona pluviométrica existen características climáticas diferentes, lo que causa variaciones a la hora de estimar datos de precipitación mensual.
- Aunque el método correlación lineal sea el que mejor se adecúe a las zonas pluviométricas del departamento de Tarija, los resultados estimados

principalmente en las zonas del Chaco y Alta, presentan resultados muy variables y dispersos, esto debido a la poca homogeneidad y densidad de estaciones completas de estas zonas.

- Los resultados de la zona pluviométrica Chaco, presentan inconsistencias en todos los métodos, esto debido a que la zona posee pocas estaciones con registros completos, además de poca correlación entre estas, lo que indicaría que para todo el Chaco se debe hacer una zonificación más minuciosa, lo que es difícil en la realidad debido a la poca densidad de estaciones de esta zona.
- En caso de que no se quiera eliminar los registros incompletos de precipitación mensual de las estaciones para un estudio, de acuerdo a este estudio el método correlación lineal se presenta como una buena alternativa a la hora de rellenar datos, teniendo principal cuidado en la elección de la estación patrón.

5.2. Recomendaciones

- Se recomienda, siempre que sea necesario completar datos faltantes, involucrar estaciones cercanas con registros debidamente procesados, con datos faltantes inferiores al 20 % y localizadas en la misma sub zona hidrológica. Estos elementos influyen directamente en la exactitud de los resultados y dificultan su comparación directa con trabajos similares.
- Si se desea obtener una mayor precisión en las estimaciones de precipitación que se vayan a realizar en las zonas pluviométricas, se debe considerar los métodos que mejor desempeño obtuvieron de acuerdo a los resultados obtenidos en el proceso de comparación.

- Trabajar con más información ya que el método correlación múltiple promete ser un excelente método, pero se alimenta de la abundancia de estaciones adyacentes al punto a estimar para conseguir una buena correlación espacial. De igual forma el método de correlación lineal, si se tuviera más estaciones adyacentes se podría obtener mejores resultados con coeficientes de correlación más altos.
- Se indica también que es necesario realizar una búsqueda al momento de seleccionar un método de estimación dependiendo la zona geográfica en donde se encuentre, ya que no todos los métodos tienen un buen desempeño para ciertas condiciones y las restricciones de algunos los pueden volver ineficientes.
- Analizar los métodos con otros porcentajes de datos faltantes para observar si se obtienen diferencias más marcadas entre los indicadores que miden el desempeño de los métodos de estimación.
- Analizar el comportamiento de los métodos multivariantes determinando el radio dentro del cual se seleccionarán las estaciones para realizar la estimación de los valores faltantes, en comparación con el método cuando se seleccionan todas las estaciones de la zona pluviométrica en la cual se está trabajando.
- Para la zona pluviométrica del Chaco se recomienda sub zonificarla en más de dos zonas para obtener mejores resultados.
- Para obtener mejores resultados se recomienda evitar todos los métodos univariados debido a la poca precisión que presentan para la estimación de la variable precipitación.