

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



TESIS

**“ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE LA PRECIPITACIÓN MEDIA
MENSUAL ESTIMADA POR EL MÉTODO KRIGING Y THIESSEN
EN LA CUENCA DEL RÍO CAJAMARQUINO”**

Para optar el título profesional de:

INGENIERO CIVIL

Presentado por:

MARVICK ALAIN CHUQUIRUNA CHÁVEZ

Asesor:

Dr. Ing. JOSÉ FRANCISCO HUAMÁN VIDAURRE

Cajamarca-Perú

2020

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por permitirme cumplir mis objetivos de vida y por la gratitud me que brinda cada instante de mi vida.

A mis padres, Sra. María Rosalia Chávez Cerquin y Sr. Julio Emilio Chuquiruna Bueno, por educarme y apoyarme de manera incondicional.

A mis hermanos, Wilder Chuquiruna Chávez y Gilmer Chuquiruna Chávez, por su motivación de día a día de ser mejor profesional y mejor persona.

Al Dr. José Huamán Vidurre, por sus enseñanzas y apoyo en la culminación del presente trabajo de investigación.

Finalmente, agradezco infinitamente a todas aquellas personas que me apoyaron en la realización de esta tesis, familiares, profesores y amigos.

DEDICATORIA

A DIOS

Gracias a Dios por haberme dado la vida, por las metas alcanzadas y por los sueños logrados.

A MIS PADRES

Por haberme dado educación y por convertirme en una persona de bien, íntegra y honesta.

A MIS HERMANOS

Quienes siempre me orientan hacia el camino del éxito.

ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTOS	II
DEDICATORIA	III
RESUMEN	XII
ABSTRACT	XIII
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO II. MARCO TEORICO	3
2.1. ANTECEDENTES TEÓRICAS.....	3
2.2. BASES TEÓRICAS	4
CONCEPTOS HIDROLÓGICOS	4
PRECIPITACIÓN	5
LA CUENCA HIDROLÓGICA.....	6
ESTIMACIÓN DE DATOS FALTANTES	6
ANÁLISIS DE CONSISTENCIA.....	6
COMPLETACIÓN Y EXTENSIÓN DE SERIES TEMPORALES.....	8
MÉTODOS PARA INTERPOLACIÓN ESPACIAL	9
2.3. DEFINICIONES Y TÉRMINOS BÁSICOS.....	23
CAPÍTULO III. MATERIALES Y MÉTODOS	25
3.1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA DE LA INVESTIGACIÓN.....	25
3.2. METODOLOGÍA.....	26
MATERIALES Y EQUIPOS	26
POBLACIÓN DE ESTUDIO	26
MUESTRA	26
UNIDAD DE ANÁLISIS	27
TIPO Y MÉTODO DE ESTUDIO	27

DEFINICIÓN DE VARIABLES.....	27
TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS.....	27
ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE DATOS.....	28
3.3. PROCEDIMIENTO METODOLÓGICO.....	28
CUENCA HIDROLÓGICA	28
ANÁLISIS DE CONSISTENCIA DE LA INFORMACIÓN	29
MÉTODO POLÍGONOS DE THIESSEN	30
MÉTODO KRIGING	31
VARIANZA DE ERROR.....	50
CONTRASTE CON LA REALIDAD.....	52
ANÁLISIS ESTADÍSTICO	54
CAPÍTULO IV. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	58
4.1. ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA PRECIPITACIÓN MEDIA MENSUAL.....	58
PRECIPITACIÓN MEDIA MENSUAL POR EL MÉTODO POLÍGONOS THIESSEN	58
PRECIPITACIÓN MEDIA MENSUAL POR EL MÉTODO KRIGING ORDINARIO	59
VARIOGRAMAS EXPERIMENTALES EN EL ANÁLISIS DE KRIGING ORDINARIO	64
4.2. ANÁLISIS DE VARIANZA DE ERROR	84
4.3. CONTRASTE CON LA REALIDAD.....	85
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	89
5.1. CONCLUSIONES	89
5.2. RECOMENDACIONES.....	90
CAPÍTULO VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	91

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N°: 1. Estaciones meteorológicas que influyen en la Cuenca del Río Cajamarquino.	26
Tabla N°: 2. Estaciones meteorológicas dentro o cercanas a la cuenca del Río Cajamarquino.	29
Tabla N°: 3: Áreas de influencia y pesos para cada estación.	31
Tabla N°: 4. Distancia entre estaciones lejanas, para calcular el “lag interval”.	36
Tabla N°: 5. Distancia entre estaciones cercanas, para calcular el “lag interval”.	36
Tabla N°: 6: Parámetros de cálculo del semivariograma en las siguientes direcciones de azimuth 0°,90°, 45° y 135°	37
Tabla N°: 7. Valores para graficar los semivariograma experimentales de la Figura N° 25... ..	39
Tabla N°: 8.. Valores para graficar los modelos de la Figura N° 26.	42
Tabla N°: 9. Raíz del error cuadrático medio (RMSE) con acimut de 45°	43
Tabla N°: 10. Parámetros del modelo gaussiano para el semivariograma experimental.....	43
Tabla N°: 11. Matriz de distancia, entre todos los pares posibles de las 16 estaciones y el punto aleatorio desconocido.	45
Tabla N°: 12. Estimación del valor desconocido de la precipitación media mensual	49
Tabla N°: 13: Proceso para el cálculo de varianza de error, método Kriging	50
Tabla N°: 14. Proceso para el cálculo de varianza de error, método Polígonos de Thiessen. .	51
Tabla N°: 15. Datos estimados, datos reales y su error	52
Tabla N°: 16: Se muestra el procedimiento de Spearman Brown en mitades partidas para los resultados de precipitación mensuales de Kriging.	54
Tabla N°: 17: Precipitación media mensual por el método polígonos de Thiessen	58
Tabla N°: 18: Precipitación media mensual por el método Kriging.....	59
Tabla N°: 19. Coeficientes de comparación de Spearman Brown, aplicando mitades partidas en Kriging y Thiessen.....	62
Tabla N°: 20. Se muestra la estructura espacial de todos los meses en los siguientes acimuts: 0°,90°45° y 135°	76

Tabla N°: 21. Parámetros y desempeño de los modelos ajustados al variograma experimental en acimut 45°	78
Tabla N°: 22. Comparación de la Varianza de error de los métodos polígonos de Thiessen y kriging.....	84
Tabla N°: 23. Valores reales y estimados por Kriging de los meses de enero, febrero, marzo, abril, octubre, noviembre y diciembre de la estación meteorológica Weberbauer.	85
Tabla N°: 24. Error porcentual absoluto medio de los meses de enero, febrero, marzo, abril, octubre, noviembre y diciembre.	87
Tabla N°: 25: Datos de precipitaciones de Augusto Weberbauer	95
Tabla N°: 26: Datos de precipitaciones Asunción	96
Tabla N°: 27: Datos de precipitaciones Cachachi	97
Tabla N°: 28: Datos de precipitaciones Carachugo	98
Tabla N°: 29. Datos de precipitaciones Cicafor	99
Tabla N°: 30: Datos de precipitaciones Granja Porcon	99
Tabla N°: 31. : Datos de precipitaciones Huacataz	100
Tabla N°: 32.: Datos de precipitaciones Jesus.....	101
Tabla N°: 33. Datos de precipitaciones La Encañada.....	102
Tabla N°: 34. : Datos de precipitaciones Maqui Maqui	102
Tabla N°: 35.: Datos de precipitaciones Namora	103
Tabla N°: 36. : Datos de precipitaciones Negritos.....	104
Tabla N°: 37.: Datos de precipitaciones Quinua.....	105
Tabla N°: 38. : Datos de precipitaciones San Marcos	106
Tabla N°: 39. : Datos de precipitaciones Sondor.....	107
Tabla N°: 40. : Datos de precipitaciones Yanacocha.....	107
Tabla N°: 41 Puntos de ruptura (años), de las estaciones Cachachi, Namora, Asunción y Granja Porcon.....	112
Tabla N°: 42. Cantidad de datos (N), la media, y la desviación estándar de cada muestra... 113	
Tabla N°: 43 Estación Cachachi, datos corregidos por la media y desviación estándar	115
Tabla N°: 44. Homogeneidad estadística para las precipitaciones la estación Namora	116

Tabla N°: 45. Homogeneidad estadística para las precipitaciones de la estación Granja Porcon	117
Tabla N°: 46. Homogeneidad estadística para las precipitaciones de la estación Asunción.	118
Tabla N°: 47. Medidas estadísticas de tendencia de la estación Cachachi	119
Tabla N°: 48 Medidas estadísticas y datos para el cálculo del coeficiente de correlación. Mes diciembre	120
Tabla N°: 49: Datos completados del mes de diciembre de la estación Weberbauer por la Ecuación 17 y Ecuación 18.	123
Tabla N°: 50. Desviación estándar de Ecuación 69 y Ecuación 70	123

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N° 1: Superior: Precipitación frontal. Inferior: Precipitación orográfica.	5
Figura N° 2: Cuenca hidrológica.	6
Figura N° 3: Método de Polígono de Thiessen.	9
Figura N° 4: Variable regionalizada en un espacio unidimensional. Por ejemplo, podría representar la concentración de una contaminante medida a lo largo del tiempo en una estación de monitoreo.	10
Figura N° 5: Variograma experimental, semivariograma ($\gamma(h)$) contra Lag Distancia (h (m)).	12
Figura N° 6: Se muestra el vector h “lag vector”, formado por $(x+h) - (x)$	12
Figura N° 7: Variograma experimental de arena del suelo de una encuesta aleatoria estratificada en el Bosque de Wyre, Inglaterra. El variograma es pepita pura (pure nugget).	14
Figura N° 8: Ejemplo (2D) de anisotropía geométrica de razón a/b y ángulo θ . Izquierda: elipse de alcances. Derecha: variograma en las direcciones principales de anisotropía.	15
Figura N° 9: Ejemplos de: a) modelos de variograma ilimitados (“Unbounded”) y b) ilustra los parámetros de una función de modelo limitado (Bounded).	15
Figura N° 10. (a) lado izquierdo: espacio regular (b) lado derecho: espacio irregular. La data esparcida que obtendrá en la vida real tendrá es muy poca o incluso casi nada, pares de puntos que estén distanciados exactamente por una distancia “ h ” el uno de otro.	16
Figura N° 11. Plantilla de búsqueda del variograma.	17
Figura N° 12: Variograma esférico, donde “nugget variance” = 0.	18
Figura N° 13: Variograma exponencial, donde “nugget variance” = 0. Similar a la esférica, pero se eleva más abruptamente y llega al “sill” asintóticamente.	18
Figura N° 14: Variograma Gaussiano, donde “nugget variance” = 0. Implica la continuidad a pequeña escala; comportamiento parabólico en el origen, en lugar de lineal.	19
Figura N° 15: Efecto pepita, sin correlación espacial.	20
Figura N° 16: Ubicación de la cuenca del Río Cajamarquino.	25

Figura N° 17. Diagrama de flujo para obtener la cuenca del Río Cajamarquino en ArcGis 10.5.	28
Figura N° 18: Polígonos de Thiessen en la cuenca del Río Cajamarquino.....	30
Figura N° 19. Ubicación espacial de las estaciones meteorológicas (puntos de recopilación de la precipitación) pertenecientes a la cuenca del Río Cajamarquino.....	32
Figura N° 20: Se muestrea parte de la matriz para calcular la diferencia cuadrada de pares (h).	33
Figura N° 21. Distancia “c” entre dos estaciones meteorológicas cualesquiera. Donde “c” es igual a: $c = a^2 + b^2$	34
Figura N° 22. Se muestra parte de la matriz de cálculo de la distancia entre estaciones.	34
Figura N° 23 : Se muestra la plantilla de búsqueda del variograma con azimut 0° y ángulo de tolerancia del acimut igual a 45°.....	35
Figura N° 24: Se muestra parte de la matriz del cálculo del acimut.	36
Figura N° 25: Semivariograma experimentales: dirección 1 (0°), dirección 2 (90°), dirección 3 (45°), y dirección 4 (135°)	38
Figura N° 26: Modelando semivariograma experimentales: dirección 1 (0°), dirección 2 (90°), dirección 3 (45°), y dirección 4 (135°).	41
Figura N° 27. Ubicación espacial del punto aleatorio desconocido.	44
Figura N° 28: Se muestra la precipitación media mensual.	61
Figura N° 29: Se muestra la precipitación acumulada anual.	61
Figura N° 30. Esquema de comparación de método Thiessen y Kriging.	63
Figura N° 31: Variogramas experimentales mes de enero.....	64
Figura N° 32: Variogramas experimentales mes de febrero.	65
Figura N° 33: Variogramas experimentales mes de marzo.....	66
Figura N° 34: Variogramas experimentales mes de abril.	67
Figura N° 35: Variogramas experimentales mes de mayo.....	68
Figura N° 36: Variogramas experimentales mes de junio.	69
Figura N° 37: Variogramas experimentales mes de julio.	70
Figura N° 38: Variogramas experimentales mes de agosto.	71
Figura N° 39: Variogramas experimentales mes de septiembre.....	72
Figura N° 40: Variogramas experimentales mes de octubre.....	73

Figura N° 41: Variogramas experimentales mes de noviembre.	74
Figura N° 42: Variogramas experimentales mes de diciembre.....	75
Figura N° 43: Suma de precipitaciones por mes desde el año 1965 hasta el 2018.....	77
Figura N° 44: Ajuste de variogramas experimentales con el modelo gaussiano desde el mes de enero a abril.....	81
Figura N° 45: Ajuste de variogramas experimentales con el modelo gaussiano desde el mes de mayo a agosto.	82
Figura N° 46: Ajuste de variogramas experimentales con el modelo gaussiano desde el mes de septiembre a diciembre	83
Figura N° 47: Análisis Doble masa. Estación meteorológica: Weberbauer, Namora y San Marcos.....	109
Figura N° 48: Análisis Doble Masa entre la estación índice (Weberbauer) vs la estación en estudio (Cachachi).....	110
Figura N° 49. Análisis doble de masa de la estación Asunción teniendo como base a la estación Weberbauer.....	110
Figura N° 50. Análisis doble de masa de la estación Granja Porcon teniendo como base a la estación Weberbauer.....	111
Figura N° 51. Análisis doble de masa de la estación Namora teniendo como base a la estación Weberbauer.....	111
Figura N° 52: Visita a la estación meteorológica de Namora.....	124
Figura N° 53: Visita a la estación meteorológica de Granja Pórcon.	124

RESUMEN

En Perú para la estimación de la precipitación media mensual se aplica Polígonos de Thiessen entre otros; pero muy poco se conoce la aplicación de Kriging para este tema. Por lo tanto, se requiere saber cuál de ambos métodos es más eficiente para la estimación de la precipitación media mensual. El objetivo de esta investigación es realizar el análisis comparativo entre la precipitación media mensual estimada por el método Kriging y Thiessen en la cuenca del Río Cajamarquino. Se realizó la delimitación de la cuenca del Río Cajamarquino, se analizó la consistencia de los datos de precipitaciones para luego estimar la precipitación media mensual por los métodos propuestos, y finalmente se analizó la varianza de error de ambos métodos y la confiabilidad entre ambos métodos usando mitades partidas – Spearman Brown. Resultando el promedio de la precipitación media mensual por el método Thiessen, de los meses de mayor precipitación octubre, noviembre, diciembre, enero febrero, marzo y abril es 111.49 mm, y de los meses de menor precipitación mayo, junio, julio, agosto y septiembre es 22.2 mm. El promedio de la precipitación media mensual por el método Kriging, de los meses de mayor precipitación es 70.73 mm, y de los meses de menor precipitación es 16.22 mm. Se analizó la varianza de error de ambos métodos, Kriging optimiza la varianza de error en un 80% que Thiessen. Concluyendo finalmente que Kriging nos permite obtener mejores resultados que Polígonos de Thiessen, ya que Kriging presenta mayor confiabilidad en la estimación de precipitaciones mensuales.

Palabras claves: precipitación media mensual, Thiessen, Kriging, varianza de error, mitades partidas, cuenca Río Cajamarquino.

ABSTRACT

Peru has estimated the monthly average rainfall with Polygons of Thiessen among others, but a few people know about the application of Kriging for this topic. Therefore, it is required to know which of the two methods is more efficient for estimating monthly mean precipitation. The objective of this research is to develop the comparative analysis between the average monthly precipitation estimated by the Kriging and Thiessen method in the Rio Cajamarquino basin. First, the delimitation of the Rio Cajamarquino basin was made. Second, the consistency of the precipitation data was analyzed. Then, the average monthly precipitation was estimated by the proposed methods. Finally, the error variance of both methods was analyzed and the reliability between both methods was analyzed using split halves- Spearman Brown. The average monthly precipitation resulting from the Thiessen method is 111.49 mm for the months with the highest precipitation October, November, December, January, February, March and April, and for the months with the lowest precipitation May, June, July, August and September is 22.2 mm. The average monthly precipitation by the Kriging method is 70.73 mm for the months with the highest rainfall, and 16.22 mm for the months with the lowest rainfall. The error variance of both methods was analyzed, Kriging optimizes the error variance by 80% than Thiessen. Finally concluding that Kriging allows us to obtain better results than Polygons of Thiessen, since Kriging presents greater reliability in estimating monthly rainfall.

Key words: monthly average precipitation, Thiessen, Kriging, error variance, split halves, Rio Cajamarquino basin.

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

La precipitación pluvial, es una variable fundamental en el ciclo hidrológico (Díaz-Padilla et al. 2011), incide en las actividades agropecuarias, industriales, y comerciales de un estado. Precipitaciones extremas pueden generar procesos geodinámicos en las zonas altas de la cuenca e inundaciones en las partes bajas de la misma (Ita Vargas 2013). Para dar solución se usan modelos hidrológicos que se alimentan con series de precipitación (Fernández 2015). El registro de las series de precipitación se realiza comúnmente en estaciones meteorológicas de forma puntal (Aragón-Hernández et al. 2019). Para emplear la información de series de precipitación en diferentes proyectos ingenieriles, es necesario obtener un valor promedio que sea representativo de la zona de estudio, para ello existen métodos de uso tradicional, como el método aritmético, polígonos de Thiessen e Isoyetas (Chow et al. 1988). El método Thiessen atribuye un factor peso, resultante de la ponderación de áreas de influencia, siendo proporcional al área de influencia de cada estación (Bielenki Junior, Claudio Mendonça dos Santos et al. 2018). Una limitante del método Thiessen es la ponderación fija, no considera la variabilidad espacial de la precipitación pluvial. El método Isoyetas mejora esta limitación al generar isoyetas; sin embargo, tampoco toma en cuenta las variaciones espaciales de la precipitación (Íñiguez Covarrubias et al. 2011). Por lo contrario, Kriging aprovecha la correlación espacial entre estaciones meteorológicas vecinas (Bhandari 2005), y estudia la variabilidad espacial de la precipitación de forma continua sobre la región considerada; creando modelos de variogramas para estimar valores puntales (Collado 1988). Kriging es un método dependiente de la varianza que provee una medida de precisión de los valores estimados (Adhikary 2017).

En Perú se obtiene la precipitación media mensual utilizando procedimientos comúnmente usados como Polígonos de Thiessen o Isoyetas (Portuguez Maurtua 2017); ante ello, generalmente no se conoce la aplicación del método Kriging en este tema. Donde surge la pregunta del **problema** ¿Cuál es el método más eficiente para la precipitación media mensual estimada entre Thiessen y Kriging en la cuenca del Río Cajamarquino? Planteando la hipótesis que Kriging es más eficiente que Thiessen, ya que aprovecha la variabilidad espacial de estaciones meteorológicas.

Conocer cual método es más eficiente entre Thiessen y Kriging es **justificable** para la estimación de precipitación media mensual porque tiene un número importante de aplicaciones hidrológicas. Además, Kriging no es un método conocido y a través de este trabajo de investigación servirá de ayuda para extender el método Kriging en otras aplicaciones hidrológicas.

Esta investigación tiene como **objetivo general**, realizar el análisis comparativo entre la precipitación media mensual estimada por el método Kriging y Thiessen en la cuenca del Río Cajamarquino. Para ello es necesario desarrollar los siguientes **objetivos específicos**: (1) Calcular la precipitación media mensual por el método Thiessen. (2) Calcular la precipitación media mensual por el método Kriging. (3) Analizar la varianza de error entre el método Thiessen y Kriging.

Se describe brevemente el contenido de los siguientes capítulos. En el segundo capítulo se describe los antecedentes teóricos de la investigación y las bases teóricas definiendo los términos básicos. En las bases teóricas se hace hincapié en el método Kriging. En el tercer capítulo primeramente se muestra la ubicación geográfica de la cuenca del Río Cajamarquino, luego se explica la metodología que se siguió, y finalmente se muestra el procedimiento que se usó para el desarrollo del trabajo de investigación. En el cuarto capítulo principalmente se analiza y discute el análisis comparativo entre la precipitación media mensual estimada por el método Kriging y Thiessen en la cuenca del Río Cajamarquino. En el quinto capítulo se muestra las conclusiones y recomendaciones después de terminar el desarrollo del trabajo de investigación. Finalmente, en el capítulo sexto se muestra las referencias bibliográficas que se revisó para el desarrollo del trabajo de investigación.

CAPÍTULO II. MARCO TEORICO

2.1. ANTECEDENTES TEÓRICAS

Steimer, (2017) en su tesis de licenciatura: “Review of various methods for interpolation of rainfall and their applications in hydrology”. Da una revisión general de las aplicaciones de las técnicas de interpolación espacial tales como el Kriging, para un marco de inundación e inundación repentina. Donde los modelos hidrológicos requieren estimaciones fiables de los campos de precipitación para calcular la escorrentía.

Hurtado, (2009) en su tesis para optar el grado de magister: “Estimación de los campos mensuales históricos de precipitación en el territorio colombiano” Se estima los campos mensuales históricos de precipitación en el territorio colombiano. Se empleó Kriging ordinario para calcular mapas de parámetros (intercepto y pendiente). Los mapas mensuales históricos de precipitación estimada en este estudio son ayuda en el entendimiento de la variabilidad espacial temporal de la precipitación.

Farmer (2016) propone el Kriging Ordinario como una técnica eficiente para la reproducción de series de tiempo históricas de flujo de corriente en sitios no registrados ya que es un problema fundamental de la gestión y evaluación de los recursos hídricos. Se demuestra que el kriging Ordinario produce estimaciones de series de tiempo de flujo más precisas que el método de relación de área de drenaje e interpolaciones espaciales no lineales que utilizan curvas de duración de flujo. Nos dice también que investigaciones adicionales pueden mejorar la igualdad computacional de Kriging y continuar explicando las ventajas y desventajas del Kriging Ordinario.

Barbalho et al. (2014) planteó comparar indirectamente algunas técnicas de estimación, no solo comparando los resultados obtenidos, sino analizando los datos que requieren que cada uno alcance mejores resultados dado en el mejor escenario de datos espaciales. Comparando su convergencia usando índices GORE y BALANCE para la obtención del valor promedio de lluvia. Los resultados de los índices GORE y BALANCE indican que Polígonos de Thiessen, Distancia Reciproca al Cuadrado y Método de Ecuaciones Multicuadráticas son aplicados con

satisfacción para obtener el valor promedio de la lluvia en un área. Por otro lado, el método Kriging, probado con dos modelos de variogramas, tuvo un comportamiento inestable no esperado. Sugiere que se realice estudios de esta manera de comparación indirecta de métodos, a pesar de los avances tecnológicos, hay muchas regiones donde el monitoreo de las precipitaciones es aún escaso y necesitan herramientas confiables de planificación de los recursos hídricos.

Collado, (1988) presenta el método Kriging, en la aplicación para la precipitación media en el estado de Morales, concluye que el método Kriging permite mejores resultados que la media aritmética y que polígonos de Thiessen. Además, en su trabajo se mostró que Kriging provee una medida en la variabilidad de las estimaciones mediante la varianza de error. Sugiriendo prácticas para la aplicación del método Kriging.

2.2. BASES TEÓRICAS

CONCEPTOS HIDROLÓGICOS

A. Definición de Hidrología

La hidrología, que trata todas las fases del agua de la tierra, es un tema de gran importancia para las personas y su medio ambiente. Las aplicaciones prácticas de la hidrología se encuentran en tareas tales como el diseño y operación de estructuras hidráulicas, suministro de agua, tratamiento y disposición de aguas residuales, drenaje, generación de energía hidroeléctrica, control de inundaciones, control de erosión y sedimentos, control de salinidad, uso recreacional del agua y protección de peces y vida silvestre (Chow et al. 1988). Para ello es importante la transparencia en la recopilación, el almacenamiento y el intercambio de datos. Consecuentemente, se obtiene una gestión de calidad para la hidrometría (World Meteorological Organization (2011)).

PRECIPITACIÓN

Villón (2004: 69) dice que, la precipitación es toda forma de humedad que se origina en las nubes, llegando a caer a la superficie del suelo: lluvias, granizadas, garúas, nevadas. También se dice que es fuente primaria del agua de la superficie terrestre, sus mediciones y su análisis es el punto de partida de los estudios concernientes al uso y control del agua.

A. Tipos de Precipitación

Según Raghuanth (2006: 17), se presentan los siguientes tipos de precipitación:

- Conflicto entre dos masas de aire (Precipitación frontal): Como se muestra en la **Figura N° 1**, dos masas de aire debido a temperaturas y densidades contrastantes chocan entre sí, se produce condensación y precipitación en la superficie de contacto.
- Elevación orográfica (Precipitación orográfica): Se muestra en **Figura N° 1**, la elevación mecánica del aire húmedo sobre las barreras de las montañas provoca fuertes precipitaciones en el lado de barlovento.

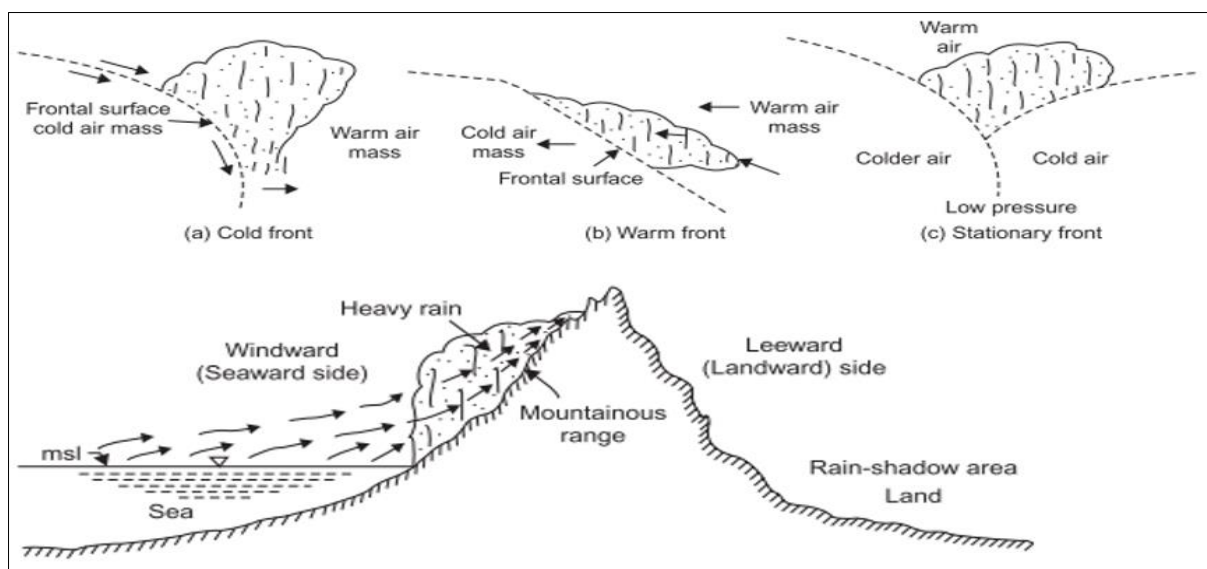


Figura N° 1: Superior: Precipitación frontal. Inferior: Precipitación orográfica.

Fuente: "Hydrology", por Raghuanth, 2006, p. 18.

LA CUENCA HIDROLÓGICA

A. Definición de la Cuenca Hidrológica

Es el área de un terreno donde toda la precipitación, al caer forma una red fluvial que converge en una salida (Villón 2004).

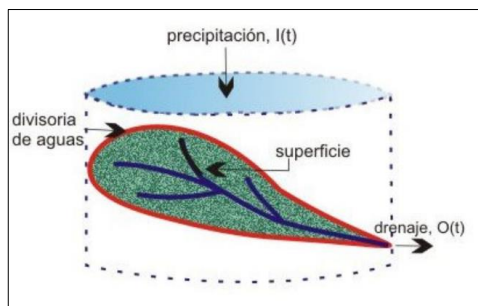


Figura N° 2: Cuenca hidrológica.

Fuente: “La cuenca Hidrológica”, por Villón, 2004, p. 21.

ESTIMACIÓN DE DATOS FALTANTES

Para evitar conclusiones erróneas, es importante dar la correcta interpretación de los datos de precipitación, los cuales no pueden ser aceptados como verdaderos (Linsley et al. 2006: 32). La información de datos hidrológicos debe cumplir con dos características, ser representativa y homogénea. Se dice que es representativa cuando la información debe tener una longitud y amplitud suficiente en el tiempo, y homogénea cuando la secuencia de datos debe tener un significado común en todo el periodo del tiempo registrado. (Huamán 2016: 4).

ANÁLISIS DE CONSISTENCIA

En hidrología contemporánea, la no homogeneidad e inconsistencia en secuencias hidrológicas representan uno de los aspectos más importantes. Ya que, cuando no hay homogeneidad en la muestra histórica, un error significativo puede introducirse en todos los análisis futuros, produciendo resultados altamente sesgados (Huamán 2016: 4,5).

El análisis de la información hidrometeorológica se realiza en las componentes determinísticas transitorias de la serie, que son saltos y tendencias. En cada uno de ellos se analiza principalmente dos parámetros estadísticos: media y desviación estándar.

A. Saltos

Son formas determinísticas transitorias que permiten a una serie estadística periódica pasar desde un estado a otro, como respuesta a cambios hechos por el hombre, o cambios violentos en la naturaleza (Huamán 2016: 5). Para el análisis de saltos se realizará a través del análisis de doble masa y estadístico.

i. Análisis de doble masa

La curva de doble de masa es la técnica frecuente en la evaluación de la respuesta de las descargas fluviales al cambio climático y las perturbaciones humanas (Gao et al. 2017: 1,2).

Searcy y Hardison (1960: 33) señala que, la curva de doble masa se basa en el hecho de que un gráfico de la acumulación de una cantidad contra la acumulación de otra cantidad durante el mismo período se trazará como una línea recta siempre que los datos sean proporcionales; la pendiente de la línea representará la constante de proporcionalidad entre las cantidades. Una ruptura en la pendiente de la curva de doble masa significa que se ha producido un cambio en la constante de proporcionalidad entre las dos variables.

ii. Análisis Estadístico

Terminado el análisis de los gráficos de doble masa, se obtiene el periodo de posible corrección de los datos, implica la existencia de un periodo de datos que se mantendrán con sus valores originales y aquellos que se modificarán.

Huamán (2016: 7) indica que, para demostrar si los grupos de datos divergentes pertenecen a una misma población hidrológica, sus medias muestrales deben tener homogeneidad o ser estadísticamente equivalentes, para cierto nivel de significación. Para la media se analiza

mediante la prueba T- Student y para la desviación estándar se analiza mediante la prueba F-Fisher.

Huamán (2016: 10) aclara que, cuando los parámetros media y desviación standard resulten estadísticamente iguales, la información original no se corrige por ser consistente con 95% de probabilidades, aun cuando en el análisis doble masa se observe pequeños quiebres. En el caso de que la media y desviación standard resulten estadísticamente diferentes, entonces los datos se corrigen, pero se mantiene los parámetros del periodo más confiable.

B. Tendencias

El análisis de tendencias se realiza una vez hecho el análisis de saltos sin presentar rupturas a lo largo del tiempo. Según (Huamán 2016) señala que, “Las tendencias se definen como un cambio sistemático y continuo sobre una muestra de información hidrometeorológica en cualquier parámetro de la misma, que afectan las distribuciones y dependencias de las series.” En la mayoría de casos para estimar estas tendencias, se usa la ecuación de regresión lineal simple.

COMPLETACIÓN Y EXTENSIÓN DE SERIES TEMPORALES

Entiéndase por completación a la determinación de los datos faltantes en las series incompletas de precipitaciones, mientras que la extensión es el “alargue” de registros cortos. Ambos procedimientos se hacen con información de buena calidad (Huamán 2016: 16).

Se presenta dos metodologías, descritas por Luis Vásquez Ramírez y José Huamán Vidaurre, ambos catedráticos de la Universidad Nacional de Cajamarca, Perú. Primero se selecciona el modelo de correlación, en este caso la ecuación de regresión lineal simple. Segundo se selecciona la estación índice y la estación la cual se va a realizar la completación. Y por último para dar paso a las metodologías, se plotea los pares regresibles de los datos completos e incompletos, para la relación existente y de ser así su completación de las mismas.

MÉTODOS PARA INTERPOLACIÓN ESPACIAL

A. Método Polígonos de Thiessen

Este es un método parcialmente gráfico, se asigna valores de puntos desde estaciones a un área determinada. Se unen estaciones de medición adyacentes y se construyen mediatrices. Los polígonos se crean donde se cruzan las líneas, marcando el área de influencia de cada estación. Se supone que cada área de polígono está influenciada por la estación de lluvia dentro de ella, es decir, si P_1, P_2, P_3, \dots son las precipitaciones en las estaciones individuales, y A_1, A_2, A_3, \dots son las áreas de los polígonos que rodean estas estaciones, (áreas de influencia) respectivamente, la profundidad promedio de lluvia para toda la cuenca viene dada por (Raghuanth 2006: 27):

$$P_{ave} = \frac{\sum A_1 * P_1}{\sum A_1} \quad \text{Ecuación 1}$$

Donde: $\sum A_1 = A =$ Área total de la cuenca.

Una de las limitaciones serias del método Thiessen es su falta de flexibilidad, ya que cada vez que se produce un cambio en la red de pluviómetros se debe construir un nuevo diagrama de Thiessen (Raghuanth 2006: 27).

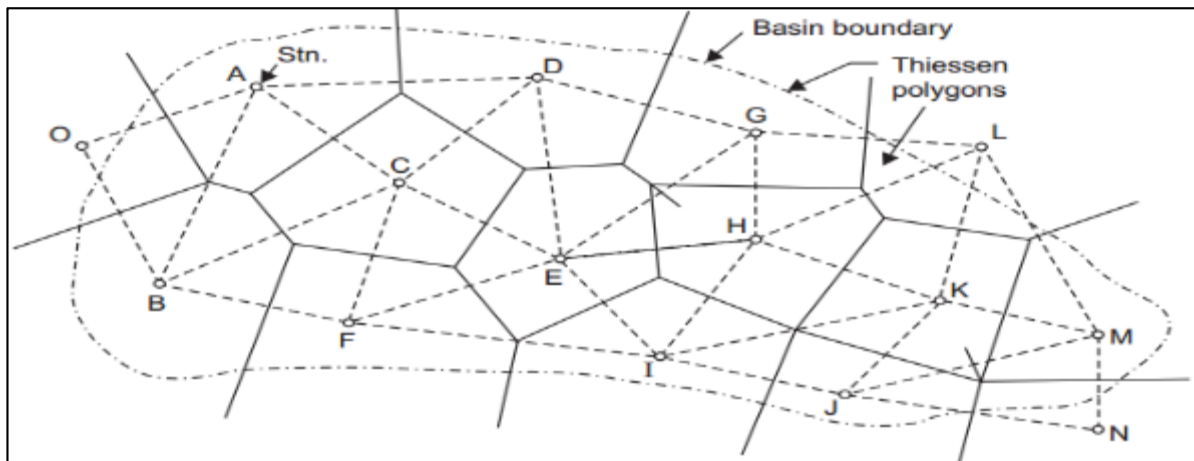


Figura N° 3: Método de Polígono de Thiessen.

Fuente: "Hydrology", por Raghuanth, 2006, p. 28.

B. Método Kriging

El método Kriging estudia fenómenos espaciales (Journel & Huijbregts, citado por Giraldo Henao 2002: 17). Su utilidad primordial es la estimación, predicción y simulación de dichos fenómenos (Myers, citado por Giraldo Henao 2002: 17).

i. Variable regionalizada

Una variable regionalizada mide ciertas propiedades o atributos relacionados con fenómenos espaciales. Esta variable presenta dos aspectos complementarios: por una parte, tiene una cierta “continuidad” espacial (zonas de altos valores y zonas de bajos valores), pero por otro lado, varía irregularmente y escapa a toda representación simple (Emery 2013: 1). Como se muestra en la Figura N° 4.

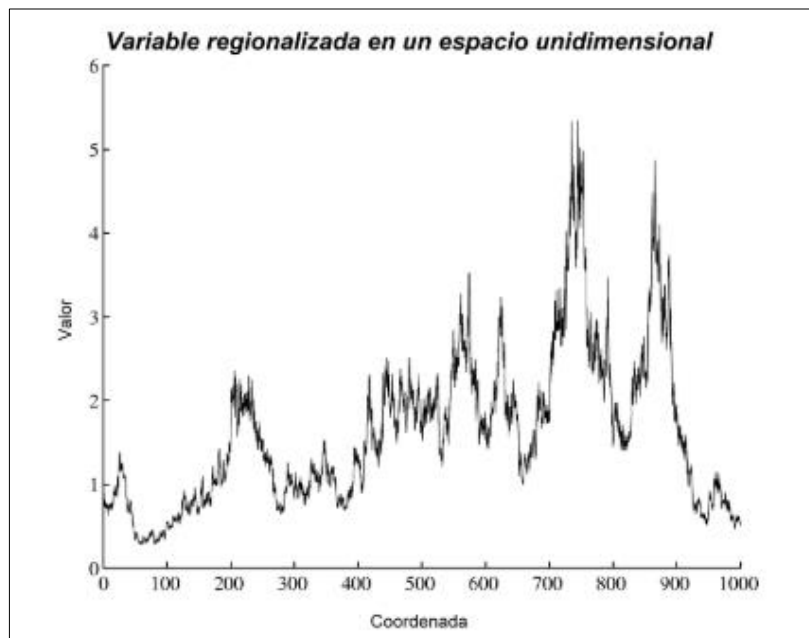


Figura N° 4: Variable regionalizada en un espacio unidimensional. Por ejemplo, podría representar la concentración de una contaminante medida a lo largo del tiempo en una estación de monitoreo.

Fuente: “Geoestadística”, por Emery, 2013, p. 2.

ii. Algunas notaciones

En lo que sigue, denotaremos algunas notaciones según Emery (2013):

- d la dimensión del espacio de trabajo. En general, $d = 2$ ó 3 , es decir, nos encontramos en el espacio geográfico R^2 o R^3 .
- D el campo de la variable regionalizada, que es un dominio limitado del espacio R^d .
- $x = (x_1, \dots, x_d)$ un vector de coordenadas espaciales.
- $z = \{z(x), x \in D\}$ la variable regionalizada estudiada. A menudo, $z(x) \in R$. En el caso multivariable, se podrá tomar $z(x) \in R^N$.
- n el número de sitios con datos.
- $\{x_\alpha, \alpha = 1 \dots n\}$ los sitios con datos en D .

iii. Función aleatoria

El conjunto de variables aleatorias para todo “ x ” en R constituye una función aleatoria, proceso aleatorio, o proceso estocástico. Una función aleatoria, puede tener una estructura, en espacio y tiempo. Intuitivamente, esperamos que las características del entorno en lugares cercanos entre sí sean similares, por lo contrario, si están ampliamente separados tienen menos probabilidades de serlo (Oliver y Webster 2015).

iv. Estacionariedad

Es una suposición que permite tratar los datos como si tuvieran el mismo grado de variación sobre una región de interés (Oliver y Webster 2015). La función aleatoria es representada por:

$$Z(x) = u(x) + \varepsilon(x) \quad \text{Ecuación 2}$$

Donde $u(x)$ es la media del proceso o el término de tendencia determinístico y $\varepsilon(x)$ es una cantidad aleatoria con media cero.

La ecuación del semivariograma o variograma se representa:

$$\gamma(h) = \frac{1}{2} * E[\{Z(x) - Z(x+h)\}^2] \quad \text{Ecuación 3}$$

v. El variograma experimental

Primeramente, vamos a estimar el variograma a partir de datos de muestra, digamos $z(x_1)$, $z(x_2)$, ..., donde x_1, x_2, \dots denotan las posiciones de la muestra en un espacio bidimensional.

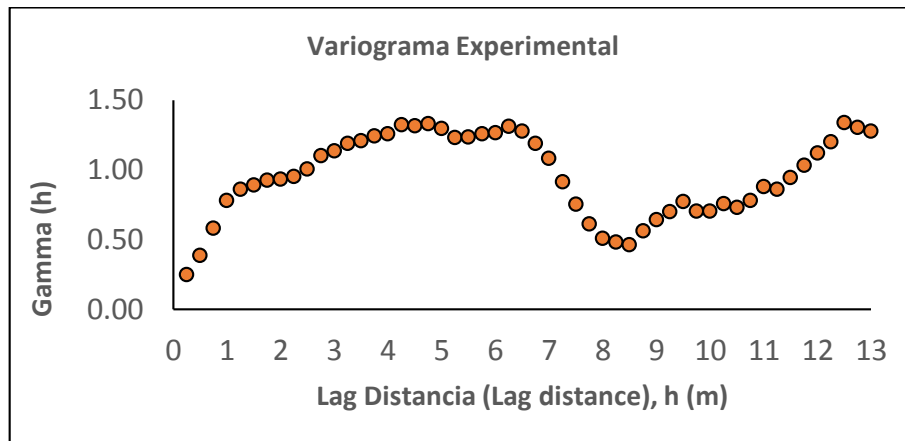


Figura N° 5: Variograma experimental, semivariograma ($\gamma(h)$) contra Lag Distancia (h (m)).

Fuente: “Spatial Modeling with Geostatistics”, por Pyrcz, 2018, p. 28.

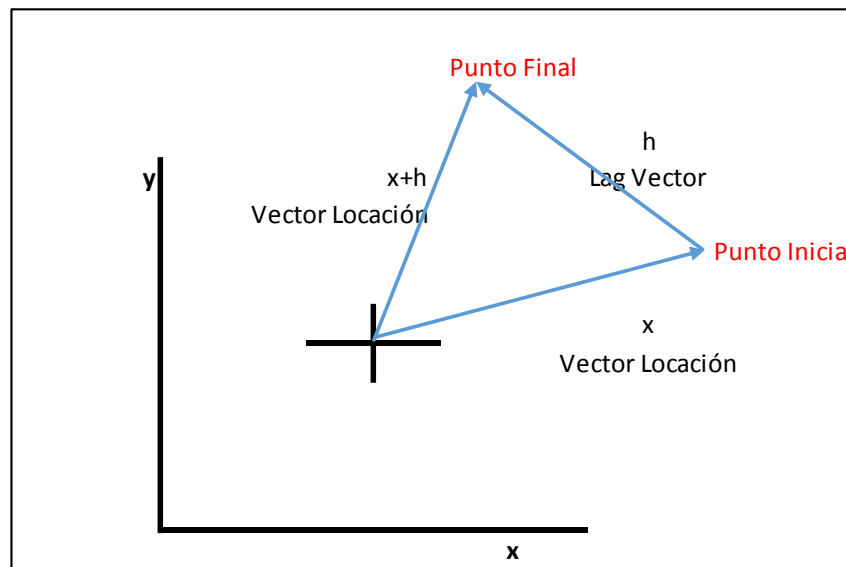


Figura N° 6: Se muestra el vector h “lag vector”, formado por $(x+h) - (x)$.

Fuente: “Spatial Modeling with Geostatistics”, por Pyrcz, 2018, p. 28.

El lag distancia, depende del lag vector, es el resultado de la diferencia de las coordenadas del punto final e inicial en 1D, si los datos están esparcidos de manera regular (Pyrcz 2018).

$$\hat{\gamma}(h) = \frac{1}{2m(h)} \sum_{i=1}^{m(h)} \{z(x_i) - z(x_i + h)\}^2 \quad \text{Ecuación 4}$$

Donde $z(\mathbf{x}_i)$ y $z(\mathbf{x}_i + \mathbf{h})$ son los valores observados de z en los lugares \mathbf{x}_i y $\mathbf{x}_i + \mathbf{h}$, y $m(\mathbf{h})$ es el número de comparaciones pareadas en el “lag” \mathbf{h} . Cambiando h obtenemos un conjunto ordenado de semivariancias, esto constituye el variograma experimental o de muestra. Dicha ecuación es implementada como un algoritmo que depende de si los datos están espaciados regularmente en una dimensión, están en una cuadrilla regular o están distribuidos irregularmente en dos dimensiones (Pyrzcz 2018).

vi. Factores que afectan la fiabilidad de los variogramas experimentales

a. Tamaño de la muestra

La precisión del variograma depende principalmente de la cantidad de data con una densidad adecuada o intervalo de separación (Oliver y Webster 2015: 19).

b. Distribución Estadística

Para el análisis estadístico no se requiere que los datos siguen una distribución normal. Sin embargo, Oliver y Webster (2015) señala que, si los datos no tiene una distribución casi-normal y tienen un coeficiente de asimetría fuera de los límites ± 1 , debería considerar transformarlos. Usando logaritmos o normalizando los datos.

c. Intervalo de muestreo y escala espacial

La elección de un adecuado intervalo de muestro depende de la escala de variación que el profesional desea resolver, por ejemplo, cuenca, región administrativa, entre otros. Oliver y Webster (2015) señala que, si el “lag interval”, rango de Lag distance, excede la mitad del rango

efectivo de variación, es probable que el variograma resultante sea plano, no capturará la estructura correlacionada y por lo tanto no describirá adecuadamente la variación espacial como en la **Figura N° 7**.

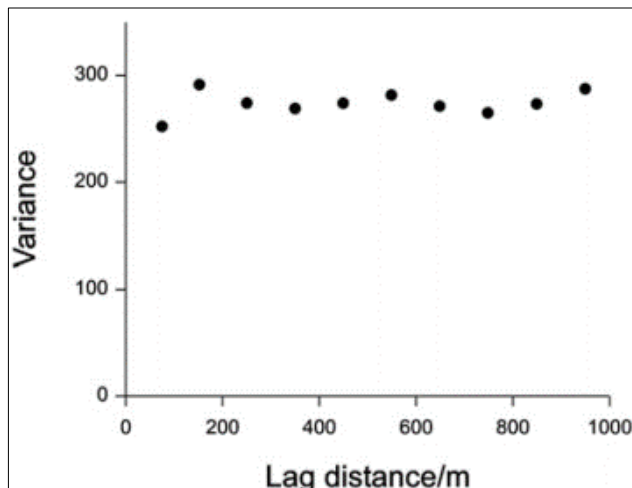


Figura N° 7: Variograma experimental de arena del suelo de una encuesta aleatoria estratificada en el Bosque de Wyre, Inglaterra. El variograma es pepita pura (pure nugget).

Fuente: “Basic Steps in Geostatistics: The Variogram and Kriging”, por Oliver y Webster 2015, p. 23.

d. Intervalo Lag (Lag Interval) e Tolerancia del intervalo Lag (Lag Tolerance)

Oliver y Webster (2015) señala que, cuando los datos están en una cuadrícula regular, el lag distancia o paso natural es un intervalo. Cuando están dispersos irregularmente, las comparaciones deben agruparse por distancia y el profesional debe elegir tanto el “lag interval” y sus limitantes. Es decir, si el “lag distance” y el “lag tolerance” son estrechos, habrá muchas estimaciones de $\gamma(h)$, lo que puede dar un variograma ruidoso porque las semivarianzas se calculan a partir de pocas comparaciones. Si, por lo contrario, el “lag distance” y el “lag tolerance” son anchos, entonces podría haber muy pocas estimaciones para revelar la forma del variograma.

e. Anisotropía

Las anisotropías aparecen cuando el variograma difiere según las direcciones del espacio. Las anisotropías se pueden identificar comparando los variogramas experimentales calculados a lo largo de diferentes direcciones espaciales (Emery 2013: 53). Emery (2013) dice que, en el caso bidimensional, se toma las direcciones $0^\circ, 45^\circ, 90^\circ$ y 135° .

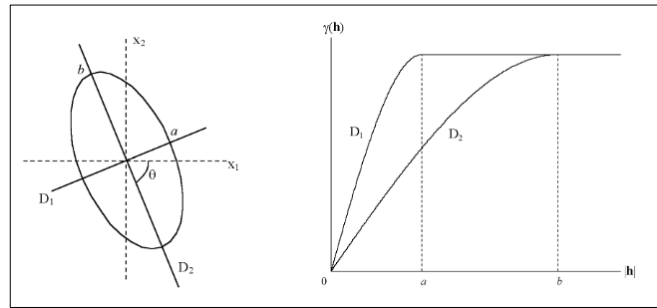


Figura N° 8: Ejemplo (2D) de anisotropía geométrica de razón a/b y ángulo θ . Izquierda: elipse de alcances. Derecha: variograma en las direcciones principales de anisotropía.

Fuente: “Geoestadística”, por Emery, 2013, p. 54.

vii. Características principales del variograma

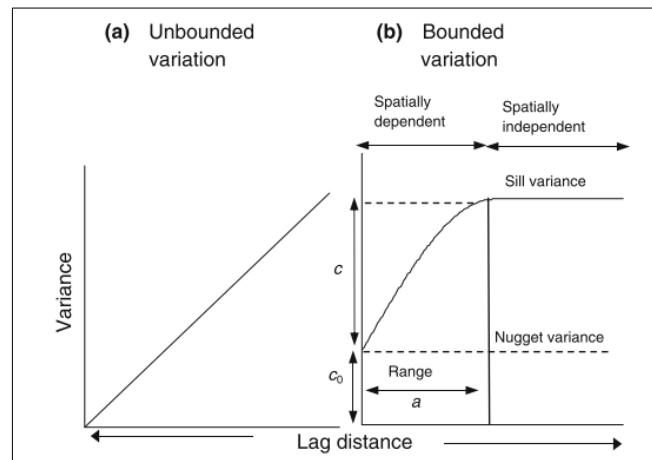


Figura N° 9: Ejemplos de: a) modelos de variograma ilimitados (“Unbounded”) y b) ilustra los parámetros de una función de modelo limitado (Bounded).

Fuente: “Basic Steps in Geostatistics: The Variogram and Kriging”, por Oliver y Webster, 2015, p. 31.

- 1) En la **Figura N° 9 a)** se muestra un variograma ilimitado (Unbounded). Describe un proceso que no es estacionario ya que el variograma puede aumentar indefinidamente al aumentar el “lag distance”.
- 2) En la **Figura N° 9 b)** se muestra un variograma limitado (bounded). Describe un proceso estacionario ya que tiene una zona espacialmente dependiente e independiente.
- 3) En la **Figura N° 9 b)** muestra un límite superior, llamado meseta (sill variance). Separa la zona de datos espacialmente dependientes de los independientes.
- 4) En la **Figura N° 9 b)** muestra el rango (range) de correlación espacial o dependencia. Un variograma que alcanza su meseta a una distancia (lag distance) finita tiene un rango, el cual es el límite de la correlación espacial.
- 5) En la **Figura N° 9 b)** muestra una intersección positiva en la ordenada, la variación pepita (The nugget variance). La variación pepita surge del error de medición y la variación sobre distancias menores que el intervalo de muestra más corto.

viii. Calculando el variograma experimental

Los datos de la vida real frecuentemente son datos escasos que están espaciados irregularmente como en la **Figura N° 10 (b)**.

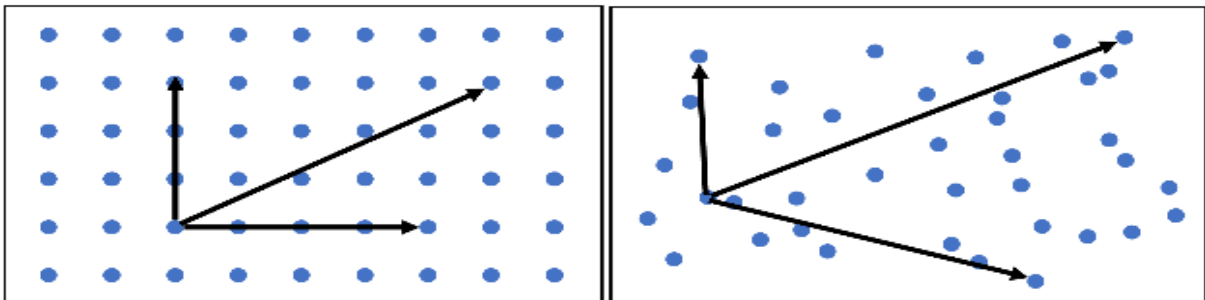


Figura N° 10. (a) lado izquierdo: espacio regular (b) lado derecho: espacio irregular. La data esparcida que obtendrá en la vida real tendrá es muy poca o incluso casi nada, pares de puntos que estén distanciados exactamente por una distancia “h” el uno de otro.

Fuente: “Spatial Simulation 1: Basics of Variograms”, por Kim, 2018. Recuperado de <https://aegis4048.github.io/spatial-simulation-1-basics-of-variograms>.

Entonces, ¿cómo obtenemos pares separados entre dos puntos, “lag distance” (h)? Para eso consideramos distancia (distance), tolerancia de la distancia (distance tolerance), dirección del acimut (azimuth direction), tolerancia del acimut (azimuth tolerance). Con todo eso se forma una guía llamada plantilla de búsqueda de variograma.

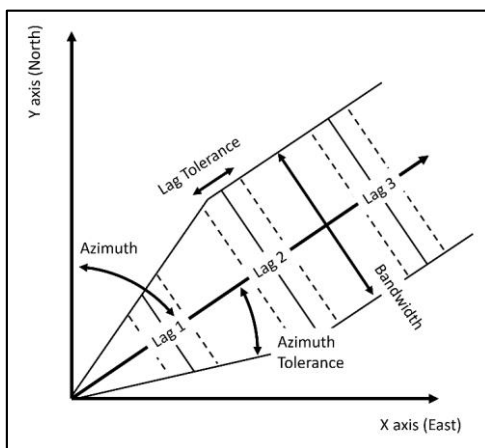


Figura N° 11. Plantilla de búsqueda del variograma.

Fuente: “Spatial Simulation 1: Basics of Variograms”, por Kim, 2018.

ix. Modelando el Variograma.

La construcción del variograma experimental se basa en datos de muestras, estando sujetos al error. El siguiente paso es modelar el variograma a una curva que describa las características principales de la secuencia de datos, mientras ignore la fluctuación errática de punto a punto (Oliver y Webster 2015).

x. Funciones del modelo del variograma

a. Modelo esférico

$$\gamma(h) = \begin{cases} c_0 + c \left\{ \frac{3h}{2r} - \frac{1}{2} \left(\frac{h}{r} \right)^3 \right\} & \text{para } 0 < h \leq r \\ c_0 + c & \text{para } h > r \\ 0 & \text{para } h = 0 \end{cases} \quad \text{Ecuación 5}$$

Donde c_0 es la varianza de pepita (nugget variance), c es la varianza del componente espacialmente correlacionado y r es el rango de dependencia espacial. La cantidad $c_0 + c$ se conoce como “sill variance”.

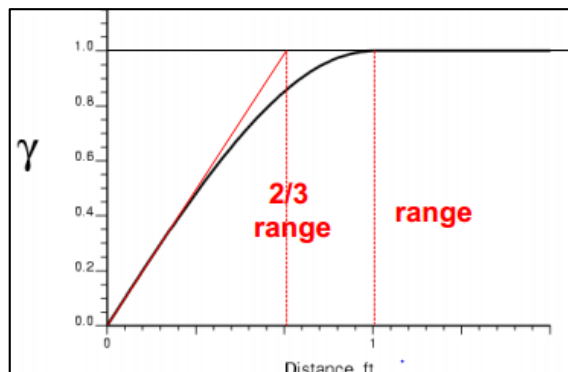


Figura N° 12: Variograma esférico, donde “nugget variance” = 0.

Fuente: “Spatial Modeling with Geostatistics”, por Pyrcz, 2018, p. 20.

b. Modelo Exponencial

$$\gamma(h) = \begin{cases} c_0 + c \left\{ 1 - \exp\left(-\frac{h}{a}\right) \right\} & \text{para } 0 < h \\ 0 & \text{para } h = 0 \end{cases} \quad \text{Ecuación 6}$$

Donde a es el parámetro de distancia. Esta función se acerca a su “sill” asintóticamente, por lo que no tiene un rango finito. Para fines prácticos, es habitual asignar un rango efectivo, que es aproximadamente igual a $3a$, donde el variograma llega al 95% del valor de su meseta (sill).



Figura N° 13: Variograma exponencial, donde “nugget variance” = 0. Similar a la esférica, pero se eleva más abruptamente y llega al “sill” asintóticamente.

Fuente: “Spatial Modeling with Geostatistics”, por Pyrcz, 2018, p. 21.

c. Modelo Gaussiano

Esto es:

$$\gamma(h) = c_0 + c \left\{ 1 - \exp\left(-3 \frac{h^2}{a^2}\right) \right\} \quad \text{Ecuación 7}$$

Donde a es el parámetro de distancia (range). La meseta se alcanza asintóticamente y el alcance práctico puede considerarse igual a $a\sqrt{3}$.

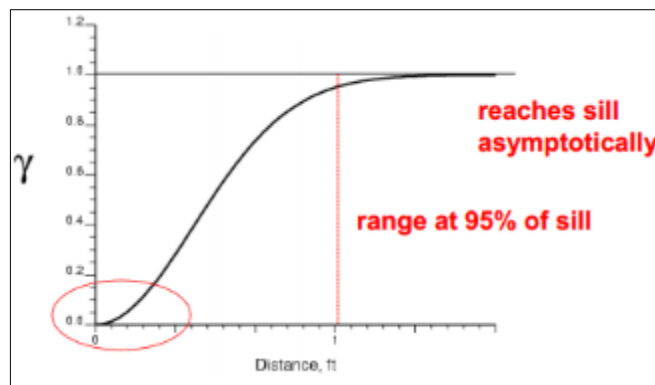


Figura N° 14: Variograma Gaussiano, donde “nugget variance” = 0. Implica la continuidad a pequeña escala; comportamiento parabólico en el origen, en lugar de lineal.

Fuente: “Spatial Modeling with Geostatistics”, por Pyrcz, 2018, p. 22.

d. Efecto pepita (Nugget effect)

$$\gamma(h) = c * Nugget = \begin{cases} 0 & \text{para } h = 0 \\ c & \text{para } h > 0 \end{cases} \quad \text{Ecuación 8}$$

Hay ausencia total de correlación espacial. Emery (2013) señala que, la geoestadística encuentra todos los resultados de la estadística clásica. Esto es muy poco frecuente en las aplicaciones, a menos que los errores de medición sean muy grandes o que las distancias entre datos sean muy mayores que el alcance real, consecuentemente la continuidad espacial es imperceptible.

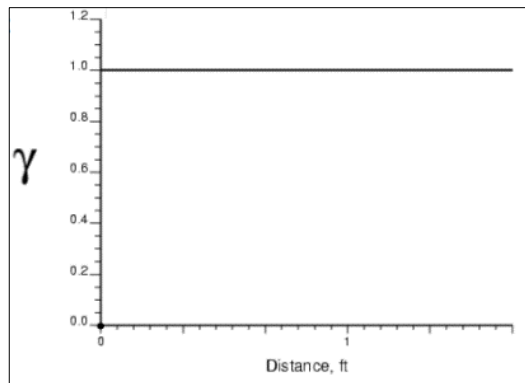


Figura N° 15: Efecto pepita, sin correlación espacial.

Fuente: “Spatial Modeling with Geostatistics”, por Pyrcz, 2018, p. 19.

xi. Kriging

Kriging predice en sitios no visitados a partir de datos dispersos medidos en un número finito de lugares. La predicción se realiza un modelo estocástico de variación espacial continua. También toma en cuenta el conocimiento de la variación espacial dada por el variograma. Kriging Ordinario, este es un tipo de Kriging, busca mejorar la interpolación de los datos tomando en cuenta (Oliver y Webster 2015):

1. Sus distancias al sitio a estimar,
2. Las redundancias entre los datos debidos a posibles agrupamientos,
3. La continuidad espacial de la variable regionalizada (variograma):
 - a. Privilegiar los datos cercanos si el variograma es muy regular en el origen.
 - b. Repetir la ponderación entre los datos si existe un importante efecto pepita.
 - c. En caso de anisotropía, privilegiar los datos ubicados en las direcciones de mayor continuidad con respecto al sitio a estimar.

a. Kriging Ordinario

Kriging ordinario se aplica cuando la media de los datos es desconocida. Es lineal porque sus estimaciones son combinaciones lineales ponderadas de los datos disponibles. Es imparcial

desde que trata de obtener el residuo promedio o error, igual a cero. Por algunos es considerado el mejor estimador porque minimiza la varianza de error (Isaaks 1989: 279).

Para que Kriging encuentre los pesos que minimizan las varianzas sujeto a la restricción de que suma igual a uno se muestra en la siguiente ecuación (Oliver y Webster 2015: 46).

$$\begin{cases} \sum_{\alpha=1}^n \lambda_{\alpha} \gamma(x_{\alpha} - x_{\beta}) - \mu(x_0) = \gamma(x_{\beta} - x_0) \quad \forall \beta = 1 \dots n \\ \sum_{\alpha=1}^n \lambda_{\alpha} = 1 \end{cases} \quad \text{Ecuación 9}$$

La cantidad $\mu(x_0)$ es un multiplicador de Lagrange introducido para lograr la minimización.

En matriz queda:

$$\begin{pmatrix} \gamma(x_1 - x_1) & \dots & \gamma(x_1 - x_n) & 1 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \gamma(x_n - x_1) & \dots & \gamma(x_n - x_n) & 1 \\ 1 & \dots & 1 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \lambda_1 \\ \vdots \\ \lambda_n \\ -\mu \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \gamma(x_1 - x_0) \\ \vdots \\ \gamma(x_n - x_0) \\ 1 \end{pmatrix} \quad \text{Ecuación 10}$$

$$V * w = E \quad \text{Ecuación 11}$$

Calculando los pesos:

$$w = V^{-1} * E \quad \text{Ecuación 12}$$

Cálculo del valor estimado:

$$\hat{v} = \sum_{i=1}^n w_i * v_i \quad \text{Ecuación 13}$$

C. Varianza de error

- 1) Varianza de error, Kriging

La varianza de error cometido en el sitio x_0 se expresa de la siguiente manera:

$$\sigma_{KO}^2(x_0) = \sigma^2 - \sum_{\alpha=1}^n \lambda_{\alpha} C(x_{\alpha} - x_0) + \mu$$

$$\sigma_{KO}^2(x_0) = \sum_{\alpha=1}^n \lambda_{\alpha} \gamma(x_{\alpha} - x_0) + \mu \quad \text{Ecuación 14}$$

“Donde $\sigma^2 = C(0)$ es la varianza a priori de la función aleatoria Z , o sea, la meseta de su variograma. Ahora, la segunda igualdad muestra que la varianza de kriging no depende de este valor σ^2 , por lo cual el kriging ordinario sigue aplicable incluso cuando el variograma no presenta meseta (por ejemplo, cuando es un modelo potencia)” (Emery 2013: 71)

2) Varianza de error, Polígonos de Thiessen

Collado (1988: 42) dice, la lluvia media se considera una constante desconocida y, asumiendo independencia estadística de las mediciones, la varianza de error de la estimación es igual a:

$$\sigma_p^2 = s_x^2 * \left(\sum_{i=1}^n C_i^2 + \frac{1}{A^2} - \frac{2 * \sum_{i=1}^n C_i}{A} \right) \quad \text{Ecuación 15}$$

Donde:

s_x^2 : Varianza a priori del proceso (Datos normalizados igual a uno)

C_i : Los pesos asociados a los polígonos de Thiessen

A: Área

n: Número de estaciones

Los pesos C_i conducen a un estimador insesgado, pero el error de estimación no es de mínima varianza.

2.3. DEFINICIONES Y TÉRMINOS BÁSICOS

Acimut: Es la dirección hacia un objeto con respecto al norte y generalmente es expresado en grados.

Data espacial: Cualquier dato con el que está asociado la posición.

Estocástico: Se habla en el contexto de un modelo de aplicación que, es un componente de modelo aleatorio o basado en probabilidad que genera resultados diferentes a partir de algún valor inicial, dependiendo de la función de probabilidad en el tiempo. Lo contrario de los enfoques o modelos deterministas. Se usa cuando no sabemos el funcionamiento exacto de un proceso.

Polígonos de Thiessen: Una partición del plano usando un conjunto de puntos y dando como resultado un conjunto de polígonos. Cada polígono contiene solo un punto y el área definida por estas aquellas ubicaciones que están más cercanas a este punto, y no otro punto en el conjunto de entrada.

Anisotropía: Una propiedad de un proceso espacial donde la dependencia espacial (autocorrelación) cambia con la distancia y dirección entre dos ubicaciones.

Autocorrelación: La correlación estadística entre las variables aleatorias espaciales de un mismo tipo, atributo, nombre, entre otros. Donde la correlación depende en la distancia y/o dirección que separa las ubicaciones.

Bandwith: Este término se usa para agrupar el semivariograma empírico, es un ancho máximo de un bin (contenedor). Se forma bins entre líneas que divergen. Entonces la divergencia máxima se llama ancho de banda, más allá del cual las líneas se vuelven paralelas.

Determinístico: Es un tipo o parte de un modelo donde el resultado es completamente y exactamente conocido basado en una entrada conocida; es el componente fijo (no aleatorio) de un modelo. En el análisis geoestadístico, todo método de interpolación que no tiene componentes aleatorios son determinísticos.

Geoestadística: De manera general son metodologías estadísticas que usan coordenadas espaciales para ayudar a formular modelos usados en predicción o estimación. En el análisis

geoestadístico: Son métodos de exploración e interpolación que usa información en coordenadas espaciales de los datos.

Isotropía: Una propiedad de procesos naturales donde la dependencia espacial cambia solo con la distancia entre dos ubicaciones (la dirección no es importante)

Kriging: es un procedimiento geoestadístico avanzado que genera una superficie estimada a partir de un conjunto de puntos dispersados en x,y,z.

Nugget: Es un parámetro de un modelo semivariograma o covarianza que representa un error independiente, error de medición y/o variación de microescala en escalas espaciales que son demasiadas finas para detectar.

Kriging ordinario: Es un modelo de predicción espacial usando modelos semivariogramas o covarianzas que depende de la relación espacial entre los datos.

Range: Es un parámetro del modelo de semivariograma o covarianza que representa la distancia límite, el cual más allá hay pequeña o ninguna autocorrelación entre las variables.

variograma: Es una función de la distancia y dirección separadas por dos ubicaciones, utilizada para cuantificar la autocorrelación.

Sill: Un parámetro de un modelo de semivariograma que representa un valor que el semivariograma tiende cuando la distancia se hace muy grande. A distancias grandes, las variables llegan a ser no correlacionadas, entonces el sill del semivariograma es igual a la varianza de la variable aleatoria.

CAPÍTULO III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA DE LA INVESTIGACIÓN

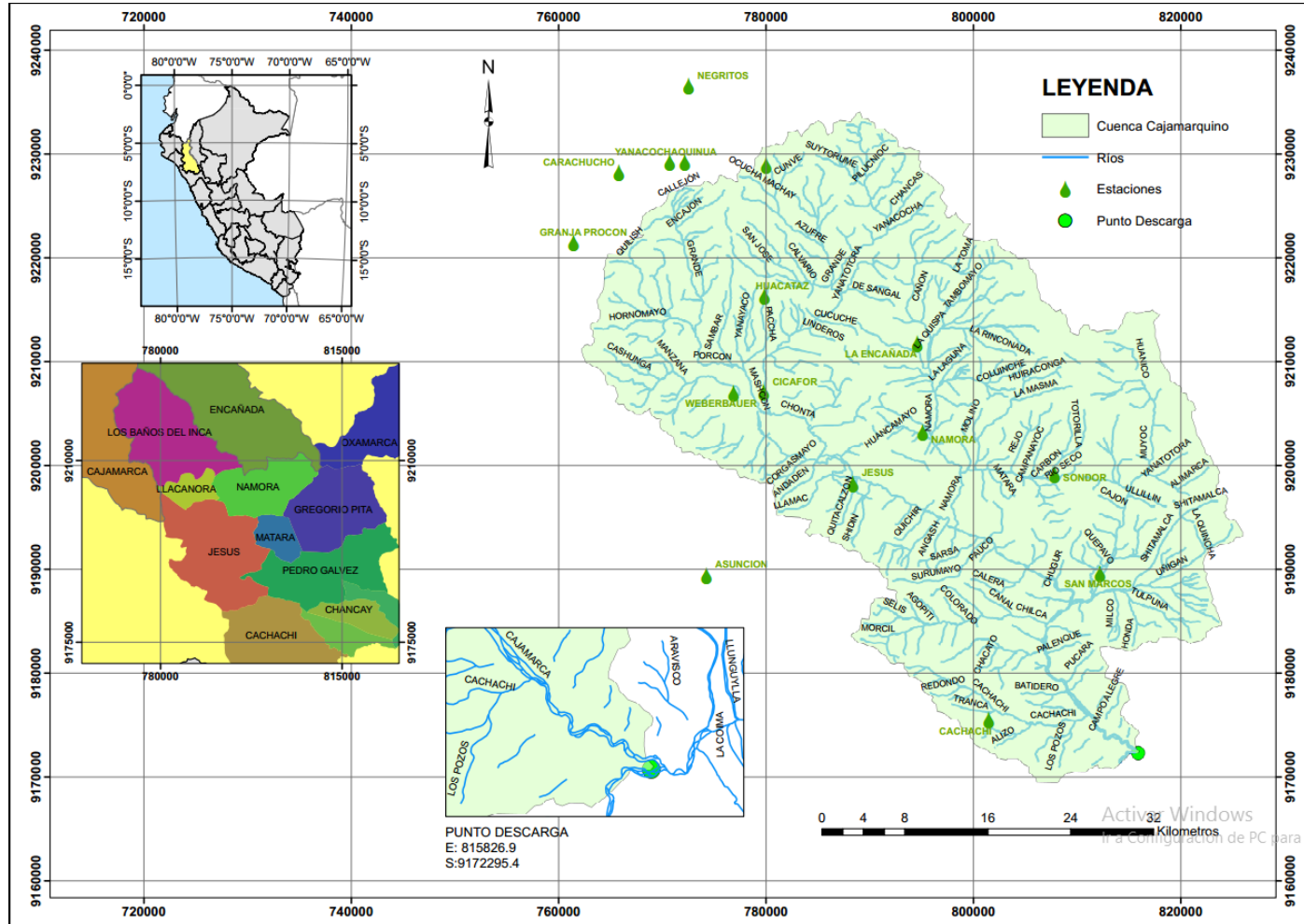


Figura N° 16: Ubicación de la cuenca del Río Cajamarquino.

3.2. METODOLOGÍA

MATERIALES Y EQUIPOS

- Materiales de escritorio: Papel bond, lapicero, marcador, cuaderno, folder manilo, etc.
- Libros.
- Computadora portátil con procesador Intel Core i5.
- Modelos digitales, cartas geográficas donde se encuentra el área de la cuenca del Río Cajamarquino.
- Programas computacionales: ArcGIS 10.5, AutoCAD 2018, y Microsoft Office para el procedimiento de datos y análisis de la información.

POBLACIÓN DE ESTUDIO

La población de estudio está constituida por las precipitaciones mensuales de diferentes periodos registradas en las estaciones.

MUESTRA

Está constituida por las precipitaciones mensuales de las estaciones mostradas en la Tabla N°: 1 pertenecientes a la cuenca del Río Cajamarquino. La muestra cumple con tener una longitud suficiente en el tiempo, es representativa.

Tabla N°: 1. *Estaciones meteorológicas que influyen en la Cuenca del Río Cajamarquino.*

ESTACIONES	PARAMETROS	PERIODOS
AGUSTO WEBERBAUER	Precipitación mensual	1965-2018
LA ENCAÑADA	Precipitación mensual	1997-2018
JESUS	Precipitación mensual	1994-2018
SONDOR	Precipitación mensual	1993-2018
CACHACHI	Precipitación mensual	1965-2018
CARACHUGO	Precipitación mensual	1965-2007

YANACOCHA	Precipitación mensual	1965-2007
MAQUI MAQUI	Precipitación mensual	1965-2007
QUINUA	Precipitación mensual	1965-2007
NEGRITOS	Precipitación mensual	1965-2007
GRANJA PORCON	Precipitación mensual	1967-2018
HUACATAZ	Precipitación mensual	1965-2007
CICAFOR	Precipitación mensual	1965-2007
NAMORA	Precipitación mensual	1965-2018
ASUNCION	Precipitación mensual	1965-2018
SAN MARCOS	Precipitación mensual	1965-2018

Fuente: Elaboración propia

UNIDAD DE ANÁLISIS

Precipitación mensual en mm/m².

TIPO Y MÉTODO DE ESTUDIO

Tipo: investigación aplicada.

Nivel: investigación descriptiva.

Diseño: No experimental-trasversal.

Método: Científico.

DEFINICIÓN DE VARIABLES

-Variable independiente

La eficiencia de cálculo entre el método Kriging y el método Polígonos de Thiessen.

-Variable dependiente

La precipitación media.

TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

Técnicas: La observación.

Instrumentos: Tabla de datos.

ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE DATOS

El análisis de datos de precipitaciones se realizó en hojas de cálculo de Microsoft Excel.

3.3. PROCEDIMIENTO METODOLÓGICO

CUENCA HIDROLÓGICA

Primeramente, descargué las Cartas Nacionales del Perú, que abarcan la cuenca del Río Cajamarquino (14f, 14g, 15f, 15g) en formato “Shapefile” de la página web de GEO GPS PERÚ. Los archivos shapefile se convirtieron en formato RASTER, y a partir de ahí trabajé la cuenca según la Figura N° 17 en ArcGIS 10.5.

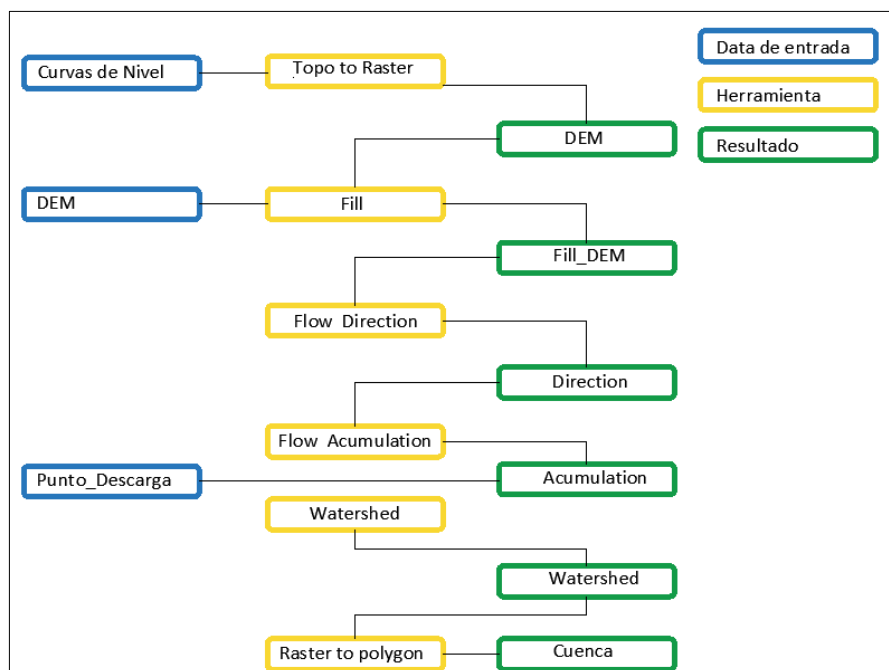


Figura N° 17. Diagrama de flujo para obtener la cuenca del Río Cajamarquino en ArcGis 10.5.

Fuente: Modificado de “Delimitar una cuenca hidrográfica en ArcGIS”, por MasterGIS, 2018.

El área de la cuenca del Río Cajamarquino es igual a 2149.17 Km² y el perímetro es igual a 256.295 Km.

ANÁLISIS DE CONSISTENCIA DE LA INFORMACIÓN

Las precipitaciones mensuales que afectan a la cuenca del Río Cajamarquino fueron obtenidas del organismo Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI) y son mostradas en ANEXO N° 1. Antes de aplicar los métodos Kriging y Polígonos de Thiessen se realizó el análisis de consistencia de los datos, para eso se siguió una serie de procedimientos que se muestra en ANEXO N° 2. La principal fuente usada para el análisis de consistencia fue el libro “Hidrología”, escrito por José Huamán Vidaurre.

Tabla N°: 2. Estaciones meteorológicas dentro o cercanas a la cuenca del Río Cajamarquino.

ESTACIÓN	ESTE	NORTE	ALTITUD
WBERBAUER	776880.86	9206978.38	2536
LA ENCAÑADA	794592.55	9211766.36	2862
JESUS	788405.20	9198276.24	2495
SONDOR	807842.72	9199113.72	2775
CACHACHI	801496.81	9175449.42	3140
GRANJA PROCON	761452.45	9221443.78	2980
NAMORA	795126.22	9203217.22	2670
ASUNCION	774267.57	9189441.90	2160
SAN MARCOS	812204.41	9189617.19	2190
CICAFOR	779797.75	9207054.58	2660
NEGRITOS	772554.92	9236569.95	3560
QUINUA	770704.79	9229233.69	3618
MAQUI MAQUI	780018.94	9228953.99	4024
YANACOCHA	772167.00	9229180.00	3118
CARACHUGO	765800.00	9228200.00	3988
HUACATAZ	779848.35	9216275.63	3130

Fuente: Brindada por SENAMHI

MÉTODO POLÍGONOS DE THIESEN

Una vez completada las precipitaciones de todas las 16 estaciones, es necesario saber el área de influencia de cada estación sobre la cuenca del Río Cajamarquino. Para eso hacemos uso del programa ArcGIS teniendo en cuenta el procedimiento descrito por H. M. Raghuanth.

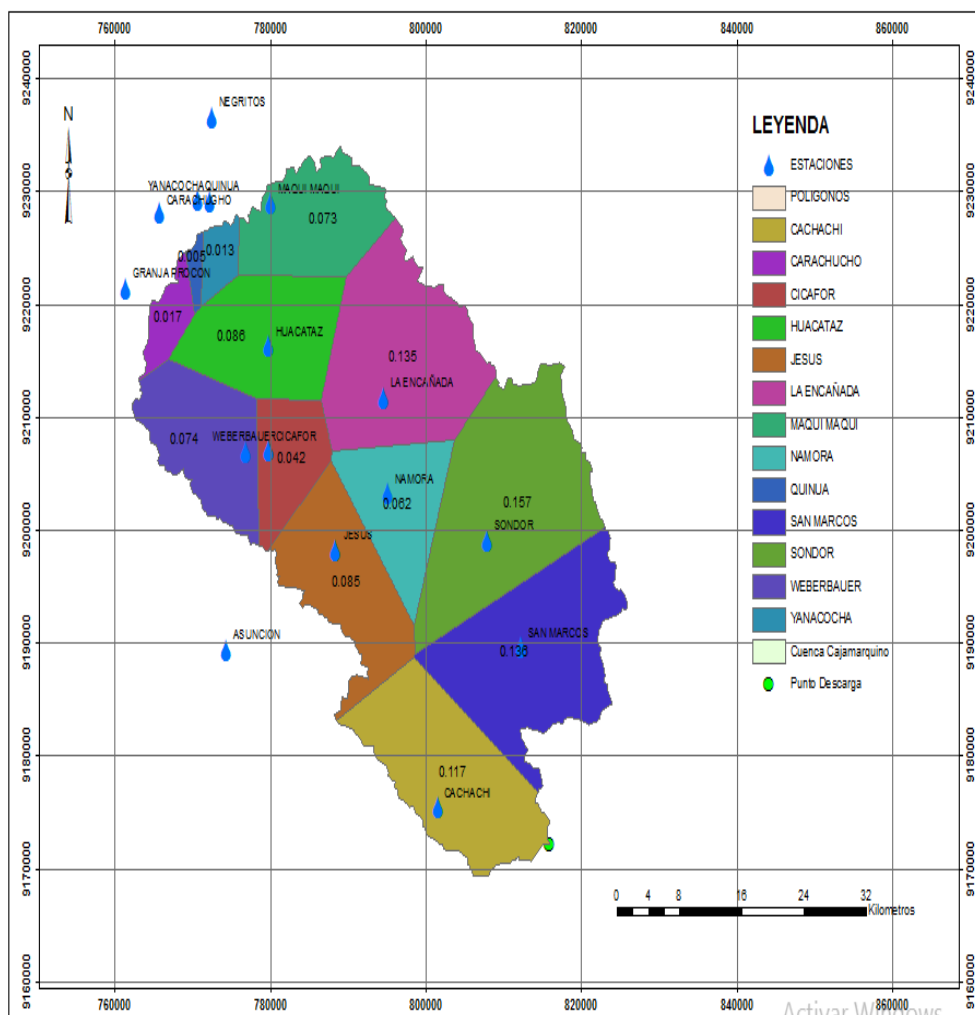


Figura N° 18: Polígonos de Thiessen en la cuenca del Río Cajamarquino.

Fuente: Elaboración propia

En la **Figura N° 18** se ubica espacialmente las estaciones meteorológicas y aplicando polígonos de Thiessen se halla el área de influencia de cada estación. En la Tabla N°: 3 se muestra áreas con sus respectivos pesos.

Tabla N°: 3: Áreas de influencia y pesos para cada estación.

ESTACIONES	ÁREA (Km ²)	PESOS
SAN MARCOS	292.833	0.136
HUACATAZ	184.676	0.086
JESUS	181.794	0.085
NAMORA	132.255	0.062
CACHACHI	250.439	0.117
SONDOR	337.287	0.157
CARACHUCHO	35.4904	0.017
YANACOCCHA	27.6804	0.013
MAQUI MAQUI	156.721	0.073
QUINUA	9.74693	0.005
CICAFOR	90.2156	0.042
LA ENCAÑADA	289.948	0.135
WEBERBAUER	160.084	0.074

Fuente: Elaboración propia

Las estaciones Asunción, Granja Porcon y Negritos no denotan áreas de influencia en la cuenca del Río Cajamarquino.

Obtenido los pesos de cada estación, estos multiplican a cada valor de la precipitación de su correspondiente estación (por mes y año). El resultado completo de la precipitación media mensual se muestra en el CAPÍTULO IV en la Tabla N°: 17 (ver p. 58).

MÉTODO KRIGING

Para el desarrollo del cálculo de este método tomé como referencia a Michael Pyrcz, catedrático de la Universidad de Texas de Austin en Estados Unidos (Disponible en <https://github.com/GeostatsGuy>).

A. Notaciones

d: nos encontramos en el espacio geográfico R^2 , es decir en un espacio bidimensional ($d=2$).

D: el dominio limitado (campo de la variable) es la cuenca del Río Cajamarquino.

x: las coordenadas espaciales están dadas coordenadas UTM WGS 84.

$z = \{z(x), x \in D\}$. La variable regionalizada es la cantidad de precipitación (puntos de observación son las estaciones meteorológicas) que cae sobre la cuenca del Río Cajamarquino.

n : son 16 estaciones meteorológicas que recogen la información de precipitaciones mensuales.

B. Variograma experimental

Primeramente, denotamos las posiciones de las estaciones meteorológicas en un espacio bidimensional. Se asume que dichas posiciones han sido seleccionadas sin sesgo.

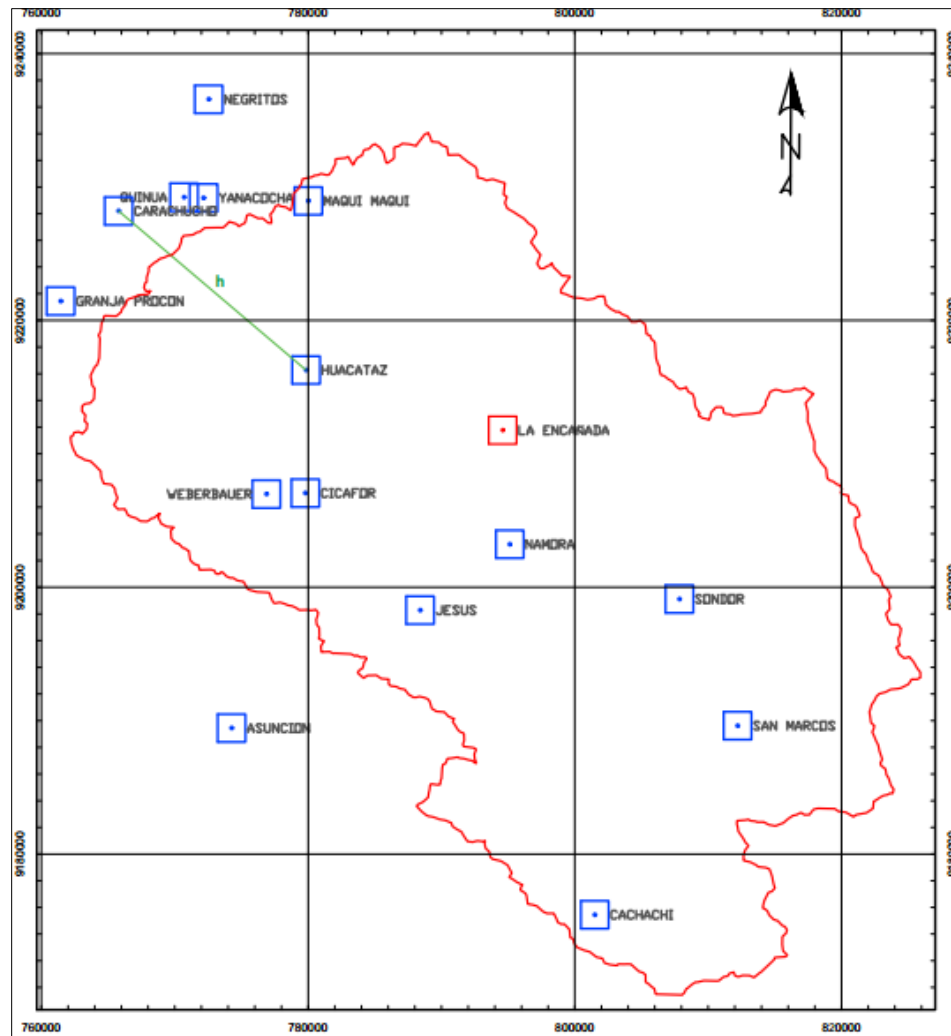


Figura N° 19. Ubicación espacial de las estaciones meteorológicas (puntos de recopilación de la precipitación) pertenecientes a la cuenca del Río Cajamarquino.

Fuente: Elaboración propia.

Calcular el variograma experimental es todo un reto, por eso haremos uso de hojas de cálculo siguiendo el siguiente procedimiento. Se mostrará el procedimiento para el mes de enero, repitiéndose esto para los demás meses. Se muestra la ecuación del semivariograma. Ecuación 4 (ver p. 13):

$$\hat{\gamma}(h) = \frac{1}{2m(h)} \sum_{i=1}^{m(h)} \{z(x_i) - z(x_i + h)\}^2$$

Las precipitaciones mensuales se normalizo, $(X - \mu)/\sigma$, esto se realizó con el fin de determinar el sill o meseta en el semivariograma, ya que los valores mayor a 1 ya no muestran una correlación espacial.

Para crear el variograma experimental, determinamos la diferencia al cuadrado entre los valores de precipitación. La autocorrelación espacial cuantifica el supuesto que las estaciones que son cercanas son más parecidas que las estaciones que están más alejadas. Por ello, pares de ubicaciones que están cerca podría tener valores más similares.

Se forma una matriz calculando la diferencia cuadrada de los pares $\{z(x_i) - z(x_i + h)\}^2$ como se muestra en la **Figura N° 20**. El tamaño de la matriz depende de la cantidad de datos que se tiene, son 16 estaciones en un periodo de 1965 a 2018. Obteniendo un matriz de 864x864.

DIFERENCIA CUADRADA DE PARES				E	774267.57	801496.81	779797.7503
				N	9189441.902	9175449.415	9207054.579
				ENERO	-0.312	-0.044	0.434
ESTACIONES	E	N	ENERO		1	2	3
ASUNCIÓN	774267.57	9189441.90	-0.312	1	0.00	0.07	0.56
CACHACHI	801496.81	9175449.42	-0.044	2	0.07	0.00	0.23
CICAFOR	779797.75	9207054.58	0.434	3	0.56	0.23	0.00

Figura N° 20: Se muestrea parte de la matriz para calcular la diferencia cuadrada de pares (h).

Fuente: Elaboración propia.

La distancia entre estaciones meteorológicas se calcula aplicando teorema de Pitágoras en un plano cartesiano.

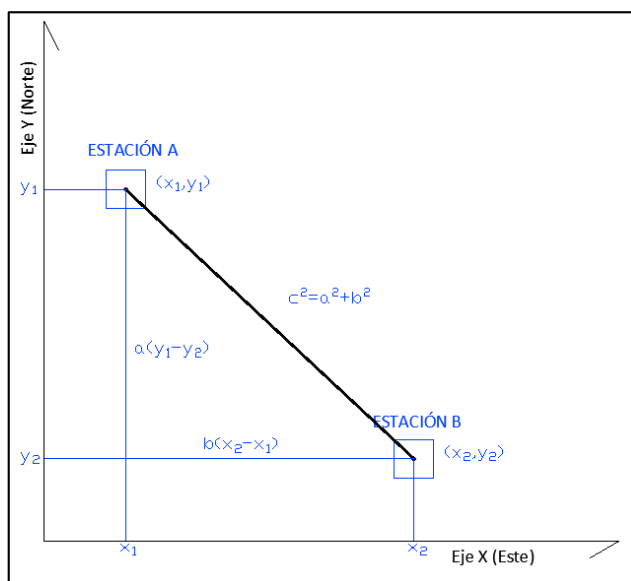


Figura N° 21. Distancia “c” entre dos estaciones meteorológicas cualesquiera. Donde “c” es igual a: $c = \sqrt{a^2 + b^2}$.

Fuente: Elaboración propia.

Se forma una matriz de igual tamaño que la anterior 864 x 864, ubicando las coordenadas de cada estación para luego hallar el distanciamiento entre las estaciones aplicando Pitágoras; como se muestra en la Figura N° 22.

DISTANCIA				E	774267.5654	801496.8145	779797.7503
				N	9189441.902	9175449.415	9207054.579
				ENERO	-0.312275901	-0.044436888	0.43423782
ESTACIONES	E	N	ENERO		1	2	3
ASUNCIÓN	774267.5654	9189441.902	-0.312275901	1	0.00	30614.08	18460.48
CACHACHI	801496.8145	9175449.415	-0.044436888	2	30614.08	0.00	38337.13
CICAFOR	779797.7503	9207054.579	0.43423782	3	18460.48	38337.13	0.00

Figura N° 22. Se muestra parte de la matriz de cálculo de la distancia entre estaciones.

Fuente: Elaboración propia.

Se pasa a determinar el acimut y el ángulo de tolerancia de acimut, ambos determinan que estaciones serán incluidos o excluidos.

En la **Figura N° 23** muestra la búsqueda direccional continua para cada estación.

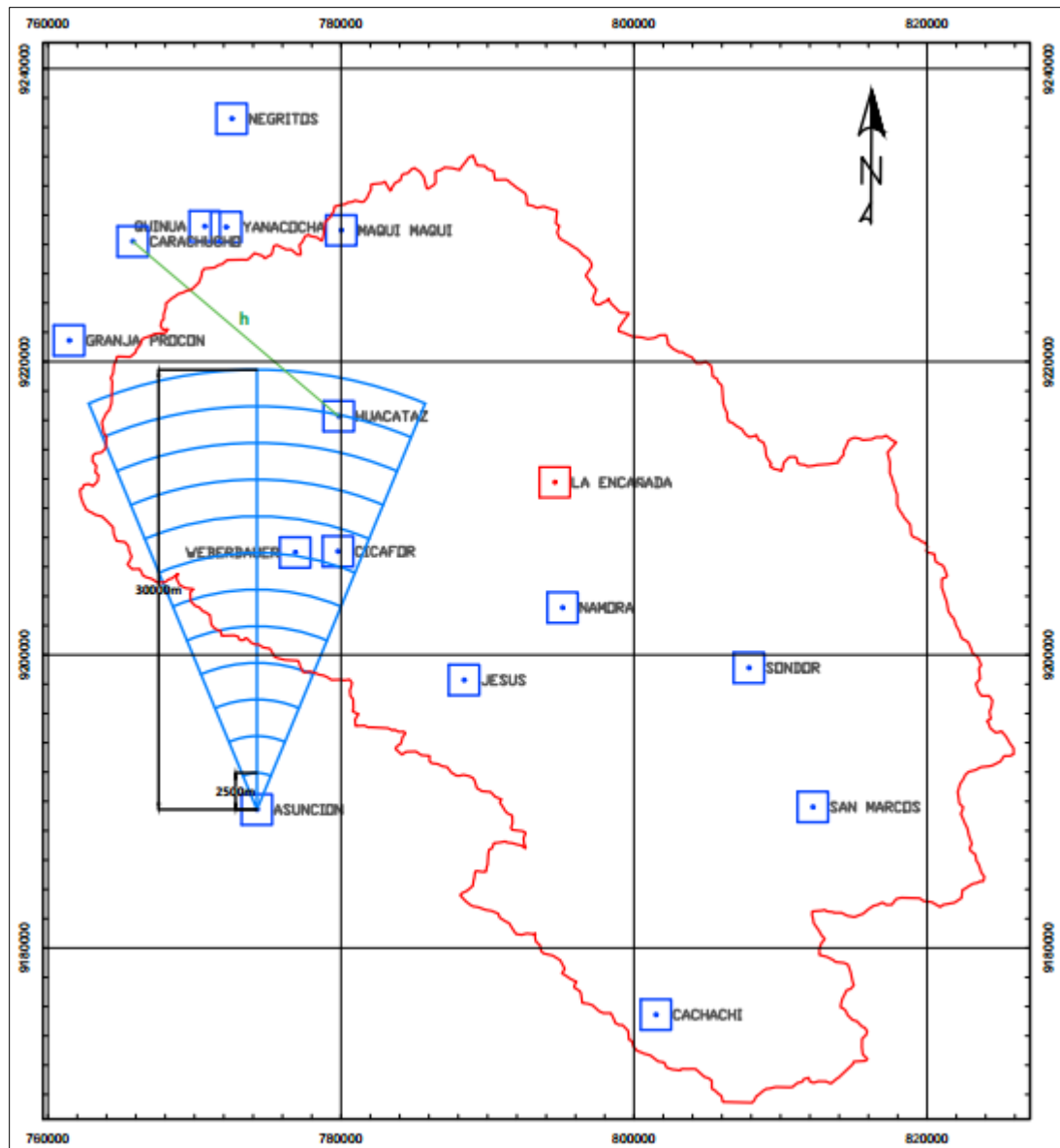


Figura N° 23 : Se muestra la plantilla de búsqueda del variograma con azimut 0° y ángulo de tolerancia del acimut igual a 45°

Fuente: Elaboración propia.

El acimut se mide a partir del eje Y positivo, el cual se muestra como eje central. Del eje central se mide el ángulo de tolerancia del acimut. La tolerancia de acimut en lo posible debe captar el número máximo de pares. El ángulo de tolerancia del azimut recomendado es de 45° .

AZIMUTH				E	774267.5654	801496.8145	779797.7503
				N	9189441.902	9175449.415	9207054.579
				ENERO	-0.312275901	-0.044436888	0.43423782
ESTACIONES	E	N	ENERO		1	2	3
ASUNCIÓN	774267.5654	9189441.902	-0.312275901	1		297.20	197.43
CACHACHI	801496.8145	9175449.415	-0.044436888	2	117.20		145.53
CICAFOR	779797.7503	9207054.579	0.43423782	3	17.43	325.53	

Figura N° 24: Se muestra parte de la matriz del cálculo del acimut.

Fuente: Elaboración propia.

La continuidad espacial se verifica en las cuatro direcciones importantes, acimut de: 0°, 90°, 45° y 135°. La distancia máxima de “lag distance” (h) del semivariograma experimental debe pertenecer al intervalo lag o “lag interval”. Dicho intervalo está conformado por el distanciamiento que existe entre estaciones. Para ello se sigue el siguiente criterio, se escoge dos estaciones lejanas y dos estaciones cercanas una de la otra.

Tabla N°: 4. *Distancia entre estaciones lejanas, para calcular el “lag interval”.*

ESTACION	ESTE	NORTE
NEGRITOS	772554.9158	9236569.949
CACHACHI	801496.8145	9175449.415
DISTANCIA	28,941.9	61,120.5

Fuente: Elaboración propia

De la Tabla N°: 4 el valor 28,951.9 m es el valor posible máximo del “lag interval”.

Tabla N°: 5. *Distancia entre estaciones cercanas, para calcular el “lag interval”.*

ESTACION	ESTE	NORTE
WEBERBAUER	776,880.9	9,206,978.4
CICAFOR	779,797.8	9,207,054.6
DISTANCIA MINIMA	2,916.9	76.2

Fuente: Elaboración propia

De la Tabla N°: 5 el valor 2,916.9 m es el valor posible mínimo del “lag interval”.

Obtener el “lag interval” es importante ya que nos dan un semivariograma experimental más acorde a la estructura espacial según la ubicación las estaciones meteorológicas. Y nos impide estar divagando y dudando de la consistencia del variograma. En la Tabla N°: 6, se muestra el valor del lag distancia, 2 500 m, cercano a 2 916.9 m, y distancia máxima, 30 000 m, cercano a 28,941.9 m.

Se procede al cálculo del variograma experimental. Los parámetros obtenidos de la Tabla N°: 6 se obtuvieron a través de un proceso iterativo tomando en cuenta los datos anteriores, para el mejor comportamiento espacial que se refleja en los semivariograma de la **Figura N° 25**.

Tabla N°: 6: *Parámetros de cálculo del semivariograma en las siguientes direcciones de azimuth 0°, 90°, 45° y 135°*

Parámetros de Cálculos del Variograma				
	Dir1	Dir2	Dir3	Dir4
Azimuth (Acimut)	0	90	45	135
Azi Tolerance (Tolerancia de acimut)	45	45	45	45
Lag Distance (Lag distancia)	2,500			
Lag Tolerance (Lag tolerancia)	2,875			
Max distance (Máxima distancia)	30,000			

Fuente: Elaboración propia.

Para graficas los semivariogramas experimentales mostrado en la Figura N° 25 para cada acimut, se graficó la distancia vs Gamma (h) mostrados en la Tabla N°: 7 .

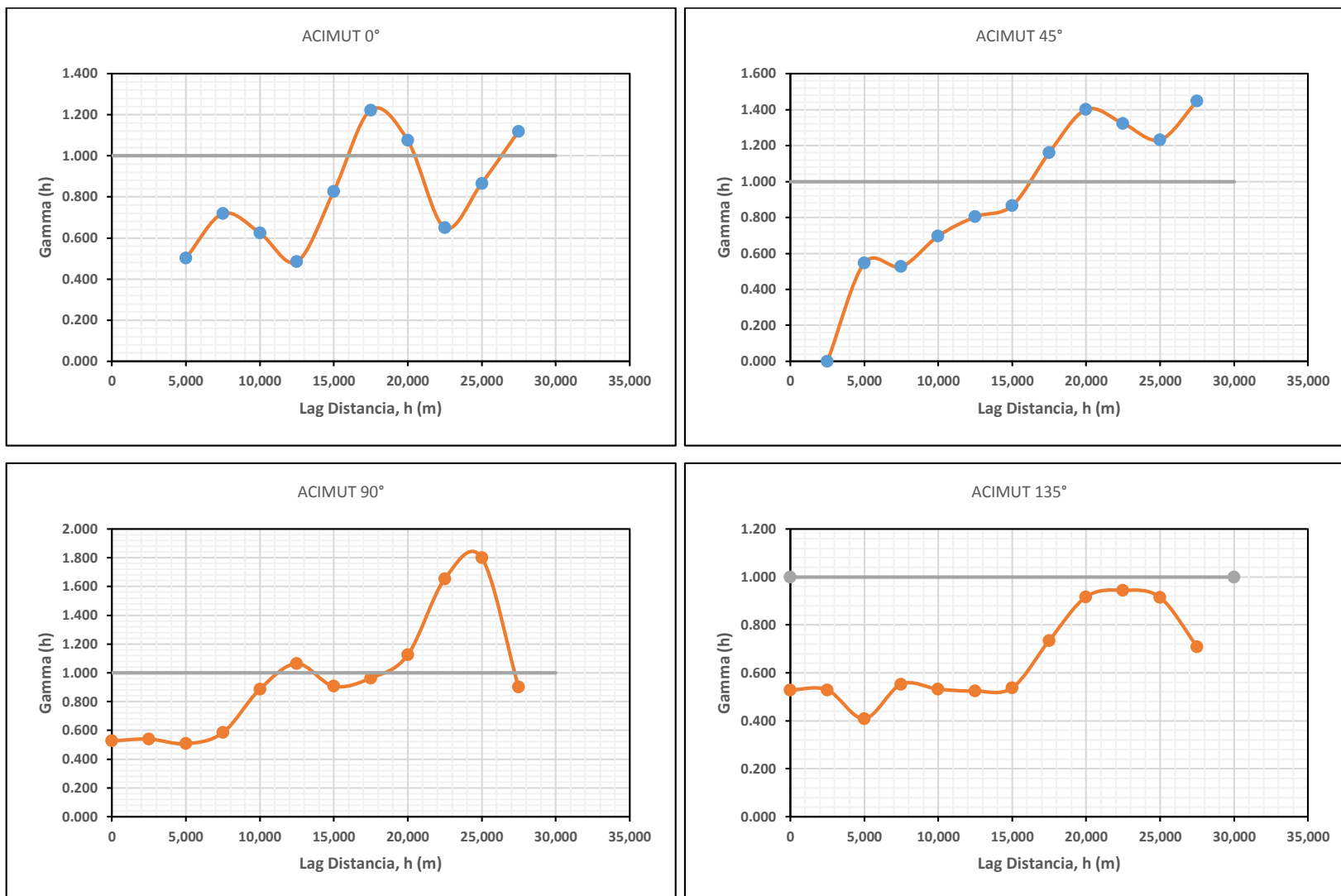


Figura N° 25: Semivariograma experimentales: dirección 1 (0°), dirección 2 (90°), dirección 3 (45°), y dirección 4 (135°)

Tabla N°: 7. Valores para graficar los semivariograma experimentales de la Figura N° 25

Lag	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Distancia (h)	0	2500	5000	7500	10000	12500	15000	17500	20000	22500	25000	27500

Distancia			5000.00	7500.00	10000.00	12500.00	15000.00	17500.00	20000.00	22500.00	25000.00	27500.00
SumSq	0.00	0.00	5868.69	25163.95	40126.79	22640.50	33763.77	57057.57	62700.24	45574.73	55568.46	52225.27
npair	0.00	0.00	5832.00	17496.00	32076.00	23328.00	20412.00	23328.00	29160.00	34992.00	32076.00	23328.00
Gamma(h) Dir1-0			0.50	0.72	0.63	0.49	0.83	1.22	1.08	0.65	0.87	1.12
Sill	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

Distancia	0.00	2500.00	5000.00	7500.00	10000.00	12500.00	15000.00	17500.00	20000.00	22500.00	25000.00	27500.00
SumSq	3081.31	9464.35	11865.38	17044.64	20683.97	31055.28	42362.47	67497.60	65582.61	67461.96	31520.27	26277.62
npair	2916.00	8748.00	11664.00	14580.00	11664.00	14580.00	23328.00	34992.00	29160.00	20412.00	8748.00	14580.00
Gamma(h) Dir2-90	0.53	0.54	0.51	0.58	0.89	1.06	0.91	0.96	1.12	1.65	1.80	0.90
Sill	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

Distancia		2500.00	5000.00	7500.00	10000.00	12500.00	15000.00	17500.00	20000.00	22500.00	25000.00	27500.00
SumSq	0.00	6383.04	15350.41	32540.96	42199.63	35367.38	54184.29	81699.80	69448.77	35932.00	33785.52	37163.34
npair	0.00	5832.00	14580.00	23328.00	26244.00	20412.00	23328.00	29160.00	26244.00	14580.00	11664.00	8748.00
Gamma(h) Dir3-45		0.55	0.53	0.70	0.80	0.87	1.16	1.40	1.32	1.23	1.45	2.12
Sill	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

Distancia	0.00	2500.00	5000.00	7500.00	10000.00	12500.00	15000.00	17500.00	20000.00	22500.00	25000.00	27500.00
SumSq	3081.31	3081.31	2383.66	9667.63	18611.14	18328.40	21941.95	42855.36	58834.08	77104.70	53303.20	41339.55
npair	2916.00	2916.00	2916.00	8748.00	17496.00	17496.00	20412.00	29160.00	32076.00	40824.00	29160.00	29160.00
Gamma(h) Dir4-135	0.53	0.53	0.41	0.55	0.53	0.52	0.54	0.73	0.92	0.94	0.91	0.71
Sill	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

El valor máximo de la meseta (sill) en cada variograma, al ser normalizada los datos, es uno. En la Figura N° 25 los variogramas que superan o llegan a la meseta (sill), significa que sus datos ya no tienen correlación el uno al otro.

En el variograma de dirección 0°, presenta un variograma ruidoso e intrépido. Los valores del variograma suben y bajan, difícil de encajar a uno de los modelos. En el variograma de dirección 135°, presenta un modelo ruidoso. Existe un efecto pepita al inicio del variograma y luego se extiende de manera ruidosa.

El variograma de dirección 45° y 90° son los variogramas que muestran mejor correlación espacial entre estaciones meteorológicas.

Al parecer el modelo que mejor se adecua para los cuatro variogramas es el gaussiano, pero eso se verificará en la siguiente sección.

C. Modelando Variograma Experimental

El variograma experimental está basado en datos de muestras. Estos valores deben ajustarse a una curva (fórmula matemática), una que describa las principales características, mientras ignora la fluctuación errática de punto a punto. Las funciones para el ajuste son: Modelo esférico, modelo exponencial y modelo gaussiano.

Se usa la herramienta “solver evolutionary algorithm” de Excel para encajar el mejor modelo para los semivariogramas, de lo contrario se haría manualmente. Y aplicando la Raíz del Error Cuadrático Medio o RMSE (Root Mean Squared Error) para saber cuál modelo se acopla mejor en los acimuts siguientes 0°, 90°, 45° y 135°.

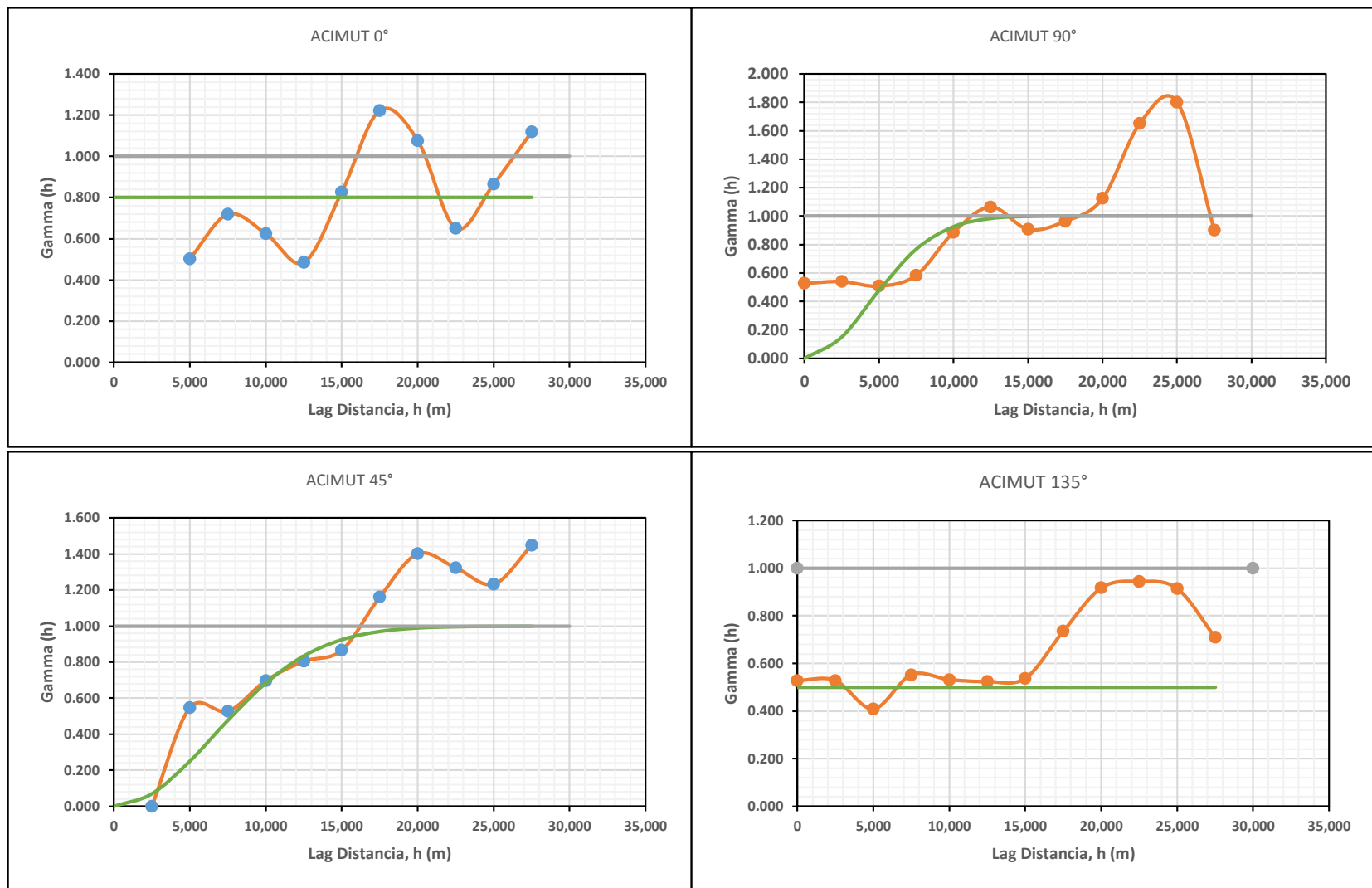


Figura N° 26: Modelando semivariograma experimentales: dirección 1 (0°), dirección 2 (90°), dirección 3 (45°), y dirección 4 (135°).

Tabla N°: 8.. Valores para graficar los modelos de la Figura N° 26.

Lag	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Distancia	0	2500	5000	7500	10000	12500	15000	17500	20000	22500	25000	27500

Modelo Dir 0°	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
	0	2500	5000	7500	10000	12500	15000	17500	20000	22500	25000	27500
0	0.8000	0.8000	0.8000	0.8000	0.8000	0.8000	0.8000	0.8000	0.8000	0.8000	0.8000	0.8000
1												
Gamma(h)	0.8000	0.8000	0.8000	0.8000	0.8000	0.8000	0.8000	0.8000	0.8000	0.8000	0.8000	0.8000

Modelo Dir 90°	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
	0	2500	5000	7500	10000	12500	15000	17500	20000	22500	25000	27500
0	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
1	0.0000	0.1492	0.4760	0.7664	0.9246	0.9824	0.9970	0.9996	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
Gamma(h)	0.0000	0.1492	0.4760	0.7664	0.9246	0.9824	0.9970	0.9996	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000

Modelo Dir 45°	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
	0	2500	5000	7500	10000	12500	15000	17500	20000	22500	25000	27500
0	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
1	0.0000	0.0694	0.2502	0.4768	0.6839	0.8346	0.9251	0.9706	0.9900	0.9971	0.9993	0.9998
Gamma(h)	0.0000	0.0694	0.2502	0.4768	0.6839	0.8346	0.9251	0.9706	0.9900	0.9971	0.9993	0.9998

Modelo Dir 135°	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
	0	2500	5000	7500	10000	12500	15000	17500	20000	22500	25000	27500
0	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
1	0.0000	0.1268	0.2518	0.3731	0.4890	0.5976	0.6970	0.7855	0.8611	0.9222	0.9669	0.9933
Gamma(h)	0.0000	0.1268	0.2518	0.3731	0.4890	0.5976	0.6970	0.7855	0.8611	0.9222	0.9669	0.9933

De la Figura N° 26 en el acimut 45° presenta la precipitación mejor comportamiento estructural. Se verificará cual modelo se ajusta mejor. Para ello se escoge el modelo que presente menor valor de RMSE.

Tabla N°: 9. Raíz del error cuadrático medio (RMSE) con acimut de 45°

Modelo Dir 45°	
RMSE Esférico	0.435
RMSE Gaussiano	0.432
RMSE Exponencial	0.441

Fuente: Elaboración propia.

El modelo gaussiano presenta el menor valor RMSE entre los modelos esférico, gaussiano y exponencial. Luego se calculan los valores de la varianza pepita (c_0), la varianza del componente espacialmente correlacionado (c) y el rango de dependencia espacial (a).

Tabla N°: 10. muestra los valores de los parámetros del variograma. Estos valores son necesarios para aplicar Kriging Ordinario.

Tabla N°: 10. Parámetros del modelo gaussiano para el semivariograma experimental

Modelado de Semivariograma Dr 45 °			
N° Estructura	c	Tipo de estructura	a
0	0.0000	Varianza pepita	
1	1.0000	Gaussiano	16,140

Fuente: Elaboración propia.

D. Aplicación de Kriging Ordinario

Kriging ordinario se basa en el supuesto que la variación es aleatoria y espacialmente dependiente. Se aplica Kriging Ordinario, cuando se desconoce la media de los datos.

El modelo gaussiano del semivariograma es:

$$\gamma(h) = \begin{cases} 0 + 1 \left\{ 1 - e^{\left(-3 \frac{h^2}{16,140^2}\right)} \right\} & \text{para } 0 < h \\ 0 & \text{para } h = 0 \end{cases} \quad \text{Ecuación 16}$$

Donde:

$c_0 = 0$

$c = 1$

$a = 16,140$

Para el cálculo de la precipitación media mensual, para mayor facilidad escogemos un punto aleatorio que este dentro de cuenca del Río Cajamarquino.

Este (X): 777,199.0 m

Norte (Y): 9,207,299.0 m

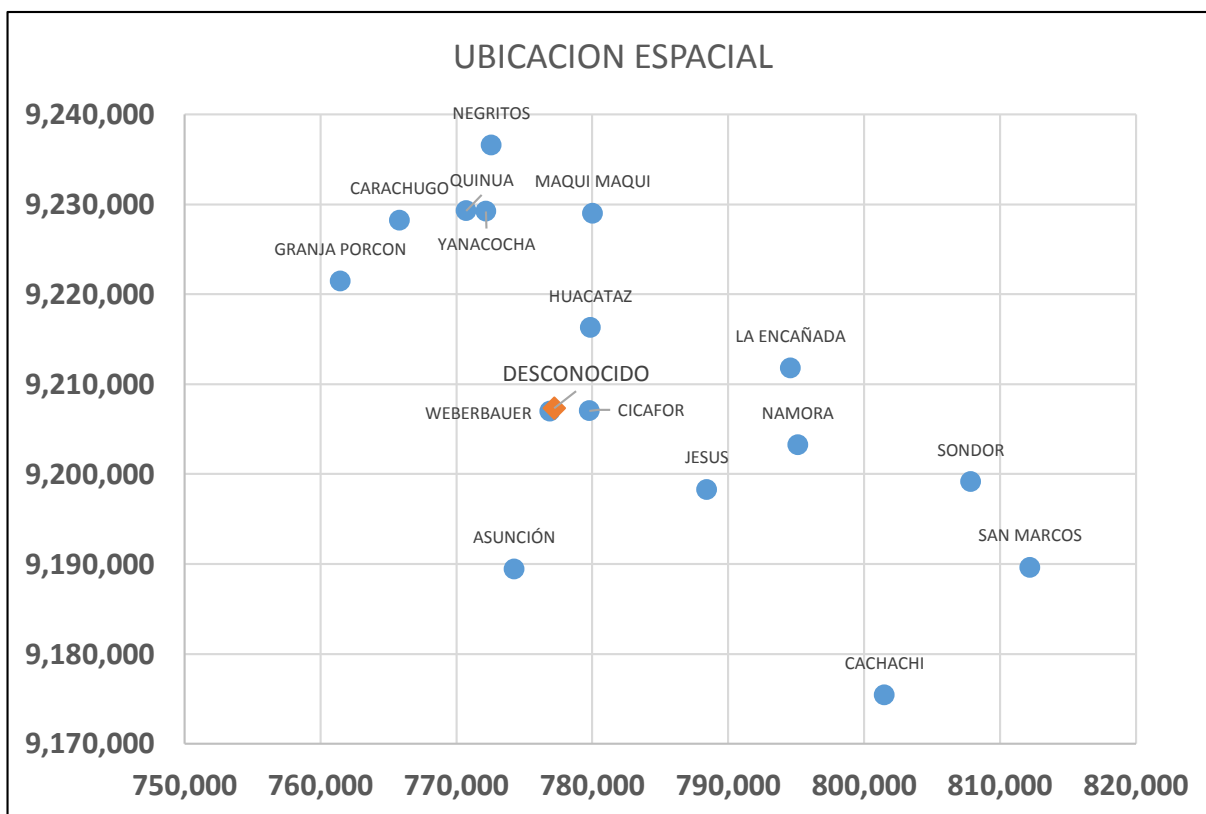


Figura N° 27. Ubicación espacial del punto aleatorio desconocido.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N°: 11. *Matriz de distancia, entre todos los pares posibles de las 16 estaciones y el punto aleatorio desconocido.*

ESTACION	E (X)	N (Y)		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
DESCONOCIDO	777,199	9,207,299	1	0	18,096	40,060	23,807	2,610	21,167	9,359	14,387	17,958	21,838	18,386	29,637	22,876	39,218	31,718	452	22,452
ASUNCIÓN	774,268	9,189,442	2	18,096	0	30,614	39,672	18,460	34,472	27,408	16,671	30,191	39,928	24,997	47,159	39,951	37,937	34,940	17,730	39,794
CACHACHI	801,497	9,175,449	3	40,060	30,614	0	63,694	38,337	60,984	46,211	26,315	36,967	57,654	28,489	67,627	61,975	17,759	24,500	40,000	61,214
CARACHUGO	765,800	9,228,200	4	23,807	39,672	63,694	0	25,359	8,034	18,427	37,502	33,152	14,239	38,525	10,756	5,013	60,349	51,123	23,940	6,442
CICAFOR	779,798	9,207,055	5	2,610	18,460	38,337	25,359	0	23,315	9,221	12,294	15,527	21,901	15,802	30,391	23,971	36,800	29,148	2,918	23,404
GRANJA PORCON	761,452	9,221,444	6	21,167	34,472	60,984	8,034	23,315	0	19,108	35,541	34,524	20,028	38,290	18,763	12,095	59,906	51,485	21,149	13,216
HUACATAZ	779,848	9,216,276	7	9,359	27,408	46,211	18,427	9,221	19,108	0	19,930	15,418	12,680	20,098	21,565	15,859	41,924	32,836	9,759	15,018
JESUS	788,405	9,198,276	8	14,387	16,671	26,315	37,502	12,294	35,541	19,930	0	14,841	31,803	8,342	41,444	35,660	25,326	19,456	14,441	34,910
LA ENCAÑADA	794,593	9,211,766	9	17,958	30,191	36,967	33,152	15,527	34,524	15,418	14,841	0	22,535	8,566	33,179	29,593	28,298	18,321	18,347	28,393
MAQUI MAQUI	780,019	9,228,954	10	21,838	39,928	57,654	14,239	21,901	20,028	12,680	31,803	22,535	0	29,843	10,664	9,318	50,826	40,800	22,199	7,855
NAMORA	795,126	9,203,217	11	18,386	24,997	28,489	38,525	15,802	38,290	20,098	8,342	8,566	29,843	0	40,272	35,683	21,832	13,362	18,629	34,658
NEGRITOS	772,555	9,236,570	12	29,637	47,159	67,627	10,756	30,391	18,763	21,565	41,444	33,179	10,664	40,272	0	7,566	61,454	51,461	29,906	7,400
QUINUA	770,705	9,229,234	13	22,876	39,951	61,975	5,013	23,971	12,095	15,859	35,660	29,593	9,318	35,683	7,566	0	57,373	47,817	23,096	1,463
SAN MARCOS	812,204	9,189,617	14	39,218	37,937	17,759	60,349	36,800	59,906	41,924	25,326	28,298	50,826	21,832	61,454	57,373	0	10,450	39,359	56,287
SONDOR	807,843	9,199,114	15	31,718	34,940	24,500	51,123	29,148	51,485	32,836	19,456	18,321	40,800	13,362	51,461	47,817	10,450	0	31,945	46,656
WEBERBAUER	776,881	9,206,978	16	452	17,730	40,000	23,940	2,918	21,149	9,759	14,441	18,347	22,199	18,629	29,906	23,096	39,359	31,945	0	22,697
YANACOCHA	772,167	9,229,180	17	22,452	39,794	61,214	6,442	23,404	13,216	15,018	34,910	28,393	7,855	34,658	7,400	1,463	56,287	46,656	22,697	0

Calculamos la Matriz V (ver, p. 21). Para eso aplicamos la función gassuano

Matriz V, varianzas requeridas para puntos conocidos:

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
1	0.000	1.000	1.000	0.980	1.000	1.000	0.959	1.000	1.000	0.999	1.000	1.000	1.000	1.000	0.973	1.000	1
2	1.000	0.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.974	0.999	1.000	1.000	1
3	1.000	1.000	0.000	0.999	0.524	0.980	1.000	1.000	0.903	1.000	0.736	0.251	1.000	1.000	0.999	0.380	1
4	0.980	1.000	0.999	0.000	0.998	0.624	0.825	0.938	0.996	0.944	1.000	0.999	1.000	1.000	0.093	0.998	1
5	1.000	1.000	0.524	0.998	0.000	0.985	1.000	1.000	0.990	1.000	0.983	0.815	1.000	1.000	0.994	0.866	1
6	1.000	1.000	0.980	0.624	0.985	0.000	0.990	0.935	0.843	0.990	0.995	0.945	1.000	1.000	0.666	0.926	1
7	0.959	1.000	1.000	0.825	1.000	0.990	0.000	0.921	1.000	0.551	1.000	1.000	0.999	0.987	0.909	1.000	1
8	1.000	1.000	1.000	0.938	1.000	0.935	0.921	0.000	0.997	0.570	1.000	1.000	1.000	0.979	0.979	1.000	1
9	1.000	1.000	0.903	0.996	0.990	0.843	1.000	0.997	0.000	1.000	0.730	0.632	1.000	1.000	0.997	0.509	1
10	0.999	1.000	1.000	0.944	1.000	0.990	0.551	0.570	1.000	0.000	1.000	1.000	0.996	0.872	0.982	1.000	1
11	1.000	1.000	0.736	1.000	0.983	0.995	1.000	1.000	0.730	1.000	0.000	0.483	1.000	1.000	1.000	0.468	1
12	1.000	1.000	0.251	0.999	0.815	0.945	1.000	1.000	0.632	1.000	0.483	0.000	1.000	1.000	0.998	0.024	1
13	1.000	0.974	1.000	1.000	1.000	1.000	0.999	1.000	1.000	0.996	1.000	1.000	0.000	0.716	1.000	1.000	1
14	1.000	0.999	1.000	1.000	1.000	1.000	0.987	0.979	1.000	0.872	1.000	1.000	0.716	0.000	1.000	1.000	1
15	0.973	1.000	0.999	0.093	0.994	0.666	0.909	0.979	0.997	0.982	1.000	0.998	1.000	1.000	0.000	0.997	1
16	1.000	1.000	0.380	0.998	0.866	0.926	1.000	1.000	0.509	1.000	0.468	0.024	1.000	1.000	0.997	0.000	1
17	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0

Inversa de la Matriz V (V^{-1}):

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
1	-0.90	0.10	0.03	-0.08	0.08	0.06	0.13	0.09	0.09	0.00	0.08	0.11	0.08	0.08	0.17	-0.12	0.11
2	0.10	-0.89	0.03	-0.04	0.09	0.07	0.08	0.09	0.09	0.03	0.08	0.11	0.11	0.07	0.11	-0.13	0.11
3	0.03	0.03	-9.76	0.01	2.24	0.02	0.02	0.01	2.16	0.01	-0.65	31.58	0.02	0.02	0.00	-25.75	0.03
4	-0.08	-0.04	0.01	-6.18	-0.06	0.50	0.62	0.23	-0.10	-0.16	0.00	-0.05	-0.03	-0.02	5.35	0.02	-0.04
5	0.08	0.09	2.24	-0.06	-1.54	0.07	0.07	0.07	-0.25	0.02	0.14	-5.46	0.07	0.07	0.12	4.28	0.09
6	0.06	0.07	0.02	0.50	0.07	-1.17	-0.02	0.11	0.25	0.01	-0.01	0.04	0.05	0.05	0.00	-0.02	0.07
7	0.13	0.08	0.02	0.62	0.07	-0.02	-1.30	-0.14	0.08	0.70	0.06	0.09	0.08	-0.01	-0.36	-0.10	0.08
8	0.09	0.09	0.01	0.23	0.07	0.11	-0.14	-1.20	0.07	0.66	0.07	0.13	0.08	0.01	-0.13	-0.14	0.09
9	0.09	0.09	2.16	-0.10	-0.25	0.25	0.08	0.07	-2.44	0.02	0.25	-11.66	0.07	0.07	0.09	11.21	0.09
10	0.00	0.03	0.01	-0.16	0.02	0.01	0.70	0.66	0.02	-1.59	0.02	0.01	-0.03	0.21	0.12	-0.01	0.02
11	0.08	0.08	-0.65	0.00	0.14	-0.01	0.06	0.07	0.25	0.02	-1.39	2.33	0.06	0.06	0.07	-1.19	0.08
12	0.11	0.11	31.58	-0.05	-5.46	0.04	0.09	0.13	-11.66	0.01	2.33	-135.76	0.09	0.09	0.14	118.20	0.12
13	0.08	0.11	0.02	-0.03	0.07	0.05	0.08	0.08	0.07	-0.03	0.06	0.09	-1.03	0.38	0.08	-0.10	0.09
14	0.08	0.07	0.02	-0.02	0.07	0.05	-0.01	0.01	0.07	0.21	0.06	0.09	0.38	-1.05	0.08	-0.09	0.08
15	0.17	0.11	0.00	5.35	0.12	0.00	-0.36	-0.13	0.09	0.12	0.07	0.14	0.08	0.08	-5.71	-0.12	0.11
16	-0.12	-0.13	-25.75	0.02	4.28	-0.02	-0.10	-0.14	11.21	-0.01	-1.19	118.20	-0.10	-0.09	-0.12	-105.92	-0.13
17	0.11	0.11	0.03	-0.04	0.09	0.07	0.08	0.09	0.09	0.02	0.08	0.12	0.09	0.08	0.11	-0.13	-0.89

Matriz E, varianzas requeridas para el punto desconocido:

1	0.98
2	1.00
3	1.00
4	0.08
5	0.99
6	0.64
7	0.91
8	0.98
9	1.00
10	0.98
11	1.00
12	1.00
13	1.00
14	1.00
15	0.00
16	1.00
17	1.00

El conjunto de pesos que provee estimaciones imparciales con una varianza de estimación mínima es calculado multiplicando V^{-1} por E

Matriz w: $w=V^{-1}*E$

	Peso
1	-0.004
2	-0.001
3	0.000
4	0.106
5	-0.001
6	0.027
7	-0.010
8	-0.004
9	-0.005
10	0.003
11	0.000
12	-0.002
13	-0.001
14	-0.001
15	0.892
16	0.002
17(Lagrange)	0.001

El valor estimado se calcula a través de la Ecuación 13 (p. 21).

$$\hat{v} = \sum_{i=1}^n w_i * v_i$$

Tabla N°: 12. *Estimación del valor desconocido de la precipitación media mensual*

	ESTACION	VALOR	PESO*VALOR
1	ASUNCIÓN	107.300	-0.421
2	CACHACHI	59.000	-0.078
3	CARACHUGO	137.615	-0.058
4	CICAFOR	87.483	9.306
5	GRANJA PORCON	262.500	-0.263
6	HUACATAZ	110.104	2.931
7	JESUS	59.900	-0.571
8	LA ENCAÑADA	98.300	-0.404
9	MAQUI MAQUI	110.769	-0.562
10	NAMORA	110.200	0.286
11	NEGRITOS	116.076	0.004
12	QUINUA	124.606	-0.269
13	SAN MARCOS	99.700	-0.097
14	SONDOR	85.100	-0.102
15	WEBERBAUER	99.000	88.308
16	YANACocha	128.744	0.271
		Σ	98.279
VALOR ESTIMADO			98.279

Fuente: Elaboración propia.

La Tabla N°: 12, muestra la estimación de la precipitación media mensual igual a 98.279 mm del año 2018 y del mes de enero de todas las estaciones. A diferencia de Thiessen, Kriging ha estimado la precipitación media mensual no en un área sino en un punto con coordenadas E: 777,199.0 y N: 9,207,299.0.

Este procedimiento se realiza para cada año y mes. El resultado completo de la precipitación media mensual por Kriging de la cuenca en estudio se muestra en el CAPÍTULO IV en la Tabla N°: 18.

VARIANZA DE ERROR

1) Varianza de error, método Kriging Ordinario

Tabla N°: 13: *Proceso para el cálculo de varianza de error, método Kriging*

	E	E*peso
1	0.977	0.00
2	1.000	0.00
3	0.999	0.00
4	0.075	0.01
5	0.994	0.00
6	0.635	0.02
7	0.908	-0.01
8	0.976	0.00
9	0.996	-0.01
10	0.980	0.00
11	1.000	0.00
12	0.998	0.00
13	1.000	0.00
14	1.000	0.00
15	0.002	0.00
16	0.997	0.00

$$\sum_{\alpha=1}^n \lambda_{\alpha} \gamma(x_{\alpha} - x_0) = 0.003$$

Varianza de error: $\sigma_{KO}^2(x_0) = \sum_{\alpha=1}^n \lambda_{\alpha} \gamma(x_{\alpha} - x_0) + \mu$

Lagrange= 0.001

Varianza de error: 0.003 + 0.001 = 0.004.

Entonces por el método Kriging se obtiene la precipitación media mensual de enero de 2018 es 98.279 mm en acimut 45° con una varianza de error de 0.004 la cual varia de mes en mes con la condición de no cambiar el punto donde se estima la precipitación.

2) Varianza de error, método Polígonos de Thiessen

Tabla N°: 14. *Proceso para el cálculo de varianza de error, método Polígonos de Thiessen.*

ESTACIONES	ÁREA (Km ²)	PESOS	PESOS ²
SAN MARCOS	292.833	0.136	0.018
HUACATAZ	184.676	0.086	0.007
JESUS	181.794	0.085	0.007
NAMORA	132.255	0.062	0.004
CACHACHI	250.439	0.117	0.014
SONDOR	337.287	0.157	0.025
CARACHUCHO	35.490	0.017	0.000
YANACocha	27.680	0.013	0.000
MAQUI MAQUI	156.721	0.073	0.005
QUINUA	9.747	0.005	0.000
CICAFOR	90.216	0.042	0.002
LA ENCAÑADA	289.948	0.135	0.018
WEBERBAUER	160.084	0.074	0.005
Suma	2149.170	1.002	0.107

Donde la varianza de error es:

$$\sigma_p^2 = s_x^2 * \left(\sum_{i=1}^n C_i^2 + \frac{1}{A^2} - \frac{2 * \sum_{i=1}^n C_i}{A} \right)$$

Varianza a priori 1.002

Varianza de error 0.107

Entonces por el método Polígonos de Thiessen la precipitación media mensual de enero de 2018 es 92.2 mm con una varianza de error de 0.106. Con la diferencia que la varianza de error es igual para todas las precipitaciones medias mensuales de todos los meses, años y para toda el área de la cuenca.

CONTRASTE CON LA REALIDAD

Se estima las precipitaciones mensuales de la estación Weberbauer, para luego contrastarlas con las reales. Se toma los parámetros calculados anteriormente para el semivariograma cuyo modelo es el gaussiano tal como se muestra.

$$\gamma(h) = \begin{cases} 0 + 1 \left\{ 1 - e^{-3 \frac{h^2}{16,140^2}} \right\} & \text{para } 0 < h \\ 0 & \text{para } h = 0 \end{cases}$$

Donde:

co= 0

c=1

a=16,140

A diferencia del procedimiento anterior, el punto a estimar ya no es escogido aleatoriamente sino con las coordenadas de la estación Weberbauer E: 776,880.9 y N: 9,206,978.4. Entonces se procede a estimar las precipitaciones mensuales del mes de enero, para luego hallar un sesgo medido por el error porcentual absoluto medio.

Error porcentual absoluto medio

Tabla N°: 15. *Datos estimados, datos reales y su error*

AÑO	REAL	ESTIMADO	MAE	MAPE
	ENERO	ENERO		
1965	80.97	84.73	3.76	5%
1966	62.70	68.02	5.32	8%
1967	119.80	143.14	23.34	19%
1968	58.00	49.91	8.09	14%
1969	42.00	52.14	10.14	24%
1970	71.00	87.00	16.00	23%
1971	58.40	52.92	5.48	9%
1972	55.50	63.97	8.47	15%
1973	95.30	106.98	11.68	12%
1974	61.60	72.63	11.03	18%
1975	94.80	97.36	2.56	3%
1976	130.40	137.18	6.78	5%
1977	129.90	127.23	2.67	2%

1978	12.70	11.15	1.55	12%
1979	84.10	87.49	3.39	4%
1980	34.90	44.16	9.26	27%
1981	78.20	42.08	36.12	46%
1982	71.70	54.00	17.70	25%
1983	116.60	114.13	2.47	2%
1984	24.70	27.45	2.75	11%
1985	24.60	32.03	7.43	30%
1986	84.40	110.83	26.43	31%
1987	98.20	100.69	2.49	3%
1988	109.70	134.29	24.59	22%
1989	87.00	90.41	3.41	4%
1990	101.80	90.83	10.97	11%
1991	43.80	50.04	6.24	14%
1992	52.60	56.07	3.47	7%
1993	61.00	61.89	0.89	1%
1994	116.90	132.40	15.50	13%
1995	43.80	41.47	2.33	5%
1996	65.20	86.03	20.83	32%
1997	64.80	76.57	11.77	18%
1998	103.00	126.11	23.11	22%
1999	94.80	114.45	19.65	21%
2000	46.00	46.86	0.86	2%
2001	191.20	207.92	16.72	9%
2002	27.00	22.81	4.19	16%
2003	51.10	62.43	11.33	22%
2004	36.10	74.93	38.83	108%
2005	84.90	89.51	4.61	5%
2006	83.20	86.84	3.64	4%
2007	95.40	134.86	39.46	41%
2008	80.20	88.86	8.66	11%
2009	180.70	145.90	34.80	19%
2010	49.50	61.30	11.80	24%
2011	76.60	83.54	6.94	9%
2012	154.20	134.85	19.35	13%
2013	61.50	68.90	7.40	12%
2014	75.70	78.54	2.84	4%
2015	184.70	142.27	42.43	23%
2016	82.90	84.31	1.41	2%
2017	77.50	84.82	7.32	9%
2018	99.00	94.12	4.88	5%
			11.76	16%

Para analizar las estimaciones calculamos el error absoluto medio (MAE) y error porcentual absoluto medio (MAPE) según las siguientes formulas:

$$MAE = \frac{1}{n} * \sum_{t=1}^n |x_t - x|$$

$$MAPE = \frac{100\%}{n} * \sum_{t=1}^n \left| \frac{A_t - F_t}{A_t} \right|$$

Error Absoluto Medio (Mean Absulte Error - MAE) 11.76

Error porcentual absoluto medio (Mean Absulte Percentage Error - MAPE) 16%

ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Al tener dos métodos que producen una misma salida. Un camino para comparar cual método es más eficiente es ver cual método presenta mayor confiabilidad. Para ello se aplicó mitades partidas o “split half” a los resultados de cada método. Los resultados se dividen por la mitad, la correlación se calcula comparando ambas mitades por método. La correlación más fuerte indica una alta confiabilidad, mientras que la correlación débil indica que el método puede ser no confiable. La metodología a seguir es descrita por Korb .

Primeramente, se divide en dos mitades la primera mitad es la suma de las precipitaciones medias mensuales de los meses con mayor precipitación y la segunda mitad es la suma de las precipitaciones medias mensuales de los meses con menor precipitación. Se aplica la fórmula de Spearman Brown para sacar un factor de mitades partidas. El procedimiento de mitades partidas se aplicó a ambos métodos para comparar los coeficientes de correlación.

Tabla N°: 16: Se muestra el procedimiento de Spearman Brown en mitades partidas para los resultados de precipitación mensuales de Kriging.

Primera Mitad (x)	Segunda Mitad (y)	$(X - \bar{X})$	$(Y - \bar{Y})$	$(X - \bar{X})^2$	$(Y - \bar{Y})^2$	$\sum (X - \bar{X})(Y - \bar{Y})$
520.19	141.00	21.84	-7.56	477.15	57.10	-165.06

318.65	100.99	-179.70	-47.56	32290.38	2262.42	8547.19
518.95	144.84	20.61	-3.71	424.70	13.80	-76.54
395.73	117.07	-102.62	-31.48	10530.44	991.05	3230.51
542.23	139.27	43.88	-9.29	1925.60	86.27	-407.58
402.51	125.19	-95.84	-23.36	9184.60	545.89	2239.14
625.22	133.74	126.87	-14.81	16096.26	219.48	-1879.59
383.44	200.60	-114.91	52.04	13203.71	2708.50	-5980.15
458.73	263.58	-39.62	115.02	1569.44	13230.58	-4556.82
493.70	153.41	-4.65	4.85	21.62	23.56	-22.57
591.07	213.79	92.72	65.23	8597.07	4255.29	6048.39
428.27	115.30	-70.07	-33.26	4910.48	1106.05	2330.50
586.18	98.44	87.84	-50.11	7715.30	2511.13	-4401.60
219.25	140.64	-279.10	-7.91	77896.76	62.58	2207.97
414.60	108.66	-83.75	-39.89	7013.64	1591.38	3340.87
482.84	63.01	-15.50	-85.54	240.28	7317.67	1326.01
619.64	93.23	121.29	-55.33	14712.16	3061.08	-6710.82
528.20	181.74	29.86	33.19	891.40	1101.50	990.89
565.56	176.13	67.22	27.58	4518.33	760.50	1853.70
650.31	252.93	151.97	104.38	23093.87	10894.98	15862.13
213.94	153.28	-284.40	4.72	80885.87	22.30	-1342.98
387.30	153.84	-111.04	5.28	12330.51	27.91	-586.68
400.24	129.00	-98.11	-19.55	9624.65	382.37	1918.38
455.05	148.27	-43.29	-0.29	1874.16	0.08	12.39
508.75	180.18	10.40	31.63	108.22	1000.43	329.04
490.86	116.68	-7.49	-31.87	56.05	1015.91	238.61
418.06	83.85	-80.29	-64.70	6446.26	4185.95	5194.59
284.10	136.99	-214.25	-11.56	45903.06	133.63	2476.68
657.85	190.19	159.50	41.64	25440.90	1733.85	6641.59
618.96	194.51	120.62	45.96	14548.34	2112.17	5543.34
406.13	107.08	-92.22	-41.47	8503.76	1720.10	3824.57
482.32	89.67	-16.02	-58.89	256.73	3467.71	943.54
541.12	99.51	42.78	-49.04	1829.99	2405.25	-2098.00
624.26	130.25	125.92	-18.31	15855.35	335.16	-2305.23
584.46	240.79	86.12	92.23	7415.97	8506.74	7942.65
508.77	200.03	10.42	51.48	108.66	2650.07	536.61
742.22	154.14	243.87	5.59	59473.18	31.19	1362.04
483.44	137.08	-14.91	-11.48	222.31	131.69	171.10
405.38	120.89	-92.97	-27.67	8642.75	765.53	2572.21
471.10	146.30	-27.24	-2.25	742.19	5.06	61.29
481.59	105.10	-16.75	-43.46	280.62	1888.53	727.98
523.79	147.71	25.44	-0.84	647.40	0.71	-21.49
568.94	170.14	70.59	21.59	4982.87	466.10	1523.98
557.95	182.24	59.61	33.68	3552.76	1134.47	2007.61
610.80	163.70	112.46	15.15	12646.29	229.45	1703.43
478.83	159.26	-19.52	10.71	380.90	114.72	-209.04
434.80	171.89	-63.55	23.34	4038.41	544.55	-1482.94
665.20	144.47	166.85	-4.09	27839.19	16.71	-682.11
544.32	159.13	45.98	10.58	2113.73	111.87	486.27

466.27	142.42	-32.07	-6.14	1028.59	37.67	196.83
585.55	171.95	87.20	23.40	7604.17	547.38	2040.19
425.46	93.86	-72.88	-54.69	5311.77	2990.91	3985.86
573.22	178.37	74.87	29.82	5605.79	889.12	2232.54
564.37	155.59	66.02	7.04	4359.17	49.51	464.55
Suma				615973.73	92455.61	70185.95

Fórmula de Spearman Brown:

$$r_{xy} = \frac{\sum(X - \bar{X})(Y - \bar{Y})}{\sqrt{\sum(X - \bar{X})^2 \sum(Y - \bar{Y})^2}}$$

$$r_{xy} = 0.29$$

Fórmula de Mitades partidas:

$$r_{SB} = \frac{2r_{xy}}{1 + r_{xy}}$$

$$r_{sb} = 0.45$$

Tabla N°: 17: Se muestra el procedimiento de Spearman Brown en mitades partidas para los resultados de precipitación mensuales de Thiessen.

Primera Mitad (x)	Segunda Mitad (y)	$(X - \bar{X})$	$(Y - \bar{Y})$	$(X - \bar{X})^2$	$(Y - \bar{Y})^2$	$\sum(x - \bar{x})(y - \bar{y})$
726.51	216.17	38.61	13.33	1490.63	177.79	514.79
573.78	188.45	-114.12	-14.39	13023.15	207.02	1641.98
716.51	173.08	28.61	-29.76	818.81	885.45	-851.48
566.31	173.38	-121.59	-29.45	14784.19	867.59	3581.43
704.63	200.42	16.74	-2.41	280.07	5.83	-40.40
607.12	226.35	-80.78	23.51	6525.28	552.73	-1899.14
781.43	215.09	93.53	12.25	8748.73	150.11	1146.00
619.49	252.53	-68.40	49.69	4679.23	2469.39	-3399.24
721.91	328.44	34.01	125.60	1156.72	15775.39	4271.74
688.66	208.31	0.76	5.47	0.58	29.93	4.15
756.71	263.41	68.81	60.57	4734.43	3669.07	4167.85
633.84	180.32	-54.06	-22.52	2922.35	507.30	1217.58
767.29	162.46	79.39	-40.38	6302.95	1630.51	-3205.78
442.11	193.26	-245.79	-9.58	60413.02	91.83	2355.33
591.12	202.30	-96.78	-0.54	9365.50	0.29	52.43
708.70	127.91	20.80	-74.92	432.57	5613.75	-1558.32
775.06	162.03	87.16	-40.80	7597.51	1665.00	-3556.66
694.83	210.95	6.93	8.11	48.08	65.75	56.23
684.38	242.79	-3.52	39.96	12.38	1596.49	-140.60
833.78	252.35	145.88	49.51	21280.39	2451.65	7223.03
423.07	192.88	-264.83	-9.96	70134.04	99.27	2638.65
569.06	217.57	-118.84	14.73	14122.78	217.10	-1751.03

617.01	185.05	-70.89	-17.79	5024.91	316.50	1261.10
638.57	212.99	-49.33	10.15	2433.84	102.99	-500.67
637.42	229.18	-50.48	26.34	2548.18	693.90	-1329.73
648.84	192.71	-39.06	-10.13	1525.71	102.63	395.71
612.39	178.68	-75.51	-24.16	5701.62	583.78	1824.42
485.59	198.83	-202.31	-4.01	40930.62	16.10	811.74
846.21	240.60	158.31	37.76	25063.52	1425.54	5977.38
841.58	251.02	153.68	48.18	23618.78	2320.98	7403.96
646.26	167.84	-41.64	-35.00	1733.52	1224.74	1457.09
667.34	173.66	-20.56	-29.18	422.89	851.28	599.99
717.24	155.30	29.34	-47.54	860.95	2260.04	-1394.91
781.22	221.24	93.32	18.41	8708.89	338.77	1717.64
783.40	282.92	95.50	80.08	9119.85	6413.28	7647.76
625.99	275.03	-61.91	72.19	3833.04	5211.05	-4469.25
947.34	148.33	259.44	-54.51	67307.94	2971.31	-14141.88
771.81	183.25	83.91	-19.59	7041.13	383.66	-1643.60
554.29	149.72	-133.61	-53.12	17851.01	2822.13	7097.74
631.64	177.19	-56.26	-25.65	3164.69	657.98	1443.02
774.74	132.78	86.84	-70.06	7540.66	4907.92	-6083.50
810.70	207.10	122.80	4.26	15079.04	18.16	523.28
777.55	227.31	89.65	24.47	8037.14	598.82	2193.81
747.77	231.95	59.87	29.12	3584.00	847.69	1743.02
880.76	215.03	192.86	12.19	37195.17	148.62	2351.18
639.24	189.84	-48.66	-13.00	2367.69	168.99	632.54
636.75	219.77	-51.15	16.93	2616.68	286.67	-866.10
780.17	185.98	92.27	-16.86	8514.14	284.10	-1555.28
683.03	193.05	-4.87	-9.79	23.71	95.75	47.65
667.56	203.97	-20.34	1.13	413.87	1.28	-23.02
704.13	164.06	16.23	-38.77	263.38	1503.43	-629.26
580.38	131.19	-107.52	-71.64	11560.20	5132.94	7703.10
732.47	217.88	44.57	15.04	1986.85	226.31	670.56
690.87	219.38	2.98	16.54	8.85	273.55	49.21
Suma				574955.93	81920.14	33383.24

Fórmula de Spearman Brown:
$$r_{xy} = \frac{\sum(X - \bar{X})(Y - \bar{Y})}{\sqrt{\sum(X - \bar{X})^2 \sum(Y - \bar{Y})^2}}$$

$r_{xy} = 0.15$

Fórmula de Mitades partidas:
$$r_{SB} = \frac{2r_{xy}}{1 + r_{xy}}$$

$rsb = 0.27$

CAPÍTULO IV. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1. ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA PRECIPITACIÓN MEDIA MENSUAL

PRECIPITACIÓN MEDIA MENSUAL POR EL MÉTODO POLÍGONOS THIESSEN

Tabla N°: 17: Precipitación media mensual por el método polígonos de Thiessen

AÑO	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
1965	101.7	90.8	203.9	100.1	30.0	7.6	7.8	8.4	62.3	120.9	100.1	109.0
1966	96.6	90.6	120.2	80.0	46.7	9.1	10.4	8.4	33.8	115.6	89.1	61.7
1967	131.4	157.9	158.1	57.6	47.9	11.8	17.4	10.7	27.7	124.6	65.4	79.1
1968	76.2	104.2	116.2	55.9	33.8	8.9	7.4	17.1	50.1	95.6	64.4	109.7
1969	61.7	117.9	128.0	102.1	25.7	21.5	6.1	11.7	33.4	101.1	136.2	159.7
1970	97.4	67.2	121.4	80.9	69.4	23.7	8.7	7.9	35.8	133.3	89.1	98.7
1971	89.8	123.5	277.9	98.6	31.9	18.9	16.7	15.6	33.3	94.0	71.2	125.0
1972	70.9	91.4	188.5	137.0	35.5	11.4	6.3	17.1	45.4	79.1	93.0	96.6
1973	155.1	105.0	148.4	158.8	38.4	27.4	13.8	14.0	76.1	96.4	103.4	113.6
1974	93.9	161.3	171.3	91.1	20.5	20.8	7.9	19.7	48.4	87.6	75.9	98.7
1975	102.9	180.2	267.9	119.6	59.9	13.1	11.5	16.1	43.2	87.0	76.3	42.3
1976	140.5	113.1	144.6	72.4	51.7	17.0	5.5	7.9	25.8	78.3	72.7	84.7
1977	153.4	179.6	163.8	62.9	38.3	12.4	8.7	6.4	33.7	76.2	87.6	106.6
1978	43.2	78.7	85.7	64.8	63.1	9.7	13.5	7.3	34.9	66.7	86.4	81.5
1979	91.5	114.4	198.9	72.8	36.1	7.5	12.1	18.4	55.3	45.3	59.8	81.1
1980	61.6	65.6	122.4	54.1	27.7	12.2	5.9	10.1	17.9	157.8	169.3	132.1
1981	100.8	190.2	145.3	56.6	41.3	17.6	7.8	15.0	23.7	124.2	82.2	132.3
1982	97.8	110.4	120.6	84.0	42.9	12.2	6.9	7.9	57.1	128.1	102.4	135.5
1983	144.8	76.5	196.1	131.6	45.1	15.1	9.6	8.9	32.5	89.2	58.4	119.3
1984	61.0	271.0	167.5	98.4	70.0	19.5	14.3	16.8	33.2	109.7	110.2	114.4
1985	54.7	66.0	90.3	64.5	50.5	9.9	10.4	15.3	42.2	62.3	52.9	96.9
1986	104.7	84.0	121.4	128.9	38.3	9.7	5.8	17.9	17.0	70.9	91.0	97.1
1987	127.7	110.5	99.8	80.1	28.2	9.9	11.5	12.5	42.9	71.9	106.1	101.0
1988	149.2	133.9	94.5	129.7	26.6	11.6	5.5	6.2	33.3	76.0	83.0	101.9
1989	112.8	155.8	155.1	119.9	30.0	14.6	6.9	9.3	48.5	103.1	64.6	46.0
1990	102.6	95.6	109.1	65.1	46.0	27.0	6.5	14.1	34.1	117.0	130.4	94.1
1991	66.5	110.6	174.5	85.9	39.5	9.1	5.7	6.7	31.8	71.2	81.7	107.8
1992	77.3	63.3	110.8	74.0	31.3	21.5	7.6	12.8	51.7	94.2	57.5	82.6
1993	86.9	137.5	249.8	123.6	41.2	9.3	6.8	7.4	52.2	110.6	108.3	153.0
1994	144.4	169.1	209.6	141.9	51.4	12.0	5.6	5.8	34.4	80.4	109.0	129.1
1995	46.0	134.9	153.9	69.7	41.7	9.4	11.4	9.8	25.9	83.4	96.0	132.1
1996	109.6	144.9	180.9	87.9	28.3	10.6	4.5	14.6	27.7	107.4	67.8	56.7
1997	86.6	167.3	60.2	70.8	26.5	14.4	3.0	3.2	37.3	86.7	143.1	173.3
1998	137.1	172.5	208.6	143.7	43.6	4.2	0.8	4.0	25.0	129.4	63.9	69.6
1999	126.0	301.1	99.7	59.9	67.0	38.4	9.5	4.6	103.5	43.5	93.3	119.8
2000	58.9	173.5	178.4	96.5	67.5	15.1	2.8	16.8	76.3	15.6	52.9	146.7
2001	246.8	115.0	248.1	57.0	54.0	2.1	5.4	1.2	28.5	103.1	116.2	118.1
2002	46.6	93.3	225.7	105.7	18.8	6.6	9.6	2.1	40.4	131.0	129.0	146.2
2003	58.2	79.4	133.7	63.4	29.4	18.6	1.7	7.3	29.4	69.4	104.1	109.5

2004	75.1	80.4	82.2	71.0	40.2	9.4	13.5	8.1	34.9	109.1	127.4	157.3
2005	107.4	104.9	213.4	67.1	23.0	5.7	2.4	9.9	24.7	168.6	35.3	145.1
2006	102.0	121.4	266.8	105.5	15.2	32.4	5.4	9.0	39.6	63.9	97.2	159.4
2007	125.1	49.7	232.5	137.4	38.6	1.3	12.3	9.3	28.3	154.8	126.0	89.5
2008	118.5	172.2	141.5	116.6	28.7	19.9	4.5	12.5	49.7	146.4	97.5	71.8
2009	201.7	113.5	174.2	115.3	51.5	12.4	9.6	7.2	19.0	119.1	147.8	124.4
2010	69.6	120.6	175.1	88.1	39.7	12.6	11.5	2.1	35.9	66.7	87.5	119.7
2011	95.8	105.3	155.8	128.7	23.2	3.3	11.7	2.4	50.4	50.8	67.2	161.9
2012	195.2	141.2	105.9	106.8	47.5	7.7	1.3	6.5	16.1	126.5	132.8	78.5
2013	71.0	99.3	226.7	78.1	71.3	5.9	6.9	19.3	11.5	135.5	39.5	111.0
2014	83.9	138.4	161.8	87.7	65.9	5.9	3.4	2.7	38.3	65.5	77.8	140.2
2015	178.3	74.7	231.9	61.4	73.3	3.7	4.4	1.9	19.5	35.2	129.3	54.6
2016	122.3	111.0	120.3	70.0	13.3	13.8	2.7	2.5	29.0	65.9	34.2	126.7
2017	116.6	77.4	212.4	100.6	51.8	18.3	2.3	17.2	27.7	105.7	57.0	163.3
2018	92.2	148.0	129.3	90.1	81.9	8.9	1.6	2.0	35.0	93.6	140.4	87.4
PROMEDIO	105.0	123.3	162.6	92.1	42.2	13.2	7.6	9.8	37.9	95.3	91.5	110.3
DESV. EST	41.4	48.0	53.2	27.7	16.2	7.4	4.0	5.3	16.3	32.1	30.6	31.9

Fuente: Propia

De la Tabla N°: 17. Promedio de la precipitación media mensual de los meses de octubre, noviembre, diciembre, enero, febrero, marzo y abril, los cuales presentan mayor precipitación, es 111.4 mm. Promedio de la precipitación media mensual de los meses de mayo, junio, julio, agosto y septiembre los cuales presentan menor precipitación, es 22.2 mm.

PRECIPITACIÓN MEDIA MENSUAL POR EL MÉTODO KRIGING ORDINARIO

Tabla N°: 18: *Precipitación media mensual por el método Kriging*

AÑO	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
1965	80.8	48.2	177.5	77.6	9.5	0.1	6.0	0.3	47.4	83.3	63.8	66.6
1966	61.5	44.0	57.0	46.2	39.4	0.2	0.4	0.9	14.0	75.6	61.8	18.8
1967	120.1	137.6	109.8	32.7	44.1	10.0	27.8	6.2	24.1	99.4	15.9	36.1
1968	57.0	79.7	70.5	26.7	23.4	1.5	1.4	17.0	47.1	65.0	54.3	69.3
1969	43.0	94.5	85.5	85.1	9.6	18.6	0.1	8.0	17.9	59.7	103.9	155.5
1970	71.4	40.8	83.6	50.4	33.1	19.0	2.9	2.5	17.3	104.6	48.8	53.3
1971	56.5	98.3	269.8	53.1	6.9	11.6	16.8	17.4	27.9	87.8	45.3	67.5
1972	55.1	66.7	114.5	124.3	22.6	4.1	3.3	15.1	31.2	33.1	64.2	49.9
1973	93.5	69.4	94.8	98.2	23.7	27.5	7.9	19.6	86.5	64.6	62.8	73.7
1974	62.0	140.3	92.4	57.3	4.0	16.5	6.2	28.2	41.3	69.1	54.1	75.8
1975	96.1	157.6	195.7	67.1	66.9	8.6	6.9	19.7	44.6	75.6	63.8	2.3
1976	130.9	61.1	85.2	33.4	42.9	22.2	0.1	4.4	12.3	35.1	71.8	44.1
1977	130.4	143.6	140.9	41.6	26.6	7.8	7.3	0.2	15.0	52.5	52.2	66.5
1978	12.0	37.1	48.1	38.1	66.4	3.8	4.0	3.8	24.6	25.2	52.9	44.0
1979	84.3	79.2	156.7	35.7	15.4	1.7	7.0	16.6	32.2	24.7	25.7	44.1
1980	35.5	40.8	65.2	29.3	7.2	14.6	3.2	6.7	2.1	128.5	107.7	105.2
1981	73.8	184.8	101.6	32.4	13.7	6.4	7.5	12.5	20.8	107.5	44.3	107.6
1982	69.3	96.7	86.9	86.1	36.9	7.3	1.7	6.9	42.8	124.4	64.1	86.7
1983	115.4	72.3	153.7	104.0	30.4	10.1	9.6	2.9	19.1	82.5	25.7	115.9
1984	24.8	236.0	123.5	79.0	71.3	24.3	23.0	19.5	35.8	68.9	93.4	103.8

1985	24.9	42.3	35.5	42.6	50.8	0.4	4.2	18.5	36.7	49.6	22.5	39.2
1986	86.9	46.5	94.0	118.8	17.1	0.5	1.0	15.6	0.9	45.4	63.2	51.3
1987	97.3	92.1	38.6	53.0	8.7	3.8	10.8	12.9	39.8	38.4	72.4	61.3
1988	110.5	103.6	45.4	97.4	11.2	5.0	0.2	0.5	34.0	68.3	64.7	62.4
1989	86.6	157.1	113.3	84.8	18.8	16.2	3.1	6.1	51.3	102.0	46.2	3.5
1990	102.1	68.1	62.2	27.6	38.7	23.5	0.7	7.3	18.9	91.1	95.7	71.7
1991	44.5	90.4	127.6	54.1	16.9	0.7	0.2	0.4	11.5	31.4	53.6	70.5
1992	51.5	29.4	70.0	44.9	18.2	20.1	4.7	10.4	38.6	67.2	31.9	34.1
1993	60.2	105.9	239.2	101.8	29.4	1.9	3.2	3.1	50.9	101.5	70.0	81.1
1994	116.3	100.6	164.2	144.4	34.1	3.2	0.3	0.5	12.0	28.5	88.2	121.2
1995	43.3	105.9	80.8	49.3	20.1	1.7	12.8	11.1	12.1	53.4	48.0	74.7
1996	66.2	121.3	115.3	49.7	8.0	0.6	0.4	16.1	14.9	75.1	68.3	36.2
1997	65.9	152.8	29.4	40.5	16.8	14.9	0.0	0.2	27.1	54.5	116.2	122.3
1998	103.2	114.1	252.2	81.5	18.7	4.7	1.4	5.0	18.9	80.0	27.1	47.6
1999	97.3	240.1	80.5	66.4	53.1	21.3	22.0	1.2	76.9	24.3	75.0	67.3
2000	45.6	160.7	125.5	76.3	39.5	15.0	2.0	13.2	53.9	13.6	45.0	118.4
2001	190.8	98.2	223.8	57.3	47.8	2.3	13.7	0.4	32.6	48.2	91.8	89.4
2002	26.1	57.5	130.7	75.2	23.2	8.6	10.4	3.8	15.9	88.8	96.9	83.5
2003	51.6	58.9	105.0	41.8	30.7	21.4	1.7	10.9	14.4	48.4	61.1	80.3
2004	41.2	99.9	62.8	44.8	41.5	2.3	13.0	26.6	18.0	64.1	86.5	116.6
2005	85.8	54.2	131.0	55.3	10.0	4.4	0.9	4.8	29.6	91.1	32.0	87.4
2006	83.0	97.7	189.2	75.9	8.3	22.5	1.9	6.0	33.1	17.4	57.7	78.7
2007	99.1	23.7	171.0	110.6	29.2	1.6	10.0	7.4	11.4	115.3	91.1	68.8
2008	79.1	130.7	116.7	97.0	22.7	14.8	2.2	11.7	33.8	95.3	70.1	66.1
2009	173.5	73.3	108.0	77.1	41.0	17.3	12.1	4.3	11.9	78.0	105.9	72.1
2010	51.0	111.8	151.7	87.1	31.0	8.3	2.3	2.0	28.6	44.4	50.8	69.2
2011	76.5	72.6	123.7	99.2	17.1	0.4	8.1	0.7	46.4	32.9	23.2	106.0
2012	148.8	133.0	125.8	71.3	50.0	0.7	0.1	3.1	19.3	82.5	117.2	57.8
2013	62.3	96.8	208.1	72.9	60.2	7.3	5.6	9.2	4.0	109.7	16.7	50.6
2014	75.7	65.9	141.3	78.0	25.9	4.9	2.0	4.4	27.3	27.6	44.1	111.7
2015	178.9	55.2	196.4	62.9	73.1	3.0	4.4	0.8	27.9	18.5	96.8	39.8
2016	82.2	84.4	120.9	55.8	7.9	1.4	2.1	1.7	24.9	60.8	15.9	61.3
2017	76.4	71.6	134.3	77.2	45.7	11.5	2.3	20.6	21.0	65.1	62.5	163.3
2018	98.3	124.9	116.6	72.0	47.9	10.5	0.5	0.7	24.0	62.0	94.3	68.3
PROMEDIO	80.7	95.7	121.2	67.5	29.8	9.1	5.6	8.3	28.3	65.6	62.6	72.6
DESV. EST	38.1	47.1	55.6	27.0	18.2	7.9	6.2	7.4	16.8	29.4	26.9	32.9

Fuente: Propia.

De la *Tabla N°: 18*. Promedio de la precipitación media mensual de los meses de octubre, noviembre, diciembre, enero, febrero, marzo y abril, los cuales presentan mayor precipitación, es 70.73 mm. Promedio de la precipitación media mensual de los meses de mayo, junio, julio, agosto y septiembre los cuales presentan menor precipitación, es 16.22 mm.

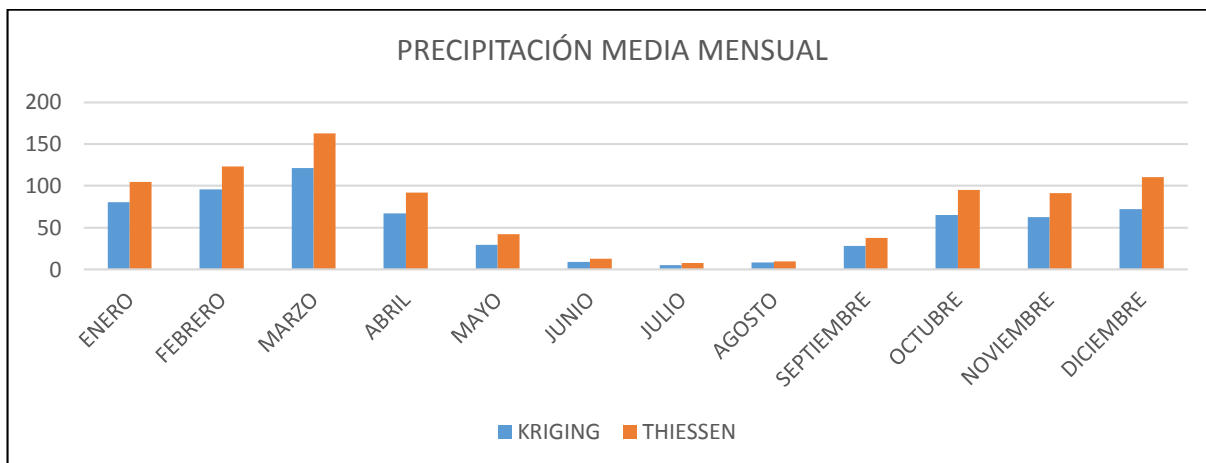


Figura N° 28: Se muestra la precipitación media mensual.

Fuente: Propia.

En la **Figura N° 28**, Kriging en todos los meses da valores inferiores en comparación con Thiessen. La diferencia se da porque Thiessen da el mismo peso de las estaciones para todos los meses, mientras que Kriging de mes en mes varía los pesos de las estaciones. También, en kriging las estaciones cercanas al punto a estimar tiene mayor influencia que las que se encuentran más distantes.

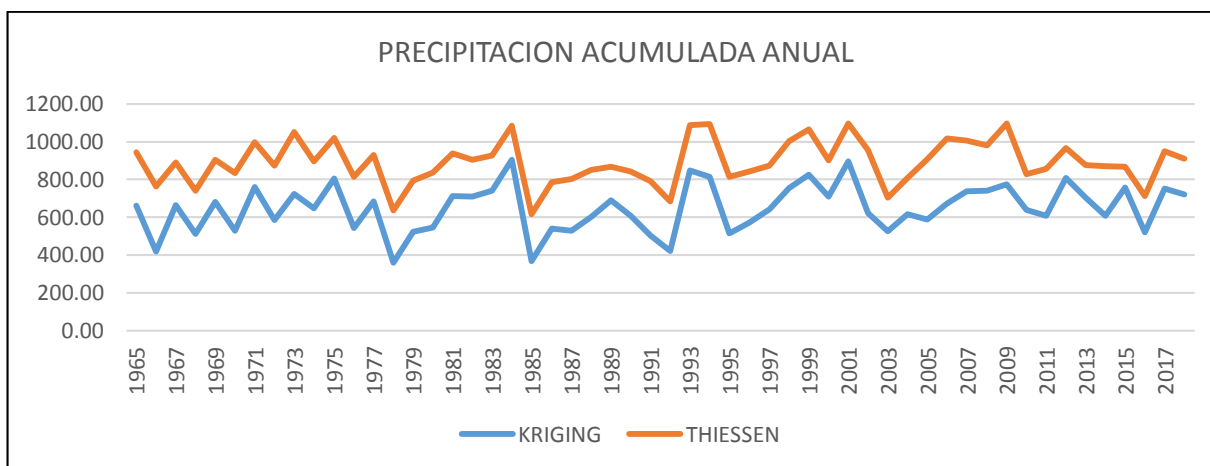


Figura N° 29: Se muestra la precipitación acumulada anual.

Fuente: Propia.

De la misma manera la **Figura N° 29** igual que la **Figura N° 28**, Kriging en el análisis por año da valores inferiores en comparación que Thiessen.

Tabla N°: 19. *Coefficientes de comparación de Spearman Brown, aplicando mitades partidas en Kriging y Thiessen.*

	Kriging	Thiessen
$r_{xy} = \frac{\sum(X - \bar{X})(Y - \bar{Y})}{\sqrt{\sum(X - \bar{X})^2 \sum(Y - \bar{Y})^2}}$	0.294	0.154
$r_{SB} = \frac{2r_{xy}}{1 + r_{xy}}$	0.45	0.27

$r_{xy} =$

Correlación de Pearson en las dos mitades.

$r_{SB} =$

Fórmula de mitades partidas - Spearman Brown.

Fuente: Propia.

Tabla N°: 19 muestra el resultado de la aplicación mitades partidas para ver cuál método es más confiable, consistente, y coherente al calcular precipitaciones medias mensuales. Se aplicó, el método de Spearman Brown basándose en la correlación de Pearson en las mitades para cada método.

Kriging presenta mayor confiabilidad en comparación con Thiessen como se muestra en la Tabla N°: 5, siendo 0.45 mayor a 0.27 y menor a 1. Sin embargo, Kriging presenta una confiabilidad regular debido a que 0.45 está lejos de 1. Esto es entendible, ya que nuestra variable de estudio es la precipitación, un fenómeno meteorológico, presentando una variabilidad enorme en su distribución espacial.

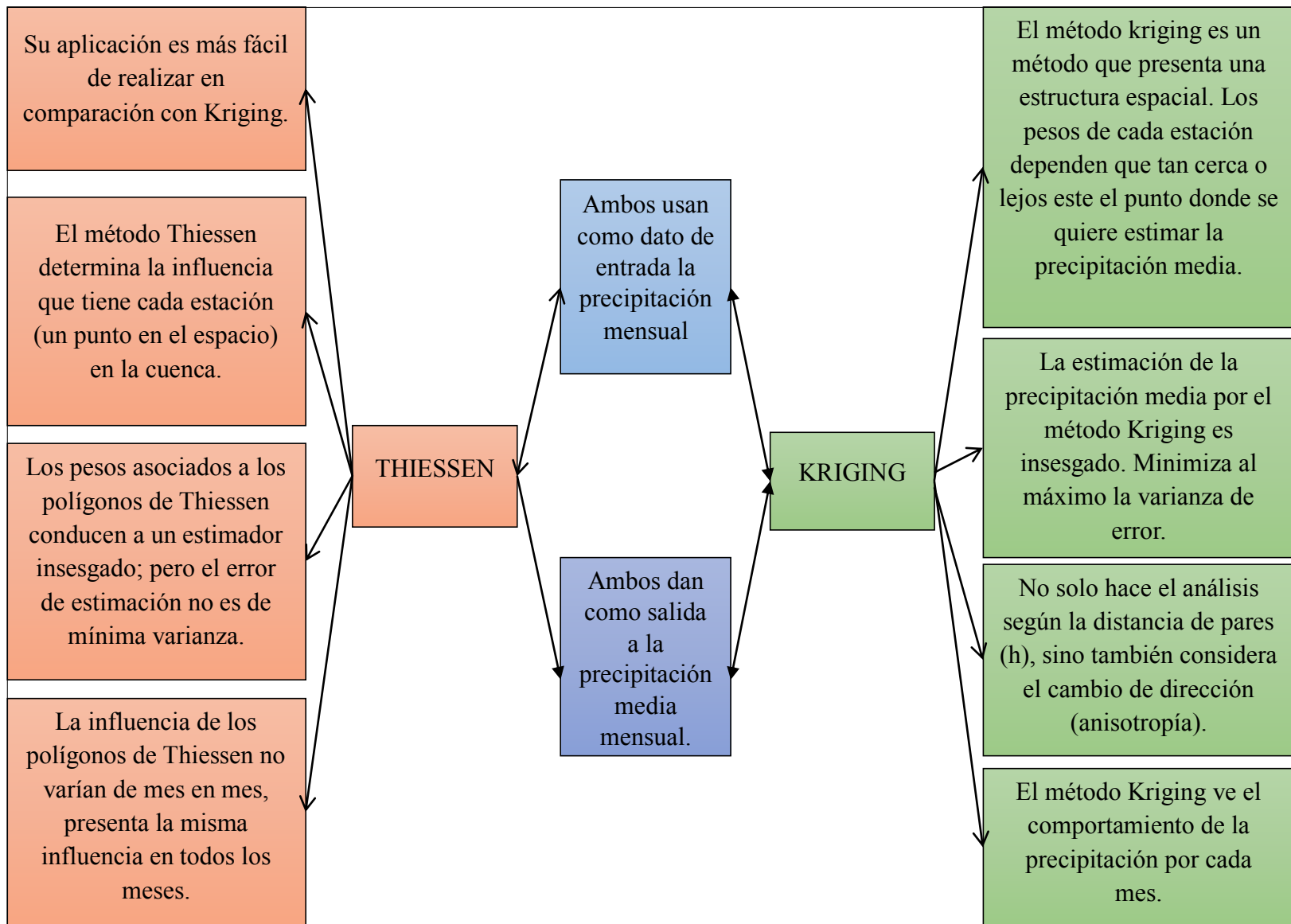


Figura N° 30. Esquema de comparación de método Thiessen y Kriging.

VARIOGRAMAS EXPERIMENTALES EN EL ANÁLISIS DE KRIGING ORDINARIO

El análisis de Kriging ordinario, se hizo a partir de datos de precipitaciones, obteniendo modelos de variograma experimentales, tal como se muestra de la **Figura N° 31** a la **Figura N° 42**. La estimación de variogramas experimentales se calculó para cada mes.

Mes de enero

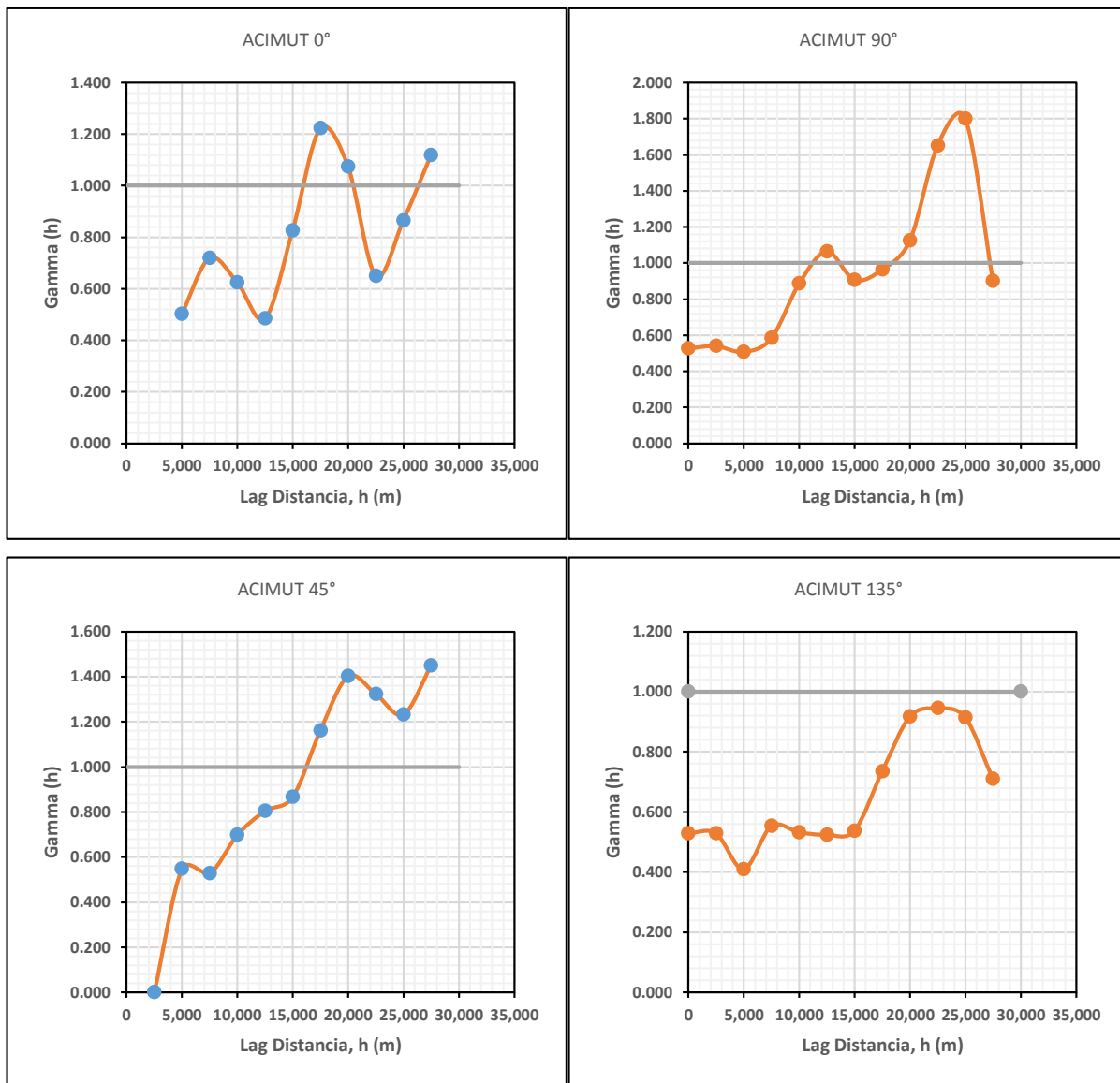


Figura N° 31: Variogramas experimentales mes de enero.

En la **Figura N° 31**, observamos que enero presenta un mejor comportamiento estructural en acimut 45° y 90° . Indicando que la lluvia presenta una dirección noreste y este.

Mes de febrero

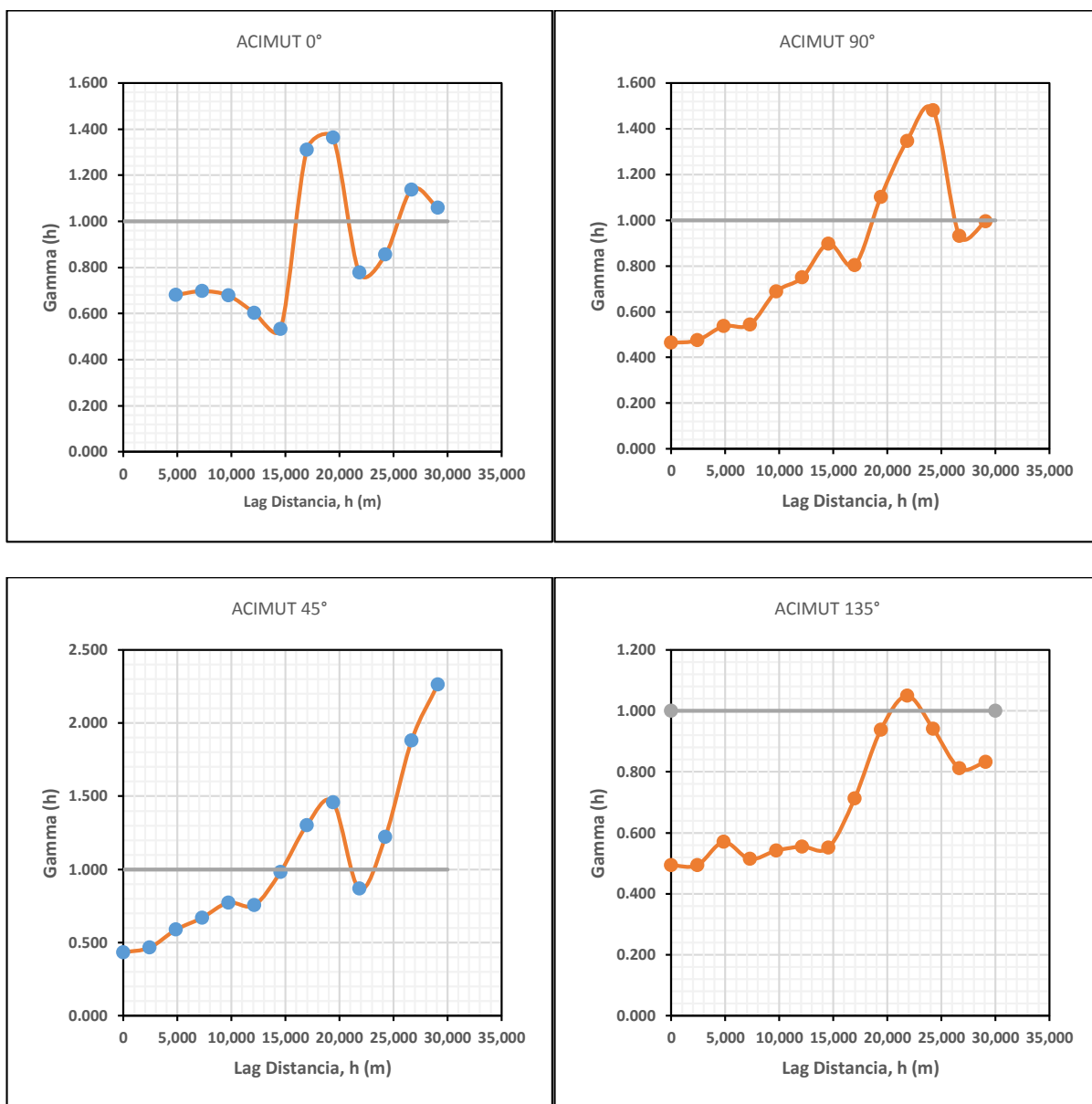


Figura N° 32: Variogramas experimentales mes de febrero.

El mes de febrero igual que el mes de enero presenta un buen comportamiento estructural en los acimuts 45° y 90° . Indicando que la lluvia presenta una dirección noreste y este.

Mes de marzo

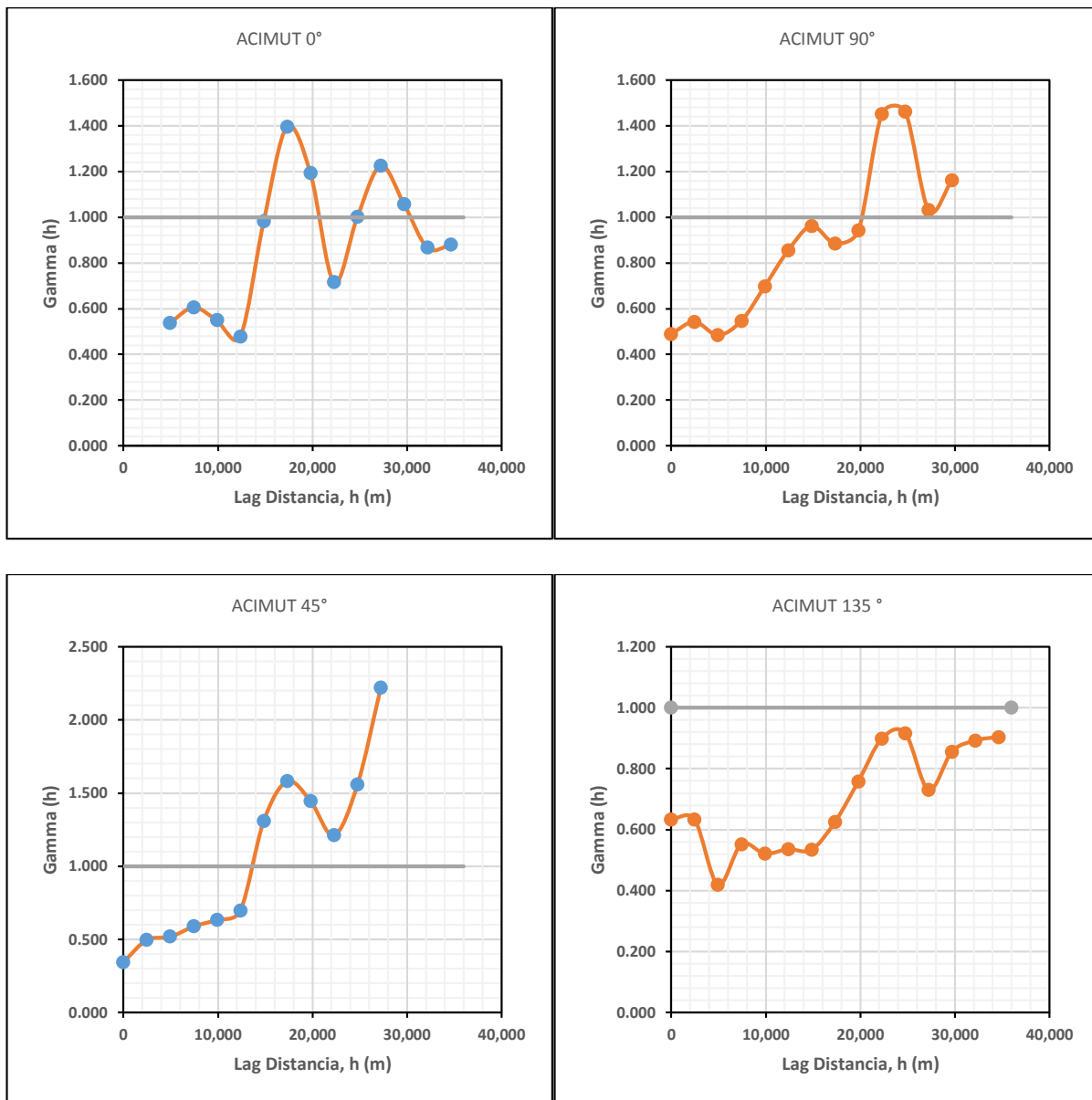


Figura N° 33: Variogramas experimentales mes de marzo.

Al igual que en los meses de enero y febrero. Marzo también presenta un buen comportamiento estructural en los acimuts de 45° y 90°.

Mes de abril

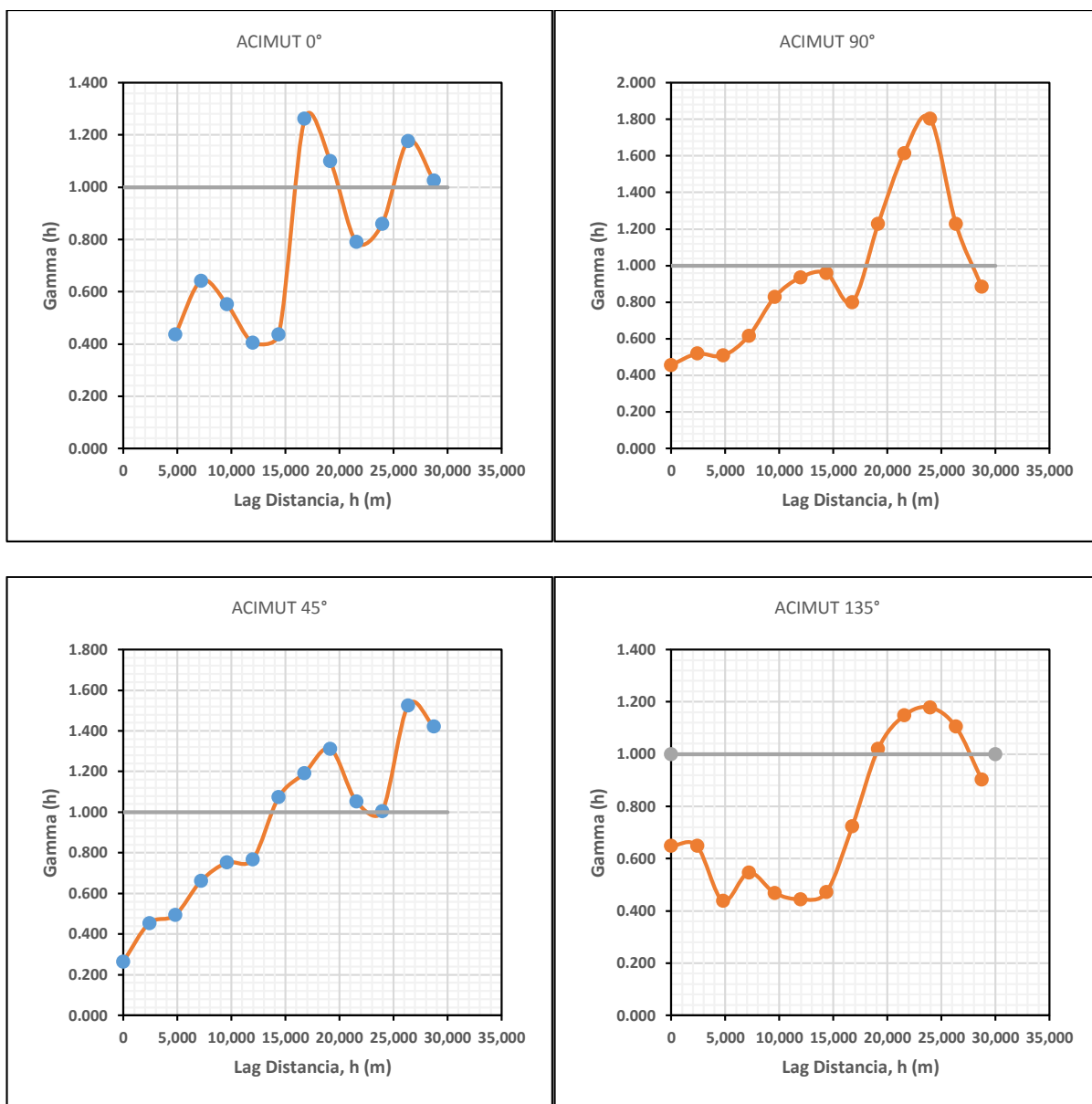


Figura N° 34: Variogramas experimentales mes de abril.

Al igual que en los meses de enero, febrero y marzo. Abril también presenta un buen comportamiento estructural en los acimuts de 45° y 90°.

Mes de mayo

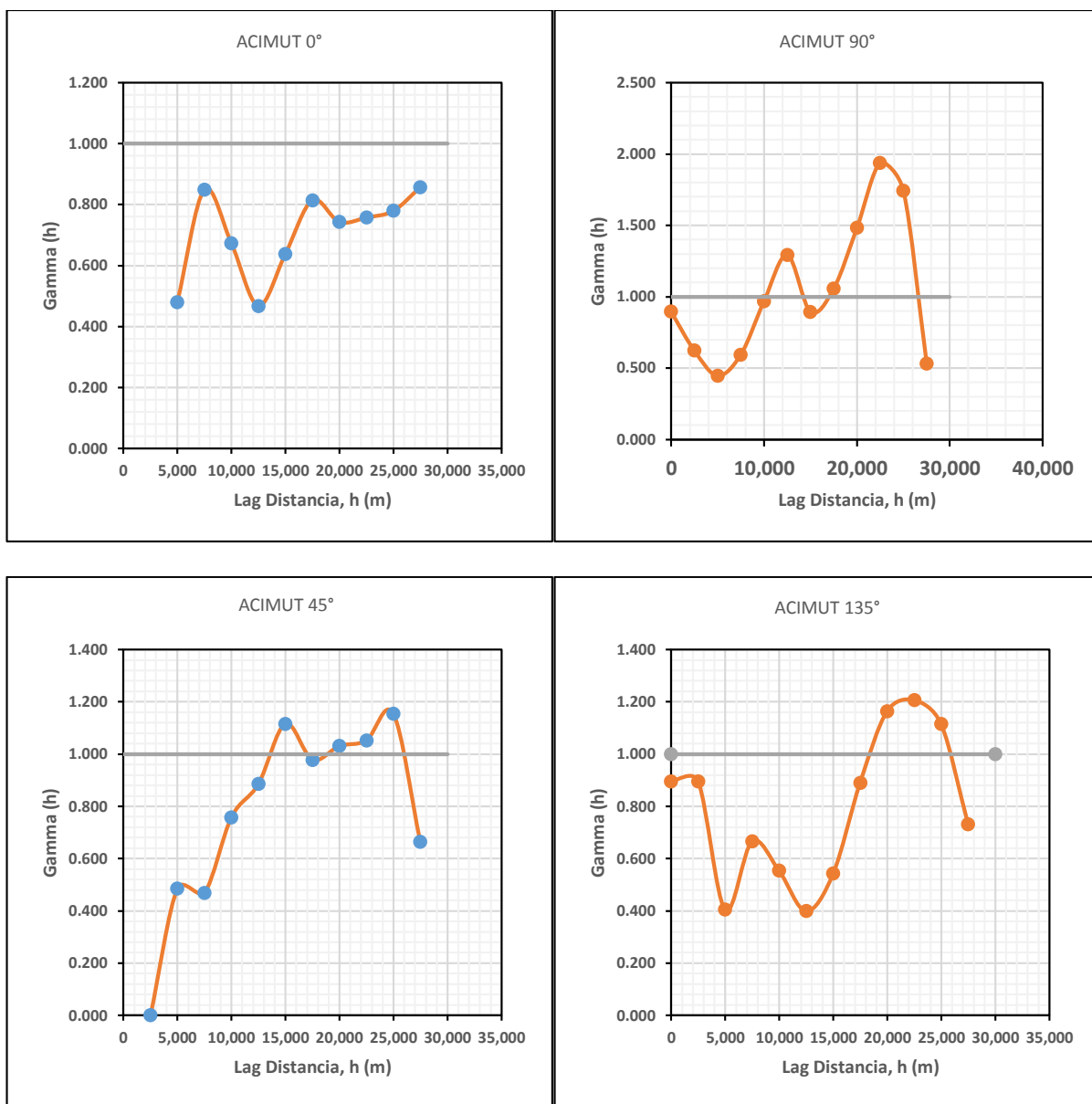


Figura N° 35: Variogramas experimentales mes de mayo.

En mayo las precipitaciones empiezan a decrecer es por eso que los variogramas experimentales no presentan un comportamiento estructural a excepto en el acimut 45°.

Mes de junio

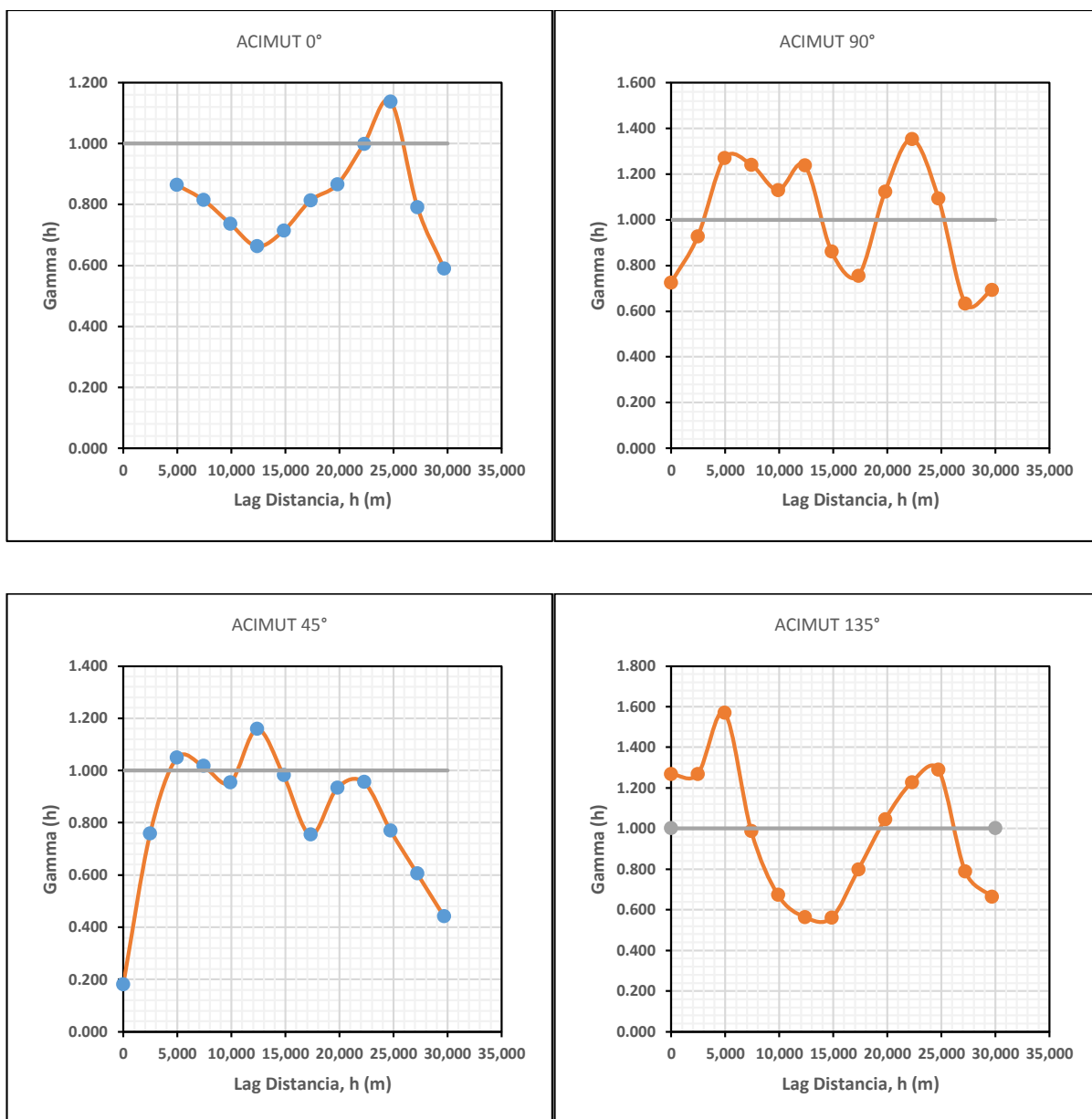


Figura N° 36: Variogramas experimentales mes de junio.

El mes de junio, es de los meses más secos, reflejándose en los variogramas experimentales al no encontrar un comportamiento estructural. Solo en el acimut 45° se asemeja a un comportamiento estructural.

Mes de julio

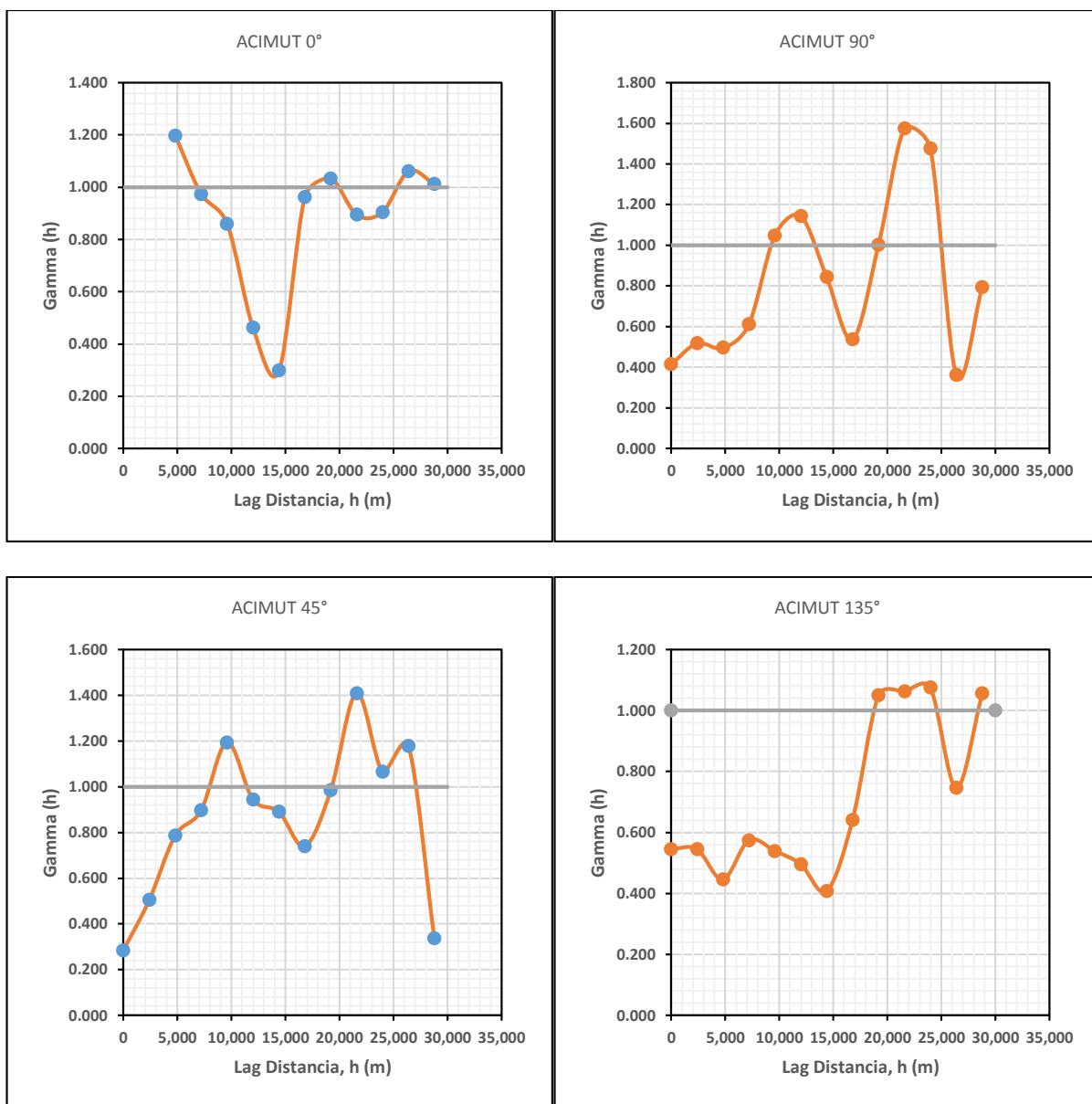


Figura N° 37: Variogramas experimentales mes de julio.

Al igual que el mes de junio, no llueve con grandes intensidades de lluvias. Es por eso que solo en el acimut 45° podemos ver que hay un comportamiento estructural.

Mes de agosto

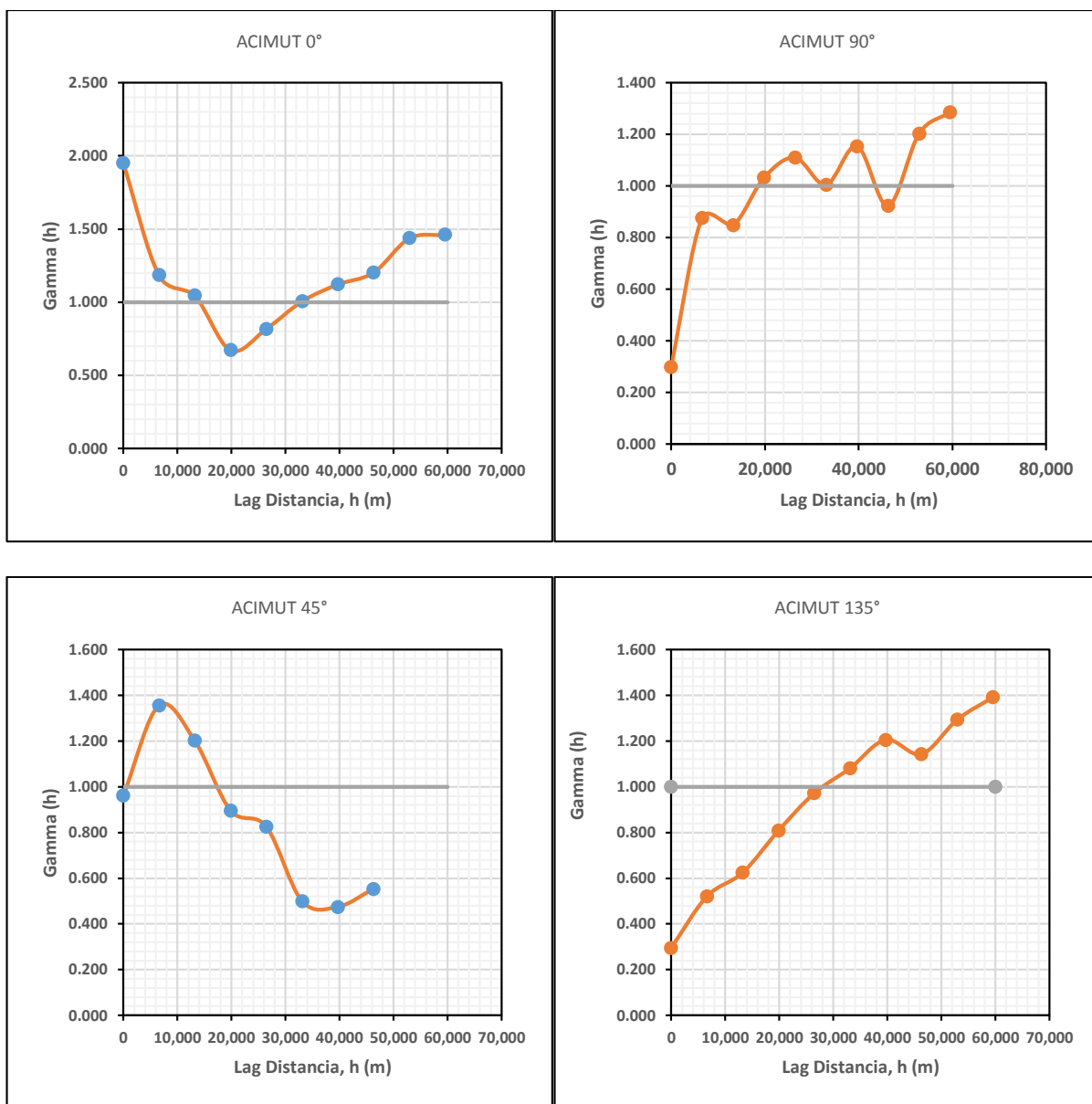


Figura N° 38: Variogramas experimentales mes de agosto.

Es un mes con poca cantidad de precipitaciones, razón por la cual solo existe un comportamiento estructural de 90° y 135°.

Mes de septiembre

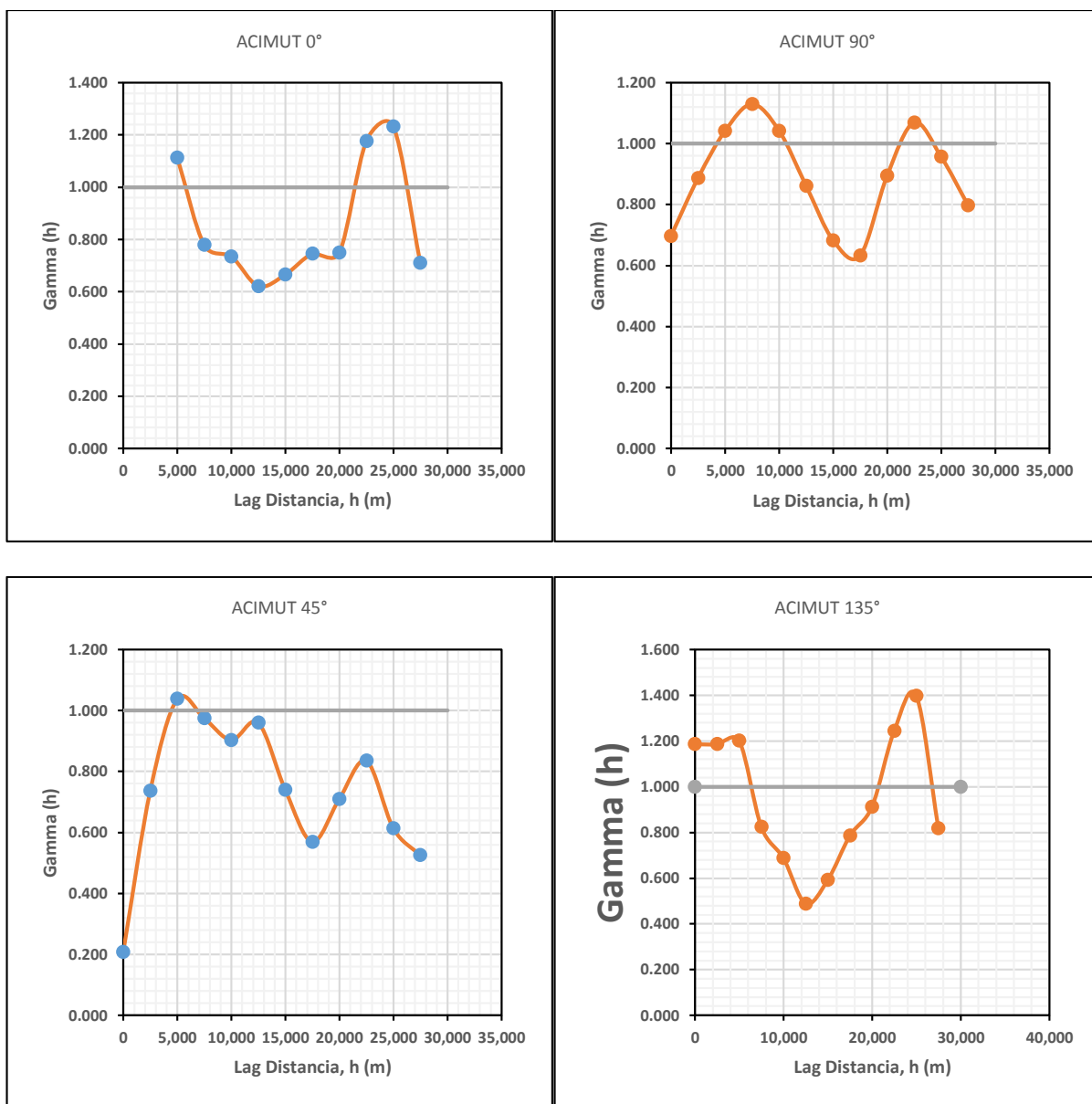


Figura N° 39: Variogramas experimentales mes de septiembre.

Se da inicio a las precipitaciones intensas, a pesar de ellos los variogramas son ruidosos excepto en acimut 45°. Entonces decimos que la precipitación es variable en el tiempo en el mes de septiembre, es decir escasas precipitaciones algunos años y otros con intensas precipitaciones.

Mes de octubre

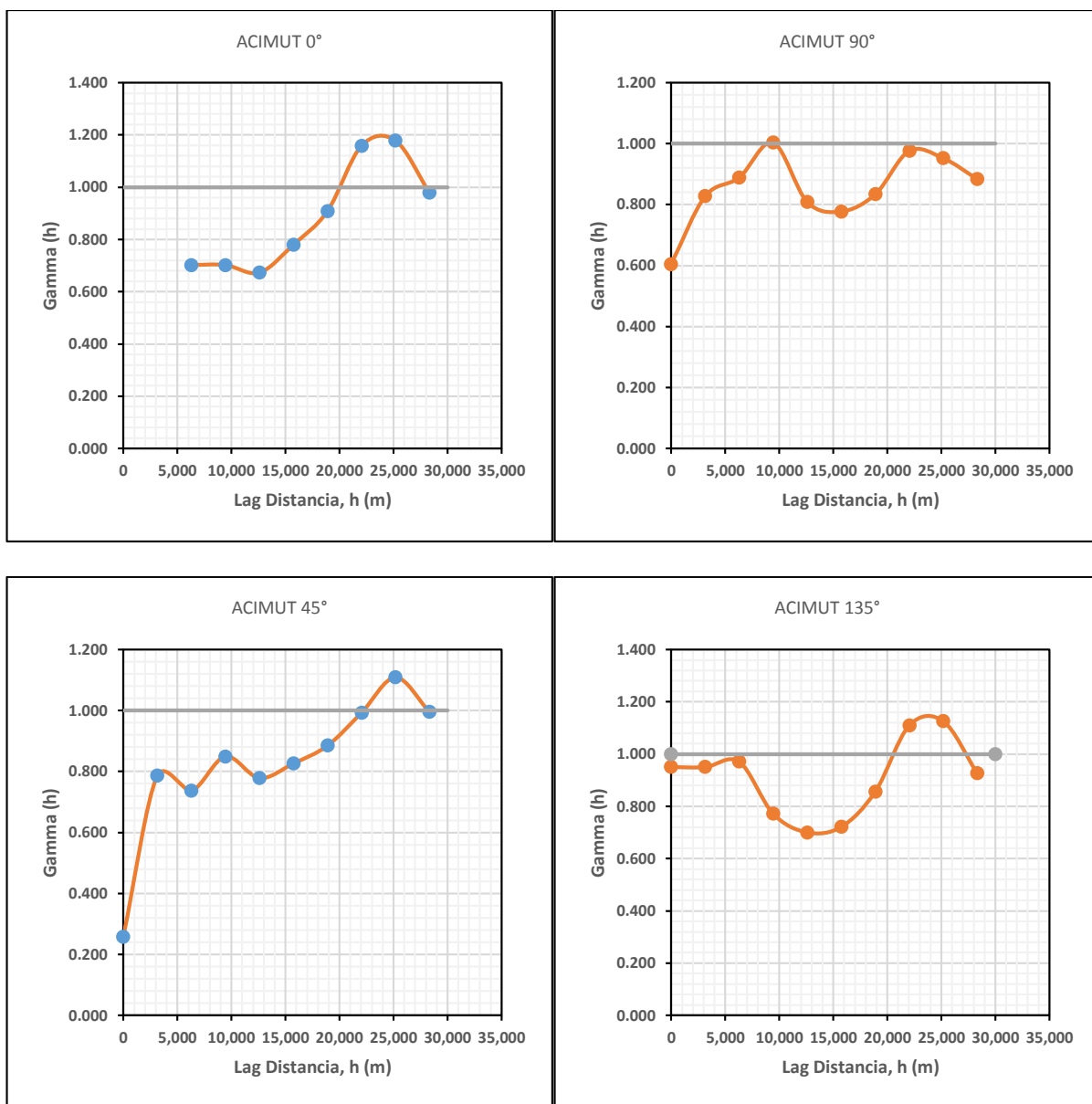


Figura N° 40: Variogramas experimentales mes de octubre.

A pesar de ser un mes de cantidades grandes de precipitaciones, los variogramas experimentales nos dicen que la precipitación es variable de año en año en el mes de octubre. Siendo el mejor comportamiento estructural en la dirección 45°

Mes de Noviembre

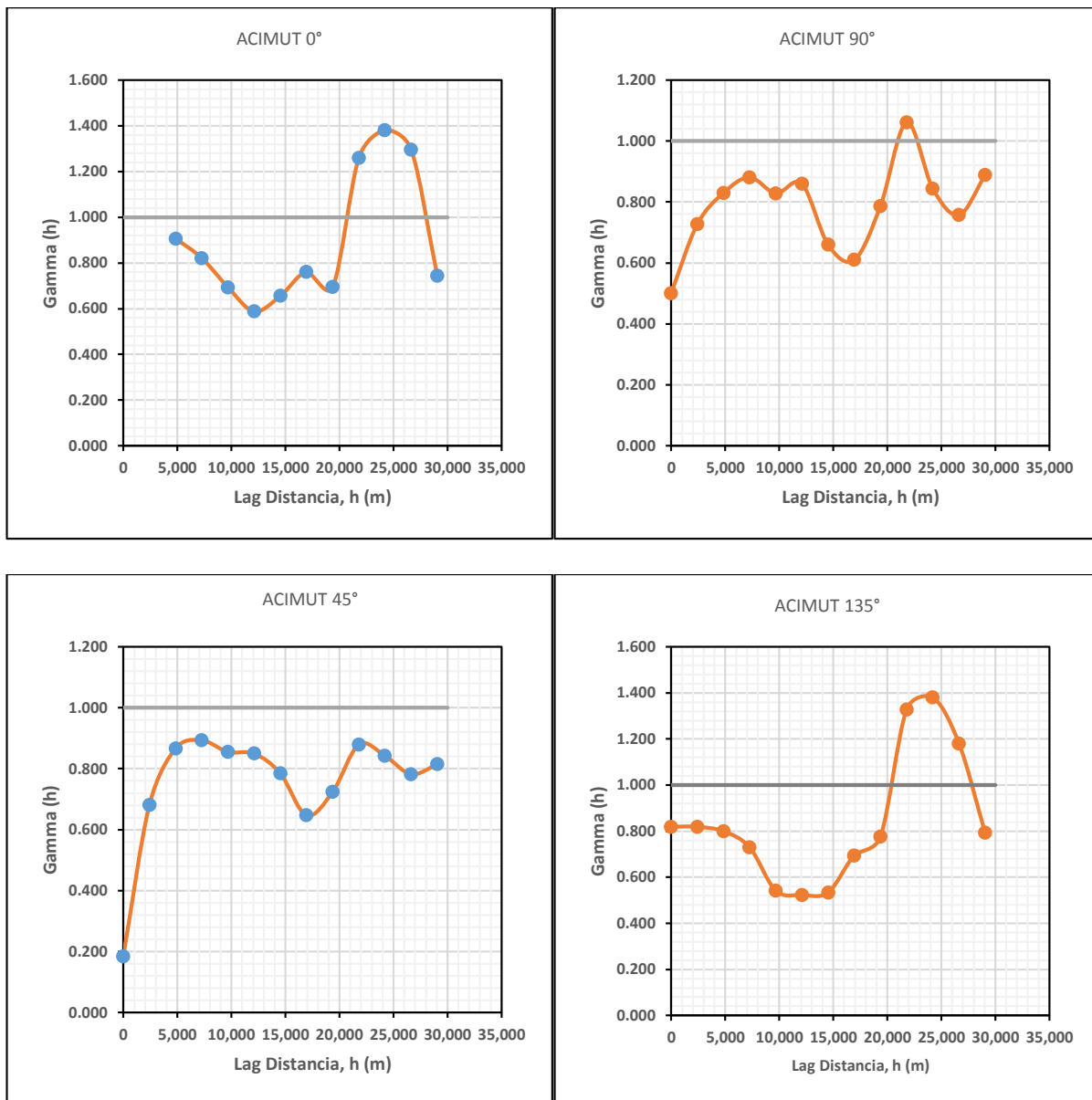


Figura N° 41: Variogramas experimentales mes de noviembre.

A pesar de ser un mes de cantidades grandes de precipitaciones, los variogramas experimentales nos dicen que la precipitación es variable de año en año en el mes de noviembre. Sin embargo, hay una sólida correlación estructural en la dirección 45° y 90°.

Mes de diciembre

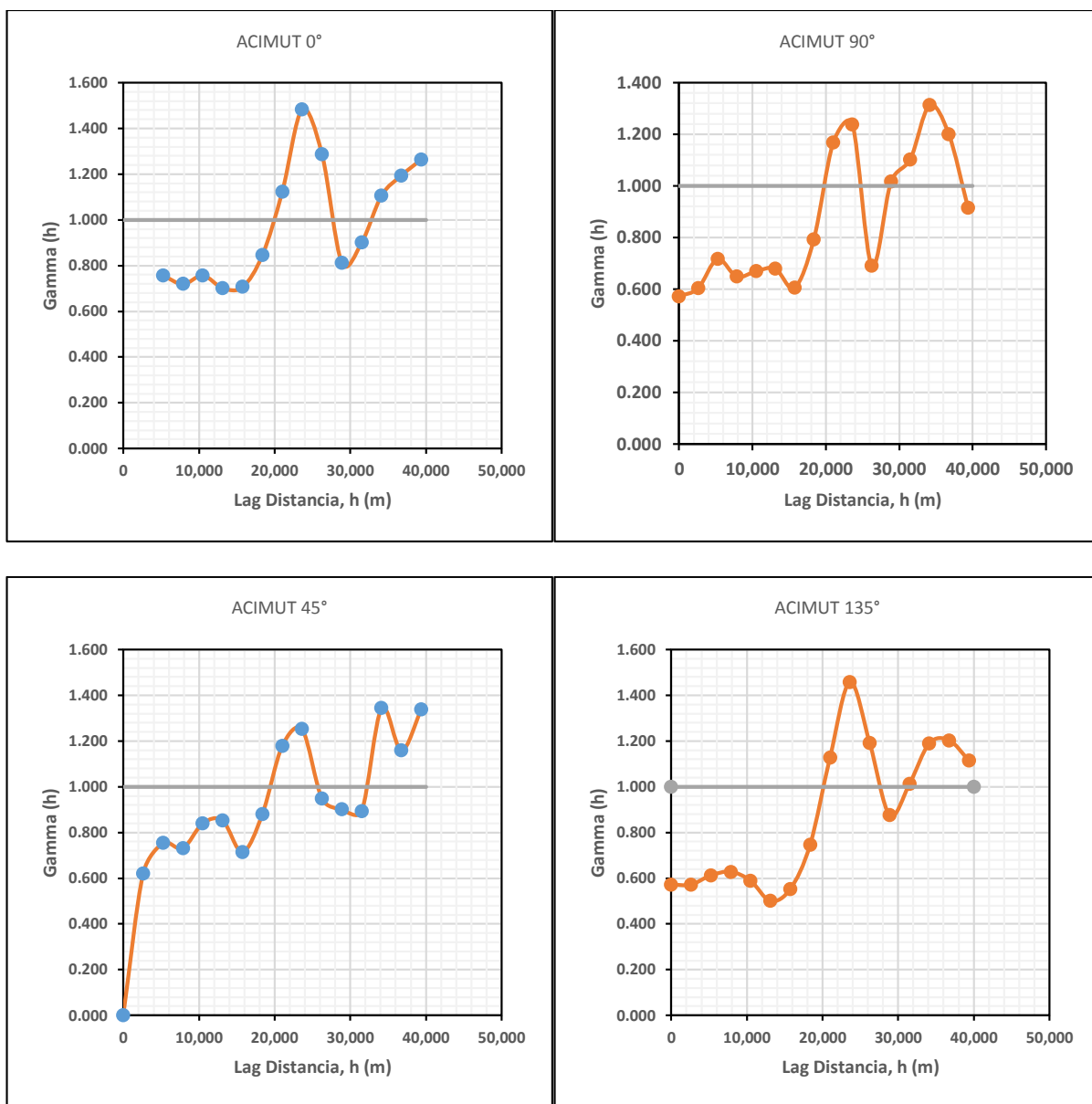


Figura N° 42: Variogramas experimentales mes de diciembre.

A pesar de ser un mes de cantidades grandes de precipitaciones, los variogramas experimentales nos dicen que la precipitación es variable de año en año en el mes de diciembre. Sin embargo, se observa una sólida correlación estructural en la dirección 45°.

Tabla N°: 20. Se muestra la estructura espacial de todos los meses en los siguientes acimuts: 0°, 90°, 45° y 135°

MES	DIRECCIÓN			
	ACIMUT 0°	ACIMUT 90°	ACIMUT 45°	ACIMUT 135°
ENERO	EPP	ES	ES	EPP
FEBRERO	EPP	ES	ES	EPP
MARZO	EPP	ES	ES	EPP
ABRIL	EPP	ES	ES	EPP
MAYO	EPP	EPP	ES	EPP
JUNIO	EPP	EPP	ES	EPP
JULIO	EPP	EPP	ES	EPP
AGOSTO	EPP	ES	EPP	ES
SEPTIEMBRE	EPP	EPP	ES	EPP
OCTUBRE	EPP	EPP	ES	EPP
NOVIEMBRE	EPP	ES	ES	EPP
DICIEMBRE	EPP	EPP	ES	EPP

ES: Estructura Espacial EPP: Efecto Pepita Puro

En la Tabla N°: 20 inicialmente, los variogramas direccionales, con acimut 0°, 90°, 45° y 135°, se estiman a partir de cada conjunto de datos de precipitación mensual. De la Tabla N°: 20, en el acimut 0° los variogramas experimentales de todos los meses no presentan estructura espacial, presentan un efecto pepita puro (EPP). En el acimut 90° meses de enero, febrero, marzo, abril, agosto y noviembre presentan estructural espacial (ES), los demás meses presentan un efecto pepita puro (EPP). En el acimut 45° todos los meses presentan estructura espacial (ES) excepto el mes de agosto. En el acimut de 135° el mes de agosto presenta una estructura espacial los demás meses presentan un efecto pepita puro (EPP).

En la **Figura N° 43** refleja los resultados de la Tabla N°: 20. La cantidad de precipitación de los meses de septiembre, octubre, noviembre y diciembre de manera concreta presentan solidas estructuras espaciales en acimut 45°, esto puede ser por el inicio de la lluvia que sucede de manera cíclica y variable de año en año. Los meses con mayor precipitación de enero, febrero, marzo y abril presentan solidas estructuras espaciales en acimut de 45° y también en acimut de 90°, reflejando una lluvia no tan variable de año en año. En el mes de mayo solo se presenta sólida estructura espacial en acimut 45°, esto puede ser porque las lluvias empiezan a disminuir.

Y en los meses escasos de precipitación junio, julio presentan una ruidosa estructura espacial en acimut 45°, y agosto en acimut 90° y 135°. Lo importante es ver el comportamiento en los meses de mayor precipitación y estos ajustarlos a un modelo para todos los meses para la cuenca del Río Cajamarquino.

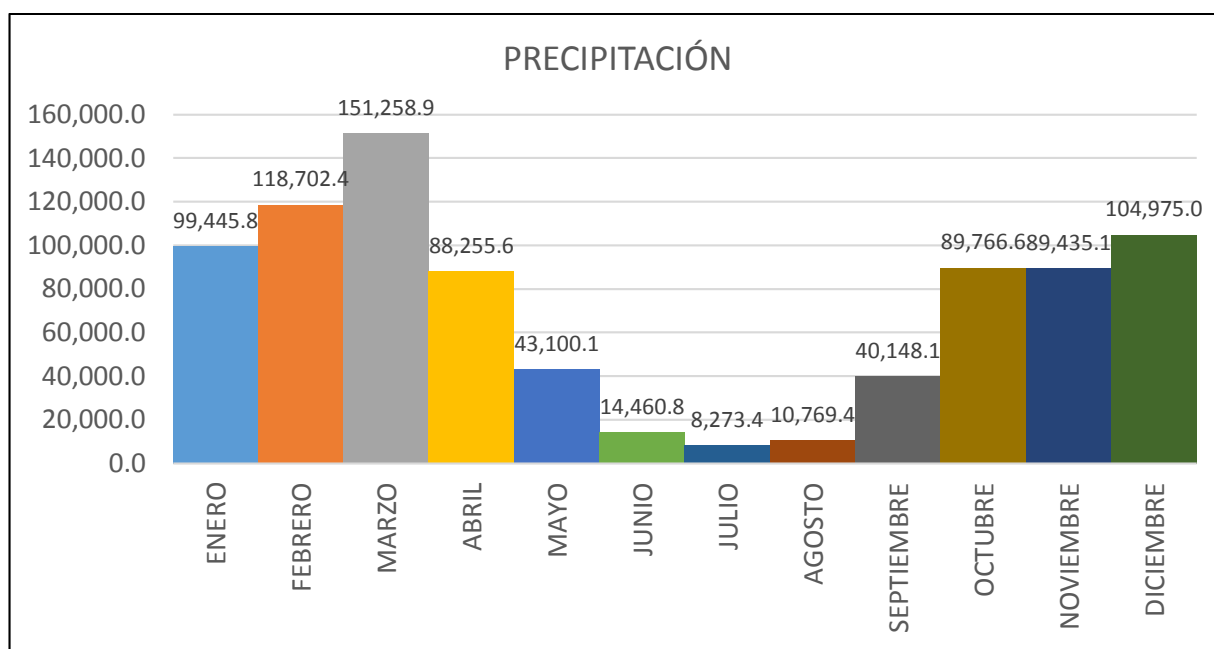


Figura N° 43: Suma de precipitaciones por mes desde el año 1965 hasta el 2018.

Como en el acimut 45° los meses presentan (excepto agosto) de manera reiterada una sólida estructura espacial. Entonces en esta dirección noreste se equipara los variogramas experimentales de cada mes con tres funciones de variograma modelos predefinidos (exponencial, gaussiano, y esférico) para obtener los modelos de variograma experimental.

Se procede a mostrar los variogramas experimentales y los modelos de variograma ajustados con parámetros óptimos de variograma (es decir, nugget, sill y range) para los datos de precipitación mensual de la cuenca del río cajamarquino, que se usan en el análisis del Kriging Ordinario.

Los modelos de variograma mejor ajustados se seleccionan en función de los valores mínimos de RMSE y de la varianza de error, utilizando un proceso de prueba y error con diferentes

intervalos de lag (h). Los parámetros se cambian iterativamente para obtener el modelo mejor ajustado, que produce menos RMSE y varianza de error.

El modelo Gaussiano es el modelo del variograma mejor ajustado para todos los meses que se muestra en la Tabla N°: 21. No solo es necesario comprobar que el mejor modelo es aquel que presenta menor valor RMSE, también se debe comprobar que dicho modelo tenga menor varianza de error en el momento de estimar la precipitación media. De manera aleatoria se escoge una ubicación dentro de la cuenca donde se va a estimar la precipitación media siendo en este igual a 777,199.0 y en norte igual a 9,207,299.0.

En la Tabla N°: 21 se muestra los parámetros de los modelos ajustados al variograma experimental en dirección 45°, excepto el mes de agosto que es dirección 135°. Además, valores mínimos de RMSE y de la varianza de error para cada mes.

Tabla N°: 21. *Parámetros y desempeño de los modelos ajustados al variograma experimental en acimut 45°*

MES	MODELO	Lag distance (h)	NUGGET, Co	C1	SILL, Co + C1	RANGE, a	RMSE	VARIANZA ERROR
ENERO	Esférico	2,500	0.00	1.00	1.0	23,040	0.435	0.050
	Gaussiano	2,500	0.00	1.00	1.0	16,140	0.432	0.004
	Exponencial	2,500	0.00	1.00	1.0	8,200	0.441	0.094
FEBRERO	Esférico	2,425	0.00	1.00	1.0	21,410	0.496	0.054
	Gaussiano	2,425	0.00	1.00	1.0	9,416	0.490	0.011
	Exponencial	2,425	0.00	1.00	1.0	8,450	0.512	0.092
MARZO	Esférico	2,475	0.00	1.00	1.0	26,500	0.739	0.044
	Gaussiano	2,475	0.00	1.00	1.0	15,900	0.722	0.001
	Exponencial	2,475	0.00	1.00	1.0	10,900	0.777	0.072

	Esférico	2,395	0.00	1.00	1.0	20,260	0.357	0.057
ABRIL	Gaussiano	2,395	0.00	1.00	1.0	11,160	0.349	0.010
	Exponencial	2,395	0.00	1.00	1.0	7,201	0.362	0.107
	Esférico	2,500	0.00	1.00	1.0	22,500	0.231	0.051
MAYO	Gaussiano	2,500	0.00	1.00	1.0	13,965	0.199	0.007
	Exponencial	2,500	0.00	1.00	1.0	9,410	0.220	0.083
	Esférico	2,475	0.00	1.00	1.0	3,770	0.225	0.307
JUNIO	Gaussiano	2,475	0.00	1.00	1.0	3,700	0.224	0.083
	Exponencial	2,475	0.00	1.00	1.0	1,100	0.227	0.525
	Esférico	2,400	0.00	1.00	1.0	9,750	0.260	0.154
JULIO	Gaussiano	2,400	0.00	1.00	1.0	5,090	0.260	0.043
	Exponencial	2,400	0.00	1.00	1.0	3,730	0.260	0.198
	Esférico	6,620	0.00	1.00	1.0	36,000	0.819	0.033
AGOSTO	Gaussiano	6,620	0.00	1.00	1.0	27,540	0.821	0.000
	Exponencial	6,620	0.00	1.00	1.0	9,540	0.857	0.082
	Esférico	2,500	0.00	1.00	1.0	9,200	0.289	0.129
SEPTIEMBRE	Gaussiano	2,500	0.00	1.00	1.0	5,550	0.272	0.035
	Exponencial	2,500	0.00	1.00	1.0	4,100	0.282	0.181
	Esférico	3,150	0.00	1.00	1.0	21,500	0.238	0.054
OCTUBRE	Gaussiano	3,150	0.00	1.00	1.0	11,500	0.228	0.010
	Exponencial	3,150	0.00	1.00	1.0	10,100	0.229	0.077
	Esférico	2,420	0.00	0.90	0.9	7,150	0.135	0.149
NOVIEMBRE	Gaussiano	2,420	0.00	0.90	0.9	5,150	0.134	0.037

	Exponencial	2,420	0.00	0.80	0.8	4,340	0.171	0.138
	Esférico	2,650	0.00	1.00	1.0	19,100	0.227	0.061
DICIEMBRE	Gaussiano	2,650	0.00	1.00	1.0	9,100	0.211	0.013
	Exponencial	2,650	0.00	1.00	1.0	8,900	0.218	0.087

En la Tabla N°: 21 se muestra que los mejores modelos que se ajustan son gaussiano y esférico, presentando un menor RMSE. Pero, el modelo gaussiano es el mejor por presentar menor varianza de error entre los tres modelos antes descritos.

De lo descrito anteriormente, se puede decir que la precipitación (lluvia) de la cuenca Río cajamarquino, tiene una orientación noreste (acimut 45°) y el mejor modelo para el cálculo de la precipitación media es el gaussiano por presentar menor RMSE y varianza de error.

A continuación, se presentará los variogramas experimentales ajustados al modelo gaussiano. Se aclara que este modelo se escogió porque es el mejor que se ajusta en los meses de mayor precipitación, ya que estos meses presentan una estructura espacial clara y notoria. Por lo contrario, los meses con escasa precipitación presentan una estructura espacial muy ruidosa es decir los datos no tienen correlación y eso puede ser porque la precipitación es escasa en estos meses.

Variogramas experimentales de cada mes con su respectivo modelo ajustado desde la Figura N° 44 hasta la Figura N° 46.

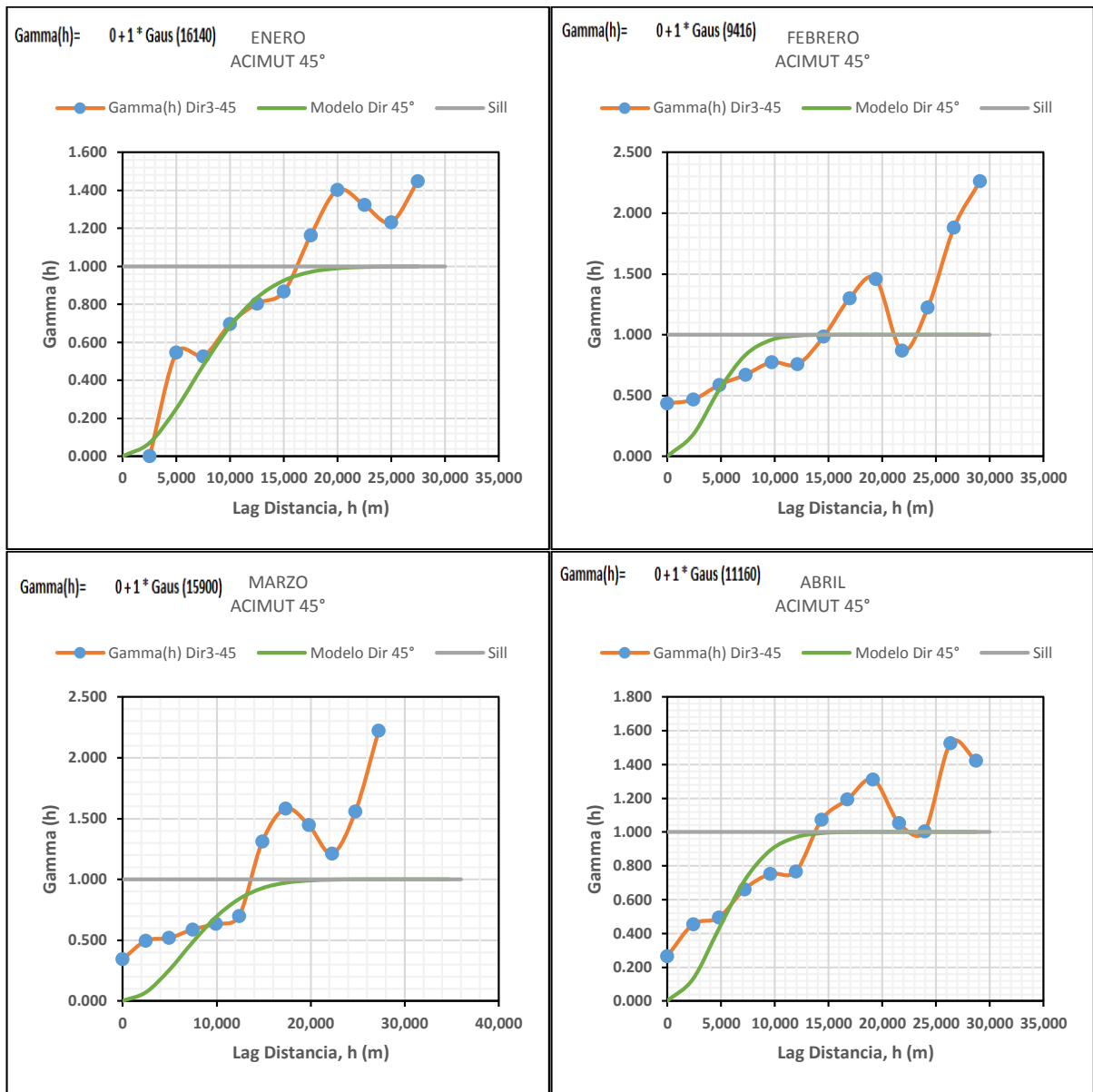


Figura N° 44: Ajuste de variogramas experimentales con el modelo gaussiano desde el mes de enero a abril.

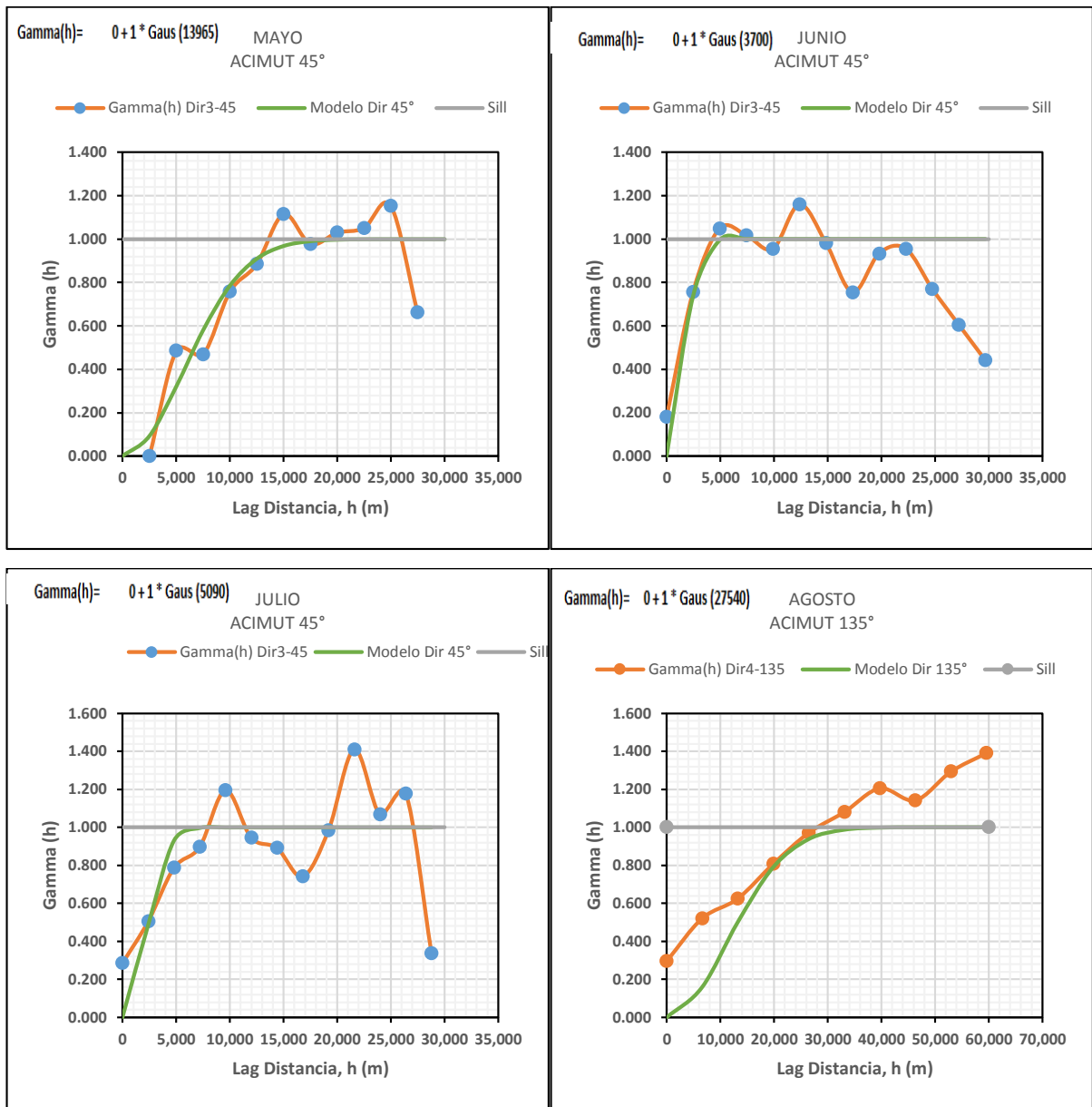


Figura N° 45: Ajuste de variogramas experimentales con el modelo gaussiano desde el mes de mayo a agosto.

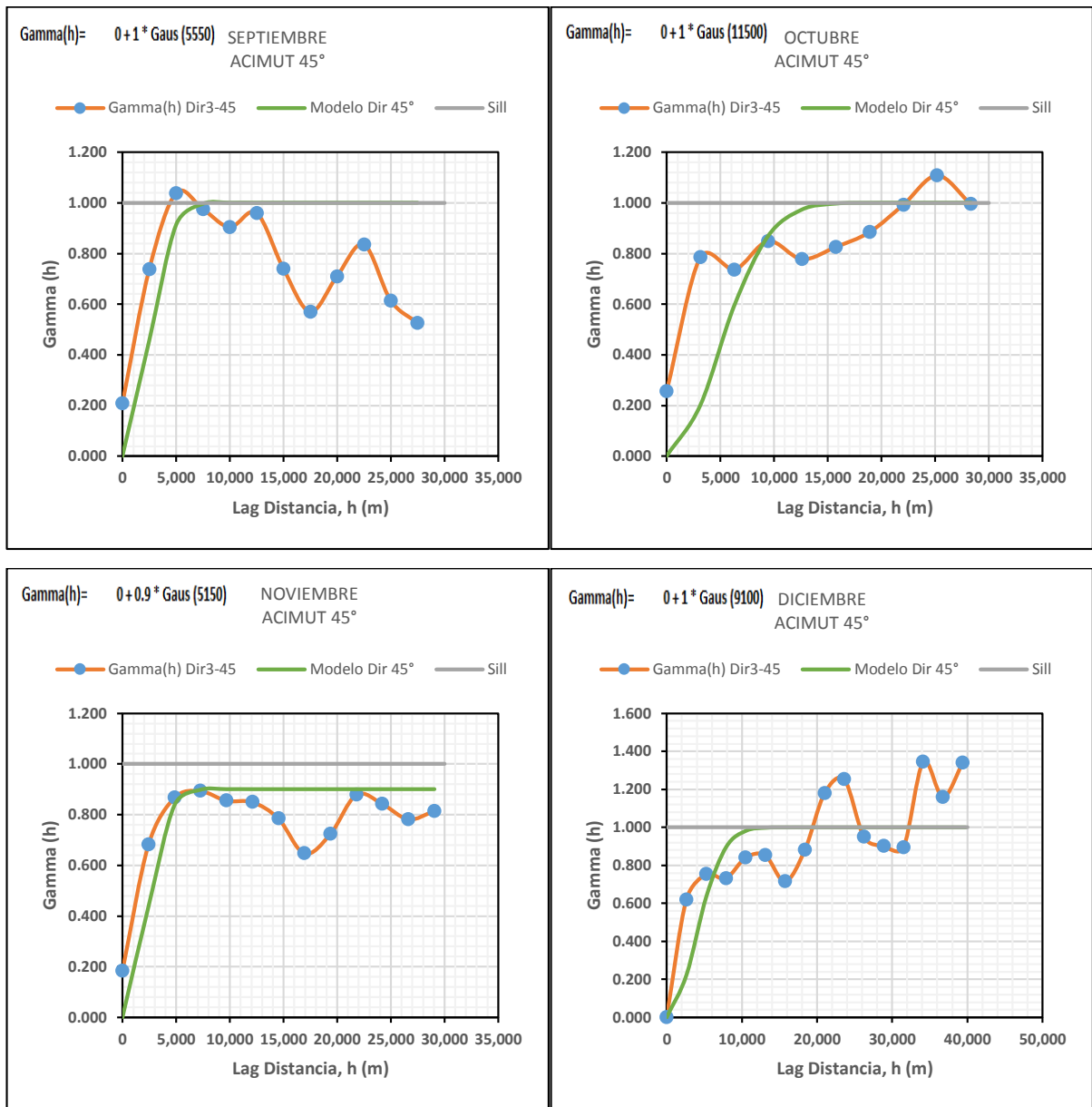


Figura N° 46: Ajuste de variogramas experimentales con el modelo gaussiano desde el mes de septiembre a diciembre

4.2. ANÁLISIS DE VARIANZA DE ERROR

Para el cálculo de la precipitación media mensual realizada por Polígonos de Thiessen y Kriging se tiene en cuenta el análisis de la varianza de error. El que presenta una menor varianza de error significa que estima mejores valores de precipitación media en la cuenca del Río Cajamarquino. En la Tabla N°: 22 el método Kriging presenta menor varianza de error en todos los meses, disminuyendo el error en 80 % en promedio.

Tabla N°: 22. Comparación de la Varianza de error de los métodos polígonos de Thiessen y kriging

MES	METODO	VARIANZA ERROR	% DE ERROR DISMUNUIDO
ENERO	THIESEN	0.106	
	KRIGING	0.004	96%
FEBRERO	THIESEN	0.106	
	KRIGING	0.011	90%
MARZO	THIESEN	0.106	
	KRIGING	0.001	99%
ABRIL	THIESEN	0.106	
	KRIGING	0.010	91%
MAYO	THIESEN	0.106	
	KRIGING	0.007	94%
JUNIO	THIESEN	0.106	
	KRIGING	0.083	22%
JULIO	THIESEN	0.106	
	KRIGING	0.043	60%
AGOSTO	THIESEN	0.106	
	KRIGING	0.000	100%
SEPTIEMBRE	THIESEN	0.106	
	KRIGING	0.035	67%
OCTUBRE	THIESEN	0.106	
	KRIGING	0.010	91%
NOVIEMBRE	THIESEN	0.106	
	KRIGING	0.037	65%
DICIEMBRE	THIESEN	0.106	
	KRIGING	0.013	87%
PROMEDIO			80%

El análisis de varianza de error conjuntamente con mitades partidas - Spearman Brown. Se afirma que que el método Kriging es mejor método para el cálculo de precipitación media mensual que el método Thiessen en la cuenca del Río Cajamarquino.

4.3. CONTRASTE CON LA REALIDAD

Tabla N°: 23. Valores reales y estimados por Kriging de los meses de enero, febrero, marzo, abril, octubre, noviembre y diciembre de la estación meteorológica Weberbauer.

AÑO	REAL							ESTIMADO						
	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
1965				78.10	83.60	66.00	67.90				91.71	93.85	90.50	85.00
1966	62.70	45.90	54.50	45.90	76.80	62.70		68.02	63.32	89.36	63.86	82.16	86.37	
1967	119.80	139.50	109.10	32.30	101.00		36.70	143.14	158.00	138.45	47.13	103.33		55.56
1968	58.00	81.00	67.70	26.20	66.40	54.60	70.80	49.91	84.78	95.68	41.18	71.61	66.48	84.49
1969	42.00		83.50	85.70		106.40	162.00	52.14		117.28	95.24		127.45	130.24
1970	71.00	41.80	79.90	50.80	103.00	51.40	54.10	87.00	51.32	114.02	61.91	128.86	86.14	67.88
1971	58.40	97.80	275.70	54.70	89.80	45.80		52.92	115.21	240.99	62.93	82.30	70.54	
1972	55.50	67.60	113.80		31.40	66.50	50.20	63.97	81.58	148.49		55.45	94.03	65.84
1973	95.30	70.80	92.50	101.60	67.00	65.50	75.00	106.98	77.05	121.33	110.86	55.67	98.58	88.27
1974	61.60	140.00	89.10	59.00	70.70	55.10	76.60	72.63	155.91	126.94	60.68	63.59	65.00	83.43
1975	94.80	156.50	202.00	68.80	80.20	65.10		97.36	168.41	179.91	74.49	56.60	75.75	
1976	130.40	62.90	81.60	34.50		71.60	44.40	137.18	81.11	119.32	41.03		66.09	60.83
1977	129.90	146.40	141.90	42.60	53.40	54.80	68.20	127.23	148.09	131.18	45.65	53.95	84.99	74.68
1978	12.70	34.40	48.80	37.00	24.40	54.00	44.80	11.15	70.59	46.82	52.79	41.64	87.59	60.96
1979	84.10	81.60	159.70	37.10	24.40	26.30	46.60	87.49	79.24	146.61	41.14	33.63	50.18	46.83
1980	34.90	42.40	65.00	29.30	130.40	111.00	106.70	44.16	39.76	76.93	38.05	133.56	153.49	104.05
1981	78.20	186.50	105.70	33.70	111.50	45.60	111.30	42.08	176.54	95.21	36.33	93.21	63.30	96.92
1982	71.70	102.90		88.70	124.80	67.30	87.40	54.00	62.45		68.64	121.72	114.56	105.89
1983	116.60	75.70	152.80	105.70	86.90	28.10	118.40	114.13	58.35	171.90	102.04	57.90	52.60	102.77
1984	24.70	233.60	123.80	80.00	68.60	97.60	104.10	27.45	262.69	131.61	82.56	85.22	97.46	113.70
1985	24.60	42.40	37.20	41.90	50.00		40.30	32.03	62.09	48.30	59.95	44.82		62.75
1986	84.40	47.80	96.80	120.20	43.60	66.20	51.80	110.83	54.72	88.33	118.00	59.67	82.23	76.41
1987	98.20	95.00	39.20	52.60	37.20	74.30	61.50	100.69	88.87	50.07	65.48	56.14	105.30	78.53
1988	109.70	105.50	44.80	95.60	69.40	65.20	63.40	134.29	106.89	50.51	122.24	64.23	89.02	76.73
1989	87.00	158.80	113.50	85.40	106.60	47.10		90.41	155.62	123.55	91.38	73.87	58.77	
1990	101.80	68.50	58.30	27.40	87.60	99.10	72.30	90.83	78.17	99.84	43.30	126.08	127.46	79.75
1991	43.80	90.00	133.70	55.20		55.10	71.90	50.04	103.20	114.33	63.47		91.37	87.05
1992	52.60	31.80	66.60	46.50	64.00	32.00	34.10	56.07	32.98	101.45	52.21	99.00	61.65	61.20

1993	61.00	106.20	245.00	102.90	106.30	71.40	84.10	61.89	124.11	206.54	114.40	74.43	103.31	109.18
1994	116.90	103.10	170.20	144.90	27.20	89.80	122.60	132.40	125.44	136.99	146.81	57.10	104.98	120.85
1995	43.80	108.30	75.70	49.70	51.80	50.50	76.40	41.47	110.73	130.41	55.61	71.59	85.10	93.88
1996	65.20	124.00	120.10	50.40	76.20	68.80	34.10	86.03	127.51	103.51	58.41	83.83	67.39	56.96
1997	64.80	152.90	26.50	40.40	50.80	119.90	129.40	76.57	158.52	62.59	57.62	89.74	134.61	108.70
1998	103.00	116.50	257.00	83.90	79.90		47.90	126.11	142.65	216.21	90.74	96.15		57.85
1999	94.80	242.70	77.50	65.00	21.70	77.00	68.90	114.45	266.21	111.80	74.88	47.37	93.92	87.18
2000	46.00	162.30	126.30	77.30		44.50	122.30	46.86	167.98	147.52	78.33		54.38	112.00
2001	191.20	100.80	230.20	57.20	46.20	93.40	90.90	207.92	94.96	219.94	58.48	77.86	117.28	96.64
2002	27.00	60.00	133.10	77.20	90.30	99.90	86.10	22.81	65.49	149.02	75.75	94.68	112.79	96.95
2003	51.10	61.40	103.50	42.10	46.00	63.80	80.70	62.43	57.08	126.61	47.44	68.12	85.85	91.19
2004	36.10	102.00	56.90	44.50	63.40	92.60	123.70	74.93	87.48	108.36	55.03	82.05	106.30	95.83
2005	84.90	53.70	136.60	54.00	92.30	30.00	87.80	89.51	84.77	125.77	69.66	105.48	47.80	112.93
2006	83.20	101.60	199.30	77.60		60.40	81.70	86.84	93.67	155.29	80.80		90.60	101.76
2007	95.40	17.50	182.40	111.50	118.90	97.60	68.80	134.86	72.88	120.59	119.29	108.48	116.51	83.17
2008	80.20	133.30	118.40	99.10	96.50	72.20		88.86	143.17	118.89	93.96	102.85	91.48	
2009	180.70	74.60	110.50	78.80	78.50	109.40	74.20	145.90	90.81	124.27	80.75	88.38	124.29	87.20
2010	49.50	112.90	154.00	88.40	43.40	52.50	70.80	61.30	116.10	143.58	83.62	57.43	79.15	81.55
2011	76.60	73.30	125.20	102.00	31.50		109.70	83.54	85.13	123.57	99.44	48.31		112.87
2012	154.20	134.70	126.40	72.80	83.30	120.30	58.30	134.85	136.38	123.94	77.53	91.45	122.00	66.97
2013	61.50	98.00	213.60	73.80	110.70		51.90	68.90	105.65	185.47	74.21	110.13		72.46
2014	75.70	67.30	143.20	78.80	26.50	45.70	114.90	78.54	86.50	134.68	75.30	47.44	75.50	109.68
2015	184.70	55.40	202.20	63.00		99.60	39.50	142.27	68.39	178.46	63.49		111.03	53.91
2016	82.90	85.30	121.30	56.20	60.00		63.10	84.31	94.91	120.98	62.34	68.80		80.37
2017	77.50	72.30	138.90	78.60	65.30	63.20	168.10	84.82	84.55	142.87	78.59	78.40	67.31	141.27
2018	99.00	126.40	117.30	73.30	61.80	97.40	69.40	94.12	129.12	118.79	76.02	73.82	114.74	76.00

En la Tabla N°: 23, se muestra los valores reales y estimados de la estación Weberbauer de los meses con mayor precipitación .

Tabla N°: 24. *Error porcentual absoluto medio de los meses de enero, febrero, marzo, abril, octubre, noviembre y diciembre.*

AÑO	MAPE						
	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
1965				17%	12%	37%	25%
1966	8%	38%	64%	39%	7%	38%	
1967	19%	13%	27%	46%	2%		51%
1968	14%	5%	41%	57%	8%	22%	19%
1969	24%		40%	11%		20%	20%
1970	23%	23%	43%	22%	25%	68%	25%
1971	9%	18%	13%	15%	8%	54%	
1972	15%	21%	30%		77%	41%	31%
1973	12%	9%	31%	9%	17%	51%	18%
1974	18%	11%	42%	3%	10%	18%	9%
1975	3%	8%	11%	8%	29%	16%	
1976	5%	29%	46%	19%		8%	37%
1977	2%	1%	8%	7%	1%	55%	10%
1978	12%	105%	4%	43%	71%	62%	36%
1979	4%	3%	8%	11%	38%	91%	0%
1980	27%	6%	18%	30%	2%	38%	2%
1981	46%	5%	10%	8%	16%	39%	13%
1982	25%	39%		23%	2%	70%	21%
1983	2%	23%	13%	3%	33%	87%	13%
1984	11%	12%	6%	3%	24%	0%	9%
1985	30%	46%	30%	43%	10%		56%
1986	31%	14%	9%	2%	37%	24%	48%
1987	3%	6%	28%	24%	51%	42%	28%
1988	22%	1%	13%	28%	7%	37%	21%
1989	4%	2%	9%	7%	31%	25%	
1990	11%	14%	71%	58%	44%	29%	10%
1991	14%	15%	14%	15%		66%	21%
1992	7%	4%	52%	12%	55%	93%	79%
1993	1%	17%	16%	11%	30%	45%	30%
1994	13%	22%	20%	1%	110%	17%	1%
1995	5%	2%	72%	12%	38%	69%	23%
1996	32%	3%	14%	16%	10%	2%	67%

1997	18%	4%	136%	43%	77%	12%	16%
1998	22%	22%	16%	8%	20%		21%
1999	21%	10%	44%	15%	118%	22%	27%
2000	2%	4%	17%	1%		22%	8%
2001	9%	6%	4%	2%	69%	26%	6%
2002	16%	9%	12%	2%	5%	13%	13%
2003	22%	7%	22%	13%	48%	35%	13%
2004	108%	14%	90%	24%	29%	15%	23%
2005	5%	58%	8%	29%	14%	59%	29%
2006	4%	8%	22%	4%		50%	25%
2007	41%	316%	34%	7%	9%	19%	21%
2008	11%	7%	0%	5%	7%	27%	
2009	19%	22%	12%	2%	13%	14%	18%
2010	24%	3%	7%	5%	32%	51%	15%
2011	9%	16%	1%	3%	53%		3%
2012	13%	1%	2%	6%	10%	1%	15%
2013	12%	8%	13%	1%	1%		40%
2014	4%	29%	6%	4%	79%	65%	5%
2015	23%	23%	12%	1%		11%	36%
2016	2%	11%	0%	11%	15%		27%
2017	9%	17%	3%	0%	20%	7%	16%
2018	5%	2%	1%	4%	19%	18%	10%
MAPE=	16%	21%	24%	15%	30%	36%	23%
Promedio	24%						

En la *Tabla N°: 24*, se muestra el error porcentual absoluto medio (MAPE) de los meses con mayor precipitación, ya que estos son los meses de mayor influencia en los modelos y estudios hidrológicos. Se obtiene un promedio de 24% de MAPE en la estimación de precipitaciones para la estación Weberbauer, siendo 24% un error tolerable para la estimación de fenómenos meteorológicos como la precipitación mensual. Se observa en los meses de octubre, noviembre el error es mayor, con 30% y 36%, ya que las precipitaciones son irregulares en estos meses como anteriormente lo muestra los variogramas experimentales de tales meses. Finalmente, este contraste con la realidad es posible con el método Kriging mas no con el método Thiessen.

CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

Se realizó el análisis comparativo entre la precipitación media mensual estimada por el método Kriging y Thiessen en la cuenca del río Cajamarquino, Kriging nos permite obtener mejores resultados que Polígonos de Thiessen. Ya que Kriging presenta mayor confiabilidad en comparación con Thiessen y eso se debe a que Kriging considera la distribución espacial de las estaciones.

Se calculó por el método polígonos de Thiessen la precipitación media mensual. El promedio de la precipitación media mensual de los meses con mayor precipitación de octubre, noviembre, diciembre, enero, febrero, marzo, y abril es igual a 111.40 mm. Además, el promedio de la precipitación media mensual de los meses con menor precipitación de mayo, junio, julio, agosto, y septiembre es igual a 22.2 mm.

Se calculó por el método kriging la precipitación media mensual. El promedio de la precipitación media mensual de los meses con mayor precipitación de octubre, noviembre, diciembre, enero, febrero, marzo, y abril es igual a 70.73 mm. Además, el promedio de la precipitación media mensual de los meses con menor precipitación de mayo, junio, julio, agosto, y septiembre es igual a 16.22 mm.

Se calculó la precipitación media mensual por ambos métodos, donde Kriging obtiene valores menores que Thiessen. Kriging a diferencia de Thiessen privilegia los datos cercanos y a través de la anisotropía privilegia los datos ubicados en las direcciones de mayor continuidad con respecto al sitio a estimar.

Se realizó la varianza de error entre el método Thiessen y Kriging. Entre todos los meses Kriging optimiza la varianza de error en un 80% en comparación contra Thiessen.

5.2. RECOMENDACIONES

En adelante recomiendo usar el método Kriging para el cálculo de precipitaciones medias, por considerar la variación estructural de las estaciones y por ser insesgado al reducir la varianza de error.

En general, recomiendo investigar más su aplicación de Kriging para el entendimiento de la hidrología peruana, ya que no solo estima precipitaciones medias, estima registros históricos de flujo de corriente, estima mapas de precipitaciones, estima datos faltantes de la información, entre otras aplicaciones.

CAPÍTULO VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Adhikary, SK. 2017. Optimal Design of a Rain Gauge Network to Improve Streamflow Forecasting. s.l., Victoria University. .
2. Aragón-Hernández, JL; Jiménez-Magaña, MR; Aguilar-Martínez, GA; Maya-Franco, A; Velázquez-Ríos, U. 2019. Distribución espacial de variables hidrológicas. Implementación y evaluación de métodos de interpolación. (número 2).
3. Barbalho, FD; Silva, GFN da; Formiga, KTM. 2014. Average Rainfall Estimation: Methods Performance Comparison in the Brazilian Semi-Arid. *Journal of Water Resource and Protection* 06(02):97-103. DOI: <https://doi.org/10.4236/jwarp.2014.62014>.
4. Bhandari, AK. 2005. Study to assess accurate spatial rainfall data in Lake Naivasha basin, Kenya. s.l., International Institute For Geo-Information Science and Earth Observation Enschede. .
5. Bielenki Junior, Claudio Mendonça dos Santos, F; Semensato Povinelli, SC; Mauad, FF. 2018. Alternative methodology to gap filling for generation of monthly rainfall series with GIS approach. *Revista Brasileira de Recursos Hidricos* 23. DOI: <https://doi.org/10.1590/2318-0331.231820170171>.
6. Chow, V Te; Maidment, D; Mays, L. 1988. *Applied Hydrology*. s.l., s.e. 1-588 p.
7. Collado, J. 1988. Estimación óptima de la precipitación media con el método Kriging (en línea). *Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, SARH*. . s.l., s.e. 34-45. p. Disponible en http://repositorio.imta.mx:8080/cenca-repositorio/bitstream/123456789/1222/1/RIH_023.pdf.
8. Díaz-Padilla, G; Sánchez-Cohen, I; Quiroz, R; Garatuza-Payán, J; Watts-Thorp, C; Cruz-Medina, IR; Guajardo-Panes, RA. 2011. Variación Espacio-Temporal de la Precipitación Pluvial en México: Una Aproximación a la Evaluación de Impactos. *Tecnología y Ciencias del Agua* 2(4):51-64.
9. Emery, X. 2013. *Geoestadística*. s.l., s.e. 1-149 p.
10. Farmer, WH. 2016. Ordinary kriging as a tool to estimate historical daily streamflow records. *Hydrology and Earth System Sciences* 20(7):2721-2735. DOI:

- <https://doi.org/10.5194/hess-20-2721-2016>.
11. Fernández, CA. 2015. Generación de Base de Datos de Precipitación Mensual Grillada del Alta Resolución a Nivel Nacional (en línea). *Journal of Chemical Information and Modeling* :2-47. DOI: <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>.
 12. Gao, P; Li, P; Zhao, B; Xu, R; Zhao, G; Sun, W; Mu, X. 2017. Use of double mass curves in hydrologic benefit evaluations. *Hydrological Processes* :1-8. DOI: <https://doi.org/10.1002/hyp.11377>.
 13. Giraldo Henao, R. 2002. *Introducción a La Geoestadística*. s.l., s.e. 1-94 p.
 14. Huamán, J. 2016. *Hidrología*. Cajamarca, s.e. 1-145 p.
 15. Hurtado, A. 2009. *Estimación de los Campos Mensuales Históricos de Precipitación en el Territorio Colombiano* (en línea). s.l., Universidad Nacional de Colombia. 1-104 p. Disponible en <http://www.bdigital.unal.edu.co/6824/5/97895882800907.pdf>.
 16. Íñiguez Covarrubias, M; Ojeda Bustamante, W; Díaz Delgado, C; Mamadou Bâ, K; Mercado Escalante, R. 2011. Análisis metodológico de la distribución espacial de la precipitación y la estimación media diaria. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 2(1):57-69.
 17. Isaaks, E. 1989. *Ordinary Kriging*. s.l., s.e. p. 279-333.
 18. Ita Vargas, TK. 2013. *Determinación de Umbrales de Temperatura del Aire y la Precipitación Pluvial de la Cuenca del Río Chicama-Regiones La Libertad y Cajamarca*. SENAMHI :1-24.
 19. Kim, E. 2018. *Spatial Simulation 1: Basics of Variograms* (en línea, sitio web). Consultado 30 sep. 2019. Disponible en <https://aegis4048.github.io/spatial-simulation-1-basics-of-variograms>.
 20. Korb, KA. s. f. *Calculation Reliability of Quantitative Measures*. University of Jos :1-14.
 21. Linsley, R; Kohler, M; Paulhus, J. 2006. *Hydrology for Engineers*. s.l., s.e., vol.222. 1-358 p. DOI: <https://doi.org/10.1038/222065a0>.
 22. MasterGIS. 2018. *Delimitar una cuenca hidrográfica en ArcGIS* (en línea). s.e. Consultado 21 sep. 2019. Disponible en <https://www.youtube.com/watch?v=cYcXFCN6PT8&t=613s>.
 23. Oliver, M; Webster, R. 2015. *Basic Steps in Geostatistics: The Variogram and Kriging*.

- s.l., s.e. 1-106 p.
24. Portuguez Maurtua, DM. 2017. Aplicación de La Geoestadística a Modelos Hidrológicos en La Cuenca del Río Cañete. s.l., Universidad Nacional Agraria la Molina. 100 p.
 25. Pyrcz, M. 2018. Spatial Interpretation Modeling (en línea). s.l., s.e. p. 1-41. Disponible en <http://www.michaelpyrcz.com/>.
 26. Pyrcz, MJ. 2018. Spatial Modeling with Geostatistics (en línea). s.l., s.e. p. 1-52. Disponible en <http://www.michaelpyrcz.com/>.
 27. Raghuanth, H. 2006. Hydrology. s.l., s.e. 1-477 p.
 28. Searcy, J; Hardison, C. 1960. Double-Mass Curves. s.l., s.e. p. 31-66.
 29. Steimer, C. 2017. Review of various methods for interpolation of rainfall and their applications in hydrology. s.l., University Munich. 1-63 p.
 30. Villón, M. 2004. La cuenca Hidrológica. s.l., s.e. p. 21-72.
 31. WMO. 2011. Guide to Hydrological Practices (en línea). s.l., s.e., vol.1. 1-296 p. DOI: <https://doi.org/10.1080/02626667.2011.546602>.

ANEXOS

ANEXO N° 1: DATOS DE PRECIPITACIONES MENSUALES

Tabla N°: 25: Datos de precipitaciones de Augusto Weberbauer

PRECIPITACION TOTAL MENSUAL (mm)												
AÑO	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SETIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
1965	S/D	S/D	S/D	78.1	10.4	0.0	6.2	0.0	49.2	83.6	66.0	67.9
1966	62.7	45.9	54.5	45.9	40.0	0.0	0.0	0.7	13.1	76.8	62.7	18.7
1967	119.8	139.5	109.1	32.3	44.1	10.3	28.4	5.8	24.9	101.0	17.8	36.7
1968	58.0	81.0	67.7	26.2	S/D	1.6	1.6	16.2	50.0	66.4	54.6	70.8
1969	42.0	S/D	83.5	85.7	S/D	19.6	0.3	S/D	18.4	S/D	106.4	162.0
1970	71.0	41.8	79.9	50.8	33.8	19.9	3.2	2.5	18.2	103.0	51.4	54.1
1971	58.4	97.8	275.7	54.7	8.0	12.2	17.6	17.2	28.1	89.8	45.8	S/D
1972	55.5	67.6	113.8	S/D	S/D	4.4	3.4	S/D	S/D	31.4	66.5	50.2
1973	95.3	70.8	92.5	101.6	23.7	28.7	8.4	19.3	91.0	67.0	65.5	75.0
1974	61.6	140.0	89.1	59.0	4.6	17.3	6.5	27.3	38.7	70.7	55.1	76.6
1975	94.8	156.5	202.0	68.8	66.8	9.0	7.2	19.3	45.1	80.2	65.1	0.9
1976	130.4	62.9	81.6	34.5	43.0	23.0	0.1	4.4	12.3	32.2	71.6	44.4
1977	129.9	146.4	141.9	42.6	25.5	8.0	7.5	0.1	16.1	53.4	54.8	68.2
1978	12.7	34.4	48.8	37.0	65.6	3.9	4.4	3.8	25.0	24.4	54.0	44.8
1979	84.1	81.6	159.7	37.1	16.3	1.8	7.5	15.7	33.6	24.4	26.3	46.6
1980	34.9	42.4	65.0	29.3	6.9	15.1	3.2	6.7	2.3	130.4	111.0	106.7
1981	78.2	186.5	105.7	33.7	14.7	6.6	7.2	12.7	22.0	111.5	45.6	111.3
1982	71.7	102.9	S/D	88.7	38.2	7.8	2.1	6.6	43.9	124.8	67.3	87.4
1983	116.6	75.7	152.8	105.7	31.1	10.1	9.6	2.7	19.2	86.9	28.1	118.4
1984	24.7	233.6	123.8	80.0	69.5	25.1	23.4	18.7	36.7	68.6	97.6	104.1
1985	24.6	42.4	37.2	41.9	53.0	0.4	4.8	18.3	37.3	50.0	23.9	40.3
1986	84.4	47.8	96.8	120.2	16.2	0.6	1.2	14.6	1.3	43.6	66.2	51.8
1987	98.2	95.0	39.2	52.6	9.1	4.0	10.8	12.3	39.5	37.2	74.3	61.5
1988	109.7	105.5	44.8	95.6	10.6	5.4	0.0	0.4	32.9	69.4	65.2	63.4
1989	87.0	158.8	113.5	85.4	18.8	16.7	3.2	5.9	53.5	106.6	47.1	2.7
1990	101.8	68.5	58.3	27.4	39.5	24.6	0.8	7.1	20.1	87.6	99.1	72.3
1991	43.8	90.0	133.7	55.2	17.9	0.7	0.4	0.3	10.2	28.2	55.1	71.9
1992	52.6	31.8	66.6	46.5	18.9	21.2	4.6	10.0	40.8	64.0	32.0	34.1
1993	61.0	106.2	245.0	102.9	30.2	1.9	3.3	2.9	51.4	106.3	71.4	84.1
1994	116.9	103.1	170.2	144.9	35.3	3.3	0.0	0.2	11.9	27.2	89.8	122.6
1995	43.8	108.3	75.7	49.7	20.6	1.7	13.2	10.8	11.5	51.8	50.5	76.4
1996	65.2	124.0	120.1	50.4	7.7	0.8	0.5	15.8	13.9	76.2	68.8	34.1
1997	64.8	152.9	26.5	40.4	17.0	15.4	0.2	0.0	27.4	50.8	119.9	129.4
1998	103.0	116.5	257.0	83.9	19.6	4.8	1.3	4.7	17.8	79.9	29.1	47.9
1999	94.8	242.7	77.5	65.0	53.7	22.8	22.1	1.2	81.4	21.7	77.0	68.9
2000	46.0	162.3	126.3	77.3	40.5	15.6	2.1	13.4	56.6	9.9	44.5	122.3
2001	191.2	100.8	230.2	57.2	48.1	2.3	13.9	0.0	34.4	46.2	93.4	90.9
2002	27.0	60.0	133.1	77.2	23.0	8.8	10.7	3.4	14.6	90.3	99.9	86.1
2003	51.1	61.4	103.5	42.1	30.7	22.3	1.8	10.6	14.8	46.0	63.8	80.7
2004	36.1	102.0	56.9	44.5	42.4	2.1	13.8	29.4	19.0	63.4	92.6	123.7
2005	84.9	53.7	136.6	54.0	7.2	4.5	0.6	3.5	31.2	92.3	30.0	87.8
2006	83.2	101.6	199.3	77.6	7.7	23.9	1.8	6.1	33.6	12.7	60.4	81.7
2007	95.4	17.5	182.4	111.5	29.0	1.4	10.7	6.4	11.6	118.9	97.6	68.8
2008	80.2	133.3	118.4	99.1	22.7	15.4	2.3	11.7	34.7	96.5	72.2	S/D
2009	180.7	74.6	110.5	78.8	42.2	17.9	12.3	3.9	11.8	78.5	109.4	74.2
2010	49.5	112.9	154.0	88.4	31.6	8.6	2.6	1.3	28.9	43.4	52.5	70.8
2011	76.6	73.3	125.2	102.0	16.7	0.4	8.3	0.0	47.1	31.5	24.4	109.7
2012	154.2	134.7	126.4	72.8	51.5	0.8	0.0	2.5	19.1	83.3	120.3	58.3
2013	61.5	98.0	213.6	73.8	62.6	7.5	5.7	8.9	3.7	110.7	17.0	51.9
2014	75.7	67.3	143.2	78.8	26.9	5.0	2.0	3.9	27.7	26.5	45.7	114.9
2015	184.7	55.4	202.2	63.0	75.8	3.0	4.4	0.1	27.8	16.8	99.6	39.5

2016	82.9	85.3	121.3	56.2	7.0	1.6	2.1	1.1	25.1	60.0	16.1	63.1
2017	77.5	72.3	138.9	78.6	47.2	12.0	2.3	20.9	21.2	65.3	63.2	168.1
2018	99.0	126.4	117.3	73.3	50.1	10.8	0.5	0.0	24.4	61.8	97.4	69.4

Fuente: SENAMHI

Tabla N°: 26: Datos de precipitaciones Asunción

PRECIPITACION TOTAL MENSUAL (mm)												
AÑO	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SETIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
1965	46.6	130.2	269.7	193.0	17.5	0.0	2.1	0.0	16.3	55.1	48.4	107.3
1966	125.0	150.4	100.7	64.9	33.1	8.9	5.2	5.8	28.2	98.1	19.9	4.4
1967	231.0	328.0	182.1	73.6	34.8	0.0	14.3	0.0	3.8	92.8	6.6	27.9
1968	25.1	41.8	40.1	27.8	0.0	0.0	0.0	0.0	20.3	79.6	0.0	11.1
1969	0.0	5.9	207.8	121.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	130.3	114.4	238.0
1970	102.6	53.1	56.7	72.3	16.5	28.0	0.0	18.9	24.5	96.9	58.6	6.3
1971	27.6	71.1	313.4	83.7	6.4	0.0	0.0	21.1	32.4	33.2	13.4	41.7
1972	91.9	120.2	165.7	44.9	12.3	0.0	0.0	0.0	10.7	0.0	32.3	0.0
1973	195.9	35.1	86.9	224.1	2.3	0.0	0.3	0.0	38.1	23.2	13.8	82.6
1974	76.3	150.8	86.4	37.2	22.0	0.0	0.0	0.0	0.0	16.2	0.0	10.7
1975	45.3	76.0	277.1	20.5	9.2	12.9	0.0	7.0	28.5	129.2	0.0	26.0
1976	121.5	161.0	43.3	57.6	8.6	0.0	0.0	0.4	0.0	0.0	0.0	18.0
1977	136.1	138.4	68.8	64.7	0.0	0.0	0.0	0.0	4.2	0.0	8.6	4.1
1978	5.8	22.2	69.0	31.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.9	24.1	14.0	4.2
1979	35.9	33.1	S/D	S/D	3.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.3	0.0
1980	7.0	0.0	24.7	0.0	4.5	0.0	0.0	0.2	0.0	60.4	70.6	34.1
1981	15.6	46.6	100.6	5.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	25.4	24.0	40.7
1982	17.3	44.8	10.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	28.8	87.3	137.0	54.7
1983	73.1	42.4	108.9	70.0	51.4	0.0	0.2	0.0	0.0	2.3	9.3	29.0
1984	5.0	135.0	110.3	74.2	29.1	16.5	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D
1985	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D
1986	S/D	S/D	S/D	S/D	7.0	0.0	0.6	18.4	2.0	16.6	60.6	146.8
1987	232.3	114.0	121.4	84.3	7.3	2.0	7.7	10.9	27.5	12.8	75.5	48.7
1988	212.3	143.5	51.4	117.6	0.6	0.5	0.0	3.0	8.6	45.6	82.5	61.2
1989	182.4	303.7	257.8	87.0	13.6	11.4	0.2	3.9	20.0	92.3	15.3	0.0
1990	87.7	141.8	154.4	48.2	32.8	24.3	0.0	0.0	0.0	45.3	73.0	S/D
1991	40.6	88.3	278.6	81.7	25.2	3.0	0.0	0.0	2.2	53.2	55.4	97.3
1992	140.9	69.8	124.4	206.3	43.2	25.1	1.1	6.2	17.0	62.5	9.8	33.3
1993	S/D	242.7	357.1	185.3	53.8	0.7	4.2	0.5	29.3	86.3	79.4	149.2
1994	232.6	217.4	295.0	210.4	35.4	3.0	0.0	0.0	8.5	4.0	54.4	165.2
1995	119.3	207.4	121.2	63.3	25.8	4.1	3.3	0.0	4.3	32.5	39.5	94.7
1996	151.1	205.7	283.1	78.2	10.5	10.1	0.0	2.5	37.0	49.7	21.8	20.6
1997	53.6	184.6	70.1	92.9	17.1	10.3	0.0	0.0	33.1	57.6	121.5	279.2
1998	436.5	481.0	474.4	180.7	51.3	4.8	0.0	2.6	7.4	51.4	24.0	68.1
1999	123.7	554.9	236.4	120.1	69.4	36.2	9.6	0.0	58.7	35.7	73.7	121.3
2000	119.9	343.0	331.5	138.7	74.0	26.0	0.5	4.3	31.0	21.1	38.2	139.3
2001	314.4	166.7	615.1	90.5	65.1	0.0	1.9	0.0	13.3	27.5	107.1	64.7
2002	21.7	231.3	311.6	S/D	15.3	7.0	3.7	0.0	20.0	105.6	77.3	134.7
2003	112.0	140.3	149.8	51.7	27.3	23.0	2.1	4.4	2.3	23.4	50.7	103.0
2004	39.1	211.8	165.4	78.9	20.8	0.6	6.9	4.5	12.8	58.3	75.1	141.2
2005	150.2	164.4	375.5	33.0	1.1	0.2	S/D	0.0	3.5	51.2	18.4	107.1
2006	151.4	216.1	480.8	170.7	4.7	30.4	3.1	1.8	21.5	2.4	66.3	164.3
2007	182.1	69.8	338.6	129.7	11.2	0.0	0.0	5.0	2.4	74.0	72.3	59.2
2008	277.9	399.6	286.2	204.0	29.2	3.2	0.0	4.1	40.7	85.9	92.1	9.5
2009	390.6	251.2	460.7	128.6	41.4	8.4	10.5	0.0	2.3	72.8	125.0	142.3
2010	66.2	230.3	213.6	152.9	33.7	5.3	3.8	0.0	24.2	15.9	50.2	56.3
2011	130.5	138.8	179.9	224.7	7.4	4.1	5.9	0.0	26.8	13.8	23.9	160.4
2012	347.4	237.7	240.2	113.3	67.9	1.7	0.0	0.3	4.7	108.1	121.2	81.7
2013	87.3	249.6	420.5	105.2	59.0	6.2	0.4	3.5	1.2	101.8	0.3	80.8
2014	141.2	107.4	210.6	51.8	77.7	4.3	1.0	0.0	15.6	29.6	94.1	118.8
2015	162.2	112.9	513.2	70.3	44.3	0.5	0.0	0.0	11.6	18.3	94.1	59.9

2016	119.9	193.5	185.6	114.6	12.3	9.3	0.0	0.0	3.5	11.5	6.1	99.8
2017	268.2	285.1	558.5	142.5	67.1	6.5	0.0	3.4	7.6	113.5	21.9	106.5
2018	107.3	211.8	179.2	209.5	119.3	2.3	0.0	0.0	21.3	54.8	60.6	75.9

Fuente: SENAMHI

Tabla N°: 27: Datos de precipitaciones Cachachi

PRECIPITACION TOTAL MENSUAL (mm)												
AÑO	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SETIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
1965	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	11.7	64.6	271.0	160.8	116.8
1966	135.8	181.3	208.5	224.4	26.7	4.2	17.7	13.8	12.3	172.1	100.7	2.2
1967	111.7	S/D	S/D	12.2	31.3	0.0	8.1	18.2	8.0	145.4	97.2	30.2
1968	27.6	28.6	57.7	43.1	7.3	4.0	5.2	14.2	8.3	85.8	4.0	37.5
1969	15.2	51.7	53.7	S/D	S/D	S/D	0.0	0.0	13.9	182.2	255.6	160.0
1970	98.0	9.3	61.5	62.5	264.7	39.2	3.9	5.6	43.5	164.1	S/D	S/D
1971	103.2	40.5	343.8	255.2	23.0	1.8	20.3	18.0	7.3	36.1	33.8	207.2
1972	0.1	28.4	312.4	174.5	26.5	1.2	0.0	4.2	45.8	152.6	66.9	113.0
1973	341.7	95.1	123.2	319.8	35.6	0.0	46.2	0.0	115.8	162.7	116.0	87.1
1974	107.1	230.6	334.2	211.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	66.7	106.1	63.6
1975	0.0	305.5	752.3	302.7	15.6	0.0	0.0	0.0	28.5	109.5	0.0	0.0
1976	52.3	182.1	210.3	135.3	0.0	0.0	0.0	0.0	56.4	96.8	78.6	44.3
1977	110.9	419.0	83.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	10.9	25.0	23.3	90.5
1978	0.0	10.2	3.1	27.4	59.2	0.0	21.7	0.0	31.3	23.9	51.5	26.2
1979	36.6	47.6	S/D	S/D	S/D	S/D	8.6	13.8	74.4	0.0	47.6	42.3
1980	44.0	21.6	88.4	39.3	0.0	0.0	1.3	3.6	0.0	195.4	352.7	228.1
1981	127.6	153.8	160.2	13.3	66.8	35.2	0.0	15.8	6.4	187.6	72.7	161.2
1982	139.3	102.3	46.1	14.1	10.9	9.5	0.0	0.0	18.9	93.3	7.3	58.8
1983	149.6	2.0	240.5	112.3	20.9	2.5	0.0	0.0	0.0	4.2	9.0	42.2
1984	0.0	407.3	131.8	95.7	49.4	2.5	0.0	2.5	2.0	93.5	111.5	77.8
1985	2.0	0.0	15.4	2.0	16.5	0.0	0.0	0.0	37.0	7.0	2.5	78.0
1986	71.4	67.1	99.5	181.2	26.7	0.0	0.0	19.0	9.5	16.0	84.6	97.4
1987	140.8	79.9	57.0	25.0	20.3	0.0	11.3	0.0	11.0	63.5	100.0	S/D
1988	206.3	197.2	31.8	254.9	27.9	11.5	0.0	0.0	17.5	0.0	20.9	20.0
1989	98.1	126.8	218.4	215.2	8.5	4.5	0.0	0.0	66.4	43.8	2.4	0.0
1990	0.0	47.0	59.0	45.1	44.3	57.6	0.0	0.0	0.0	53.2	144.6	9.5
1991	32.5	66.5	190.1	139.1	42.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	10.3	6.0
1992	6.5	7.5	22.4	80.8	12.5	0.0	0.0	0.0	66.2	30.1	0.0	2.5
1993	28.2	118.0	352.6	165.4	43.3	0.0	0.0	0.0	76.6	157.6	113.4	286.8
1994	218.8	248.2	270.1	103.3	29.1	2.5	0.0	0.0	4.1	163.1	128.0	149.0
1995	54.4	173.1	338.9	65.1	25.8	0.0	12.2	0.0	26.6	82.0	131.9	181.1
1996	159.5	180.4	285.9	90.0	35.5	13.0	S/D	S/D	S/D	127.5	132.3	72.5
1997	108.5	338.0	24.0	69.4	35.1	12.3	0.0	15.6	41.3	104.2	124.6	276.6
1998	199.6	160.0	249.8	257.5	29.9	0.0	0.0	1.2	25.5	150.4	34.9	76.9
1999	152.9	359.0	95.1	13.3	31.6	27.4	2.4	1.2	114.7	20.3	90.6	133.7
2000	66.2	187.2	155.6	102.3	52.4	5.2	0.0	13.5	54.1	6.1	34.8	157.6
2001	282.8	98.0	323.1	41.5	28.3	0.0	2.9	3.0	12.6	84.1	97.4	128.6
2002	70.5	91.9	245.3	99.9	6.3	2.0	23.7	0.0	43.1	S/D	155.0	140.8
2003	74.1	89.1	159.0	87.5	33.6	10.4	0.4	5.4	63.6	57.7	111.8	124.0
2004	73.5	94.2	104.2	93.4	43.1	4.7	S/D	S/D	34.8	104.4	154.7	161.6
2005	36.5	100.3	228.2	47.1	8.1	0.6	0.0	9.2	20.1	148.3	3.4	155.1
2006	121.5	69.8	235.6	93.3	9.5	20.5	9.5	17.0	24.3	66.3	96.8	229.8
2007	130.3	70.5	329.5	175.4	21.7	0.0	4.7	2.4	26.4	186.4	114.7	98.5
2008	165.9	164.0	122.1	143.4	18.4	21.4	0.0	1.6	68.1	229.5	74.8	28.9
2009	309.5	157.3	245.1	145.5	44.2	1.4	13.5	1.9	14.4	190.2	274.1	122.3
2010	46.8	137.3	202.2	74.8	38.4	14.1	11.1	0.0	38.3	53.1	80.5	124.9
2011	100.4	102.1	179.4	173.2	S/D	4.1	27.7	0.0	58.1	51.3	67.7	220.4
2012	257.4	133.6	90.6	202.2	52.3	3.1	0.0	3.0	7.7	167.7	129.4	96.7
2013	62.4	98.0	215.6	107.8	85.5	1.8	16.4	27.5	4.6	153.3	10.9	146.9
2014	86.5	210.6	181.0	94.9	74.2	0.0	4.2	0.0	27.0	78.2	73.1	98.0

2015	202.1	46.6	207.6	32.0	65.6	0.0	6.6	0.0	16.0	23.6	101.1	52.0
2016	149.5	65.3	138.4	79.1	3.2	19.8	6.2	1.1	7.9	72.7	29.3	140.1
2017	148.0	88.5	306.1	97.1	77.6	34.3	0.0	19.7	26.0	120.7	37.4	173.0
2018	59.0	136.3	184.6	105.9	105.1	21.7	1.0	0.0	49.2	84.5	130.1	75.1

Fuente: SENAMHI

Tabla N°: 28: Datos de precipitaciones Carachugo

AÑO	PRECIPITACIÓN MENSUAL(mm)											
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1965	141.4	164.7	193.2	118.5	44.2	7.2	10.9	5.1	116	146.1	118.7	173.8
1966	115.1	145.5	144.9	102.5	64.2	18.4	3.4	8.4	55.7	158.9	136.7	120
1967	188.9	227.5	219.3	57.2	81.7	17.1	33.6	7.9	55.2	207.7	118.4	210.7
1968	118.7	164.6	184.5	44.6	34.7	7.7	5.3	21.4	127.2	137.3	51	254.9
1969	80.2	187.7	165.2	125.3	23.8	55.1	10	17.8	28.2	126.4	134.5	164.7
1970	94.4	118.2	145.9	118.2	55.4	24.6	8.3	3.8	84.1	256.9	123.6	175.6
1971	165.6	199.5	280.2	118.1	20.3	56.3	25.7	19.5	57.1	151.8	59.6	263.9
1972	93.3	179.7	224	140.8	51.6	10.7	8.6	22.4	118.6	92.1	174.3	119.4
1973	184.1	183	231.6	174.5	43.4	69.9	12.9	22.1	128	93.4	218	176.2
1974	114.9	228.2	173.7	89.3	21.1	55.9	11.7	29.2	31.4	134.5	90.9	206.2
1975	102.4	237.9	166.9	106.4	84.6	26.6	13.2	19.8	28.7	74.3	91	72.3
1976	190.9	125.2	163.3	57.6	61.8	29.6	4.9	7.7	20.7	91.1	48.6	109.8
1977	177.9	219.3	172.6	81.9	58.7	12.8	11.6	5.3	67.8	130.9	207.8	193.3
1978	67.2	99.3	76.7	77.2	91.8	6.2	6.8	6.1	68.7	83.8	128	145
1979	106.1	152.4	310.1	63.8	30.5	7.9	12.4	20.8	128.3	15.2	94.7	156.2
1980	81.6	105.1	194.7	56.6	41.1	15.7	9.4	11.5	18.5	278.7	248.3	130.1
1981	98.3	263.6	206.7	83.8	48.6	9.1	14.2	16.1	10.6	212.6	33.7	162.8
1982	95.8	169.6	170.4	142.9	63.1	12.4	7	9.7	131.7	164	282.8	205.8
1983	173.7	124.4	248.6	180.3	43.5	32.2	16.1	11	98.3	174.6	75.8	100.7
1984	64.3	302.3	226.3	145.9	91.8	48	33.4	23	79.1	225.7	189.6	178
1985	60.5	120	112.1	72.2	85.4	21.6	10.2	20.3	92.9	44.7	142.5	222.7
1986	119.9	108.2	93.1	199.4	40.5	18.9	3.8	19.3	14.1	89.3	188.8	205.7
1987	213.1	194.1	160	93.2	33.8	16.9	18.5	17.2	37	72.6	257.6	130.4
1988	231.3	156.6	118.4	141.9	35.3	16.1	3.5	5	19.6	82.9	178.2	188.1
1989	167.8	215.8	120	143.8	35.8	9.2	9	12.6	54.7	168.3	25.9	49.9
1990	65.2	114.6	124.8	75.3	62.7	44.7	2.6	8.8	145.7	234.3	328.7	128.3
1991	95.5	156.2	293.3	112.6	44.2	6.2	4.2	4.6	76.6	111.2	207.5	274.7
1992	161.4	91.2	143.9	89	34.8	57.4	11.1	11.5	124.7	183.7	117.7	259
1993	148.2	180.9	258.4	173.7	37	49	1.3	3.4	60.3	133	155	274.4
1994	240.7	252.3	230.7	226.4	62.9	15	22.1	4.6	50	108	126	169.4
1995	60.5	193	199.1	165.4	89.2	2.8	45.5	6.1	32	72.6	193.5	261.1
1996	158.5	198.6	214.6	96.3	49	58.2	1.8	26.2	38.4	176.9	35.6	49
1997	116.3	136.9	62.5	83	43.4	18.8	6.9	0.8	64	148.2	179.7	134.3
1998	101	216.6	201.4	158.8	97.4	11	1	1.2	23	186.8	138.8	44.2
1999	177	352.4	169.6	79.6	94.6	134.6	23.9	11.7	200.9	110.7	188.5	281.4
2000	87.3	257.6	206.2	92.2	83	27.6	4.2	26.4	189.6	14.8	39.4	172
2001	326.8	179	309.6	104.4	61.8	8.1	18.4	2.8	73.8	121.2	245.8	213.9
2002	63.2	150	306.4	214.2	38.4	13.8	16.4	0.8	43.2	195.2	150	246.2
2003	135.2	102.4	209.6	87.8	135.2	0.2	0	0	59.6	109.2	240.4	186.3
2004	99.3	94.2	232.9	119.6	60.9	5.8	0.3	8.6	93.2	156.1	333.2	336.3
2005	186.7	201.7	394.7	199.1	66.8	19.3	13.7	10.9	48.0	279.4	77.5	233.4
2006	105.2	258.3	327.1	157.2	13.0	58.4	11.7	3.5	34.3	130.8	190.3	339.9
2007	147.1	78.0	244.3	195.6	71.1	3.3	23.6	32.8	27.4	274.3	252.7	147.3

Fuente: SENAMHI

Tabla N°: 29. Datos de precipitaciones Cicafor

PRECIPITACIÓN MENSUAL(mm)												
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1965	80.9	61.9	114.5	82.0	6.8	1.1	6.0	1.3	39.3	85.9	61.6	69.7
1966	59.3	46.0	82.7	56.6	35.1	1.3	0.8	1.8	34.0	71.0	67.7	29.3
1967	128.5	139.3	126.3	41.6	42.3	7.1	21.5	6.5	18.9	93.7	22.1	42.9
1968	48.3	76.4	94.3	36.5	17.1	3.1	2.4	13.0	28.8	62.7	58.0	68.4
1969	54.1	74.0	107.1	88.3	4.2	9.9	0.9	11.5	20.0	68.7	97.7	110.0
1970	81.5	42.2	114.3	53.6	32.5	10.7	3.4	3.0	20.4	122.4	49.4	55.9
1971	48.5	109.1	220.6	51.5	4.5	8.7	13.5	13.8	33.8	76.1	54.4	65.3
1972	60.5	69.9	134.2	68.9	14.2	3.2	3.9	16.6	37.2	51.1	62.6	55.3
1973	88.1	66.1	115.9	91.3	28.1	15.6	7.2	14.6	50.3	49.0	61.7	74.8
1974	66.1	148.9	119.5	50.7	4.4	9.6	5.9	21.8	66.2	58.0	52.4	75.2
1975	98.4	167.7	156.5	62.4	65.3	6.9	6.6	15.4	38.2	46.2	60.6	22.2
1976	131.0	63.2	115.6	32.5	41.3	12.5	0.9	3.6	17.4	62.4	70.7	51.2
1977	117.4	131.6	127.8	39.4	23.8	7.7	7.2	0.1	15.2	49.1	50.4	62.5
1978	10.8	67.1	45.7	48.6	69.3	4.7	5.5	3.8	27.8	36.4	62.9	49.1
1979	88.3	67.2	133.7	32.2	12.1	2.9	6.1	10.9	35.1	32.8	33.5	33.5
1980	43.3	32.8	71.6	33.9	16.0	7.9	4.5	5.5	7.4	121.4	106.9	98.4
1981	39.4	170.7	87.9	29.0	9.6	7.0	10.5	9.3	10.3	83.3	44.5	84.2
1982	52.2	48.7	72.6	66.1	28.9	3.6	1.3	12.5	43.2	117.5	66.6	91.0
1983	105.7	49.8	161.6	91.6	29.5	12.8	10.6	3.5	26.3	49.7	22.1	95.9
1984	23.9	257.5	123.6	74.6	81.0	14.4	17.9	17.0	29.9	75.7	65.2	108.7
1985	26.2	53.2	38.8	55.0	36.2	3.4	1.6	15.9	35.1	43.5	25.3	44.4
1986	108.2	43.5	86.1	113.7	28.4	2.1	1.5	15.1	3.4	55.8	51.1	61.8
1987	91.0	77.0	44.1	59.4	6.9	3.0	11.8	10.5	44.5	51.7	75.5	69.9
1988	122.8	96.1	50.2	118.2	17.4	2.3	0.2	1.2	42.4	60.8	73.5	63.8
1989	83.4	147.5	117.7	84.3	20.8	9.3	3.4	5.7	31.7	67.5	46.3	15.1
1990	93.7	70.9	95.4	36.9	33.6	11.9	1.7	6.6	22.7	122.8	87.8	71.7
1991	50.9	99.0	96.7	54.2	18.9	2.7	1.1	1.6	35.0	61.8	61.8	71.3
1992	50.1	20.0	99.8	42.9	15.4	10.2	7.0	7.8	30.2	97.0	45.8	47.8
1993	56.6	114.4	194.2	103.5	26.4	5.4	3.7	3.7	48.2	66.0	76.7	80.6
1994	117.6	103.0	128.6	141.6	33.8	4.9	0.1	1.5	25.7	49.4	85.3	112.4
1995	36.0	97.1	119.9	49.4	19.8	3.4	10.4	8.9	24.9	69.5	48.7	75.1
1996	77.6	112.3	85.0	50.1	13.1	3.1	1.3	13.3	30.3	75.7	64.2	55.6
1997	73.6	155.0	57.8	49.8	16.3	8.7	1.3	1.0	30.8	87.0	99.0	80.0
1998	114.4	118.7	204.5	75.8	18.8	4.3	1.8	5.5	32.4	87.1	31.6	51.0
1999	111.9	242.2	105.2	74.8	51.6	11.0	17.7	3.3	54.0	46.0	69.9	69.5
2000	42.3	156.7	136.2	71.2	35.4	9.5	1.7	9.4	44.0	38.6	53.0	95.0
2001	196.2	84.1	194.1	55.9	46.3	3.1	10.3	2.4	21.9	72.4	93.2	85.6
2002	19.6	49.3	134.2	65.3	22.0	6.3	8.2	4.3	36.9	85.8	83.3	77.4
2003	57.8	45.0	125.5	42.9	31.2	9.2	1.6	9.7	18.4	68.1	54.3	82.3
2004	76.6	81.9	101.4	49.9	35.6	7.2	6.8	4.8	19.3	76.0	53.3	71.0
2005	86.7	72.0	108.0	66.9	29.8	5.5	4.7	10.8	15.0	92.5	53.9	97.2
2006	82.0	77.3	131.9	71.2	13.5	9.7	4.1	6.4	33.6	57.4	55.1	75.5
2007	126.2	77.4	103.9	112.0	32.7	3.6	6.8	11.0	16.3	97.6	57.3	75.8

Fuente: SENAMHI

Tabla N°: 30: Datos de precipitaciones Granja Porcon

PRECIPITACION TOTAL MENSUAL (mm)												
AÑO	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SETIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
1967	269.0	290.0	216.0	85.0	62.0	7.0	30.5	33.0	28.0	188.5	23.0	105.5
1968	102.0	154.5	168.5	82.5	22.0	3.0	11.5	37.5	117.5	158.5	123.0	173.5
1969	79.5	176.5	183.0	167.5	18.5	64.0	5.5	15.0	42.0	105.0	208.0	182.5
1970	107.0	123.5	140.5	127.0	91.0	33.5	22.5	25.0	74.0	122.5	207.0	117.5
1971	140.0	130.5	476.5	153.5	117.5	65.0	72.0	37.5	76.0	220.5	163.0	166.0
1972	104.0	150.0	257.0	149.5	55.2	14.5	0.0	S/D	S/D	30.5	174.2	119.7

1973	186.3	99.5	203.0	198.3	62.0	70.6	33.9	124.4	139.4	22.0	173.9	121.3
1974	146.8	108.7	159.7	204.4	51.0	60.0	18.0	59.0	45.0	80.1	62.5	104.0
1975	108.1	23.3	175.2	224.7	61.9	32.5	3.0	53.5	16.0	117.0	91.0	20.0
1976	189.0	135.0	185.0	61.0	58.0	30.0	0.0	12.0	27.0	62.0	26.0	79.0
1977	197.0	236.0	175.0	100.5	29.5	13.5	6.5	2.0	62.5	96.5	149.5	85.0
1978	40.0	105.5	51.5	88.5	88.2	0.0	25.8	0.0	66.9	70.4	191.0	189.5
1979	108.7	144.8	370.2	61.5	54.0	10.8	34.0	40.4	117.3	48.2	27.3	108.1
1980	70.0	37.3	166.9	69.6	73.6	11.8	0.0	5.7	2.2	247.2	221.1	161.0
1981	94.1	257.3	190.0	153.1	65.6	0.0	0.0	0.0	6.5	160.6	60.3	90.8
1982	56.8	19.2	72.2	32.6	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D
1983	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D
1984	S/D	S/D	S/D	134.0	0.0	0.0	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D
1985	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	0.0	0.0	0.0	0.9	0.6	0.8	S/D
1986	S/D	41.0	6.0	74.2	S/D	S/D	S/D	50.0	10.9	S/D	51.8	133.2
1987	S/D	S/D	126.5	S/D	S/D	0.0	S/D	0.0	S/D	S/D	161.6	S/D
1988	305.5	S/D	63.6	S/D	18.6	15.6	6.4	5.3	30.6	133.7	112.6	S/D
1989	188.7	216.8	85.0	89.9	18.5	0.0	0.0	0.0	46.5	77.0	51.5	0.0
1990	29.7	85.4	S/D	127.2	S/D	35.6	0.9	0.6	139.7	262.0	250.2	103.6
1991	91.0	S/D	509.6	248.6	287.0	6.3	S/D	S/D	78.7	S/D	211.1	S/D
1992	S/D	S/D	137.1	119.1	S/D	62.4	0.0	24.0	135.5	119.2	S/D	S/D
1993	S/D	S/D	374.3	437.8	102.7	S/D	0.0	S/D	S/D	137.5	206.2	452.6
1994	475.4	373.5	S/D	268.5	329.1	18.6	0.0	22.2	104.8	252.8	210.7	142.5
1995	139.7	228.8	217.7	127.8	112.7	12.6	S/D	48.9	54.9	96.5	125.9	243.9
1996	198.8	407.5	312.7	141.3	59.7	49.7	0.0	20.3	48.5	232.9	80.6	58.6
1997	186.9	190.3	123.2	260.0	81.0	18.5	39.0	9.9	80.5	169.2	301.6	305.1
1998	168.5	380.5	298.7	243.2	85.4	0.0	0.0	14.8	67.6	224.9	158.8	S/D
1999	210.3	494.2	253.5	126.0	166.7	53.9	20.3	6.4	228.3	65.3	138.6	166.4
2000	64.8	237.0	221.1	168.6	160.7	40.7	1.6	16.3	123.2	19.3	62.8	236.5
2001	341.1	227.7	419.2	92.6	88.7	17.6	15.2	0.4	145.2	169.5	156.1	171.8
2002	76.2	188.8	390.1	159.0	38.1	27.8	15.2	2.6	53.3	202.1	226.5	243.0
2003	103.8	134.4	124.3	81.2	76.0	54.4	28.9	15.6	47.2	101.8	112.6	100.0
2004	70.3	230.4	168.2	82.4	75.4	11.7	41.0	19.1	84.8	147.0	168.0	240.9
2005	157.8	231.2	343.3	93.1	91.6	53.7	0.0	7.1	54.4	152.8	28.6	164.8
2006	145.5	188.1	345.7	184.7	62.8	62.0	5.1	15.7	116.6	39.8	158.5	183.6
2007	246.6	64.5	352.3	226.3	57.7	1.1	42.6	20.1	32.8	171.8	211.1	170.4
2008	190.6	291.2	252.4	150.3	76.0	73.3	16.0	11.0	110.9	182.6	133.2	66.4
2009	344.8	197.5	307.3	149.6	127.4	31.3	18.1	8.0	27.0	184.0	187.9	234.8
2010	108.0	169.7	275.7	163.5	83.1	39.4	44.3	33.6	31.2	82.7	96.5	182.6
2011	257.0	148.9	284.6	269.4	21.2	8.5	13.7	4.8	55.4	84.5	93.0	265.4
2012	325.9	320.0	155.7	210.7	109.6	32.4	0.0	45.8	33.7	137.7	202.5	67.6
2013	141.0	279.9	352.4	196.2	193.4	32.8	17.7	33.8	30.4	174.5	28.0	238.5
2014	137.4	189.9	228.0	103.4	79.3	5.1	9.6	10.5	65.8	97.4	91.4	209.3
2015	370.6	159.6	286.4	108.9	158.4	1.7	9.7	0.4	24.6	88.4	126.3	107.8
2016	166.5	133.4	163.5	137.1	36.8	44.9	1.1	0.0	45.7	146.9	41.4	172.9
2017	156.0	235.8	367.0	133.3	170.7	43.9	1.2	49.9	51.7	146.8	37.7	228.9
2018	262.5	198.3	201.7	153.0	111.3	8.2	0.0	2.5	59.0	157.1	152.9	162.3

Fuente: SENAMHI

Tabla N°: 31. : Datos de precipitaciones Huacataz

PRECIPITACIÓN MENSUAL(mm)												
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1965	103.3	93.7	149.1	107.5	23.3	5	8.8	5.9	38.8	113.2	144.8	91.9
1966	87.1	53.1	115.6	72.3	54.8	6.4	4.7	5.1	50.5	125.4	93.3	78.2
1967	149.9	164.3	148.4	59.1	66.8	7.6	23.1	11.2	33	115.2	47.5	73.9
1968	80.9	87.5	127.2	51.6	27.4	8.9	6.6	32.3	48	74.8	117.5	129.5
1969	54.6	77.7	152.9	92.5	16.1	17.2	4.9	17.9	44.3	83.1	137.9	181.3
1970	87	43.1	133.7	86.5	49.6	14.6	8.3	5.4	34.8	148.4	120.9	99.6
1971	67	122.1	327.9	72.3	21.5	11.8	17.6	26.9	41.5	90.3	101.8	98.7
1972	69.5	92.6	143.5	91.4	21.4	10.9	6.2	33.8	38.7	75	128.5	113.4

1973	128.7	97.4	156.8	104.8	26	22.4	9.8	26.9	63.5	73.9	128.7	96.7
1974	91.2	172.6	160.5	83.2	12.2	17.3	10.9	42.3	91.3	87.6	46.3	111.8
1975	133.4	179.4	194.8	100.2	63.8	7.7	9.5	28.9	53.6	70.5	108.9	34.2
1976	172.6	93.6	141.9	57.4	57.3	16.9	1.4	4.9	20.8	75.3	49	72.4
1977	226.2	184.9	179.3	55.3	96.4	12	11.4	2.2	22.2	68.8	70.5	81.5
1978	28.1	68.8	93.5	81.7	75.1	8.4	15.2	3.1	27.2	59.9	89.4	62.3
1979	88	102.8	209.2	60.9	25.6	0.1	17.1	31.9	48.8	14.2	33.2	54.6
1980	53	48.8	97.1	48.2	10.2	9	1.3	8.5	15.3	147.6	201.4	81.5
1981	72.3	222.6	86.8	46.3	25.6	27.3	15.4	9.6	10	95.3	101.4	113.7
1982	77	101.9	113.2	69.1	32	11.4	1.4	0.2	74.6	162.8	91.1	170.5
1983	131.3	51	196	159.3	33.4	9.2	5.9	3.2	28.6	84.3	76.8	143.1
1984	72.2	332.8	168.6	115.2	85.4	21.1	15.8	29.8	39.9	124.6	92.8	90.8
1985	80.9	48.9	59.4	60.3	43.9	0.7	3	23.5	60.9	76.4	58	113.1
1986	108.9	89.6	87.6	91.2	28.1	0.2	2.5	30.8	9.9	124.6	92.8	90.8
1987	144.4	95.5	74.5	97.3	32.3	4.7	14.1	26.7	62.3	77	86.8	72.1
1988	131.1	124.6	107	110.2	26.7	6.8	4.7	2.4	45	80	82.8	119.2
1989	120.5	181.6	138.1	109.2	23	12.6	5.9	8.8	46.7	82.8	76.5	81.1
1990	134.3	91.3	126	52.1	39.4	21.1	6.6	11.2	28.6	137.6	140.3	112.4
1991	67.4	100.2	132.8	72.5	22.7	8.3	5.3	1.4	58.2	79.7	143.2	124.5
1992	66	45.4	119.6	49.1	31.5	15.6	9.6	21.4	35.1	104.5	70.6	79.2
1993	84.9	117.9	240.3	114.5	34.6	4.3	9.8	3.3	69.2	93.5	150.5	135.9
1994	139.5	114.2	160.1	163.3	36.7	9.8	2.4	1.4	34.1	63.7	133	170.6
1995	66.7	123.4	147.1	86.5	36.2	10.2	13.1	14	37.7	82.4	91.4	131.8
1996	89.7	125.9	147.4	92.9	26.3	9	5.8	22.6	37.6	81.9	70.2	87
1997	87.8	167.5	50.2	72.4	29	16.9	5.8	1.6	43.8	111.1	192.4	157.6
1998	120.5	135.1	263	108.7	22.6	8.5	5.3	8.6	28.1	121.3	122.1	80.7
1999	138.5	265.5	129.2	97.8	62.5	17	20.1	0.6	82.5	64.8	109	99.9
2000	67.5	182.2	122.1	105.9	55.2	14.3	3.3	17.7	75.3	61	80.2	153.4
2001	225.6	105.2	226.9	89.2	58.5	5.8	10.3	4.1	30.3	94.4	103.6	110.6
2002	36.8	83.6	133.1	103.7	37.6	6.5	10.5	9.2	68.7	110	164.3	120.1
2003	61.9	91.9	91.7	56.5	31.9	19.1	2.9	18.3	26.2	82.1	119.4	132.3
2004	97.8	129.5	133.7	76.0	41.0	11.4	9.2	7.9	32.8	93.0	104.6	131.8
2005	132.1	107.3	146.9	86.5	45.8	11.1	7.6	18.3	25.2	131.6	50.4	158.8
2006	99.8	105.9	173.0	89.9	19.0	20.2	8.2	9.9	61.4	87.6	101.5	139.0
2007	125.7	79.4	139.0	111.5	32.1	5.5	10.1	18.3	39.9	108.1	155.5	93.2

Fuente: SENAMHI

Tabla N°: 32.: Datos de precipitaciones Jesus

PRECIPITACION TOTAL MENSUAL (mm)												
AÑO	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SETIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
1994	S/D	137.7	225.6	S/D	26.2	5.7	0.3	0.0	13.2	S/D	S/D	129.1
1995	37.3	114.0	70.9	57.4	20.4	3.5	5.2	8.8	7.7	74.1	S/D	89.8
1996	76.8	112.0	142.0	97.2	18.2	7.0	0.5	12.1	18.2	78.8	45.5	S/D
1997	75.6	125.1	30.9	71.2	16.0	8.2	0.6	1.2	31.3	72.4	102.2	153.9
1998	137.4	144.2	165.2	91.0	18.2	2.8	0.0	2.2	20.0	64.7	37.1	72.7
1999	97.3	252.4	93.7	57.6	47.7	25.4	2.0	7.6	75.6	23.3	65.3	77.4
2000	50.1	145.3	137.9	53.4	50.8	19.2	3.7	21.6	36.9	6.3	41.0	137.9
2001	231.5	115.0	236.8	27.5	40.3	5.4	3.7	0.3	29.9	99.3	81.9	106.8
2002	36.7	59.6	182.5	68.1	17.7	3.8	7.6	0.0	25.0	135.2	82.3	97.8
2003	46.1	62.1	104.5	36.9	S/D	21.3	3.1	8.4	7.4	62.7	95.0	64.3
2004	66.4	66.7	49.8	39.7	56.4	20.7	7.5	4.7	18.4	64.2	79.0	100.1
2005	92.2	S/D	S/D	33.0	6.0	4.7	0.3	5.4	15.0	87.1	16.2	90.9
2006	93.8	S/D	S/D	71.4	6.4	30.6	1.1	3.9	S/D	19.2	74.9	106.5
2007	83.4	20.3	209.9	112.4	18.3	0.4	7.9	7.6	10.9	116.8	86.8	73.4
2008	92.9	154.9	147.3	73.8	7.0	16.2	1.9	6.8	32.1	105.4	62.8	S/D
2009	206.8	97.6	140.4	99.5	43.2	18.6	14.1	13.9	7.9	80.4	72.9	101.1
2010	70.9	110.4	116.2	45.8	28.4	12.4	10.0	0.2	25.8	41.2	64.0	42.1
2011	80.3	65.0	138.9	113.0	6.0	0.0	6.7	0.8	35.5	34.2	43.3	139.4
2012	154.9	125.4	68.3	60.6	40.7	13.1	0.0	2.7	8.8	130.1	57.2	64.2

2013	85.2	124.2	207.5	47.6	58.4	0.4	0.0	11.6	3.2	91.8	7.9	81.0
2014	78.9	69.8	124.2	64.0	54.5	10.8	5.8	0.0	14.6	33.7	43.6	81.8
2015	167.3	57.9	190.4	38.5	71.9	0.0	2.0	0.5	14.5	19.5	97.9	58.9
2016	81.9	71.0	55.8	37.4	4.0	5.6	0.1	0.4	19.8	47.5	20.7	126.3
2017	113.4	43.2	203.0	96.8	33.6	34.5	0.0	21.1	13.3	78.6	34.2	108.0
2018	59.9	101.6	110.8	62.2	60.1	2.6	0.0	0.0	22.6	67.0	100.7	79.4

Fuente: SENAMHI

Tabla N°: 33. *Datos de precipitaciones La Encañada*

PRECIPITACION TOTAL MENSUAL (mm)												
AÑO	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SETIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
1997	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	81.1	182.5	148.1
1998	102.2	196.0	223.3	181.7	71.5	6.2	0.5	8.4	36.3	132.7	40.4	86.6
1999	115.3	294.8	108.7	99.7	102.8	62.9	11.0	9.3	132.8	30.3	125.3	143.4
2000	46.9	155.9	184.7	106.7	89.7	18.2	0.9	20.0	88.1	4.7	50.4	117.4
2001	238.0	72.4	203.8	105.1	60.7	0.5	2.7	0.8	30.9	129.3	101.8	86.4
2002	42.9	89.4	241.1	117.7	12.6	14.1	4.4	1.1	22.3	S/D	S/D	S/D
2003	33.1	80.6	145.5	93.0	37.8	38.3	0.0	9.9	41.9	93.8	124.4	85.0
2004	95.4	72.5	54.6	91.1	39.8	5.8	21.7	0.5	44.2	173.2	108.5	171.2
2005	119.6	107.1	260.8	51.2	42.0	12.4	1.2	7.0	13.4	205.5	38.2	145.4
2006	74.6	134.7	292.1	124.5	14.8	41.8	11.4	4.9	65.4	61.2	106.9	91.7
2007	105.2	44.8	260.4	140.5	70.9	0.0	9.4	5.3	26.4	138.0	127.5	98.1
2008	104.1	149.0	175.9	151.5	44.0	15.2	9.2	22.6	53.7	140.9	119.7	37.7
2009	222.7	70.9	215.2	122.8	75.2	9.3	12.5	10.5	6.8	90.0	115.3	66.6
2010	70.0	94.8	184.3	123.0	39.8	11.8	7.7	0.0	35.7	100.0	98.9	94.0
2011	66.4	96.8	153.6	139.6	32.9	0.4	13.1	0.0	51.2	47.9	93.8	149.5
2012	166.1	101.5	108.0	108.3	59.7	10.6	0.0	7.7	1.5	169.6	153.0	56.0
2013	44.5	96.9	181.5	39.4	114.7	11.2	3.6	19.1	0.0	157.0	39.5	94.5
2014	90.3	138.9	175.4	95.3	79.8	0.0	0.3	0.6	44.1	91.9	100.1	135.9
2015	188.3	71.4	260.7	70.4	104.1	3.3	5.3	0.0	3.0	27.8	170.5	23.2
2016	138.7	95.2	125.2	72.3	3.2	23.1	0.8	0.6	61.7	85.1	8.2	197.1
2017	105.9	101.1	276.2	93.2	69.6	18.4	3.2	27.7	13.8	103.3	41.6	130.8
2018	98.3	187.0	76.8	146.1	144.9	6.3	0.0	0.0	56.3	107.5	207.2	52.6

Fuente: SENAMHI

Tabla N°: 34. : *Datos de precipitaciones Maqui Maqui*

PRECIPITACIÓN MENSUAL(mm)												
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1965	87.7	125.8	145.7	79.3	34.8	7.5	11.2	7.7	96.4	119.2	102.1	144.8
1966	84.2	138.7	98.6	68.8	57.2	5.4	8.9	10.5	76.8	133.2	127.9	131.5
1967	122.3	217.3	192.8	69.8	51.4	6.1	14.1	10.7	16.9	182.8	149.6	169.3
1968	88.4	146.5	148.9	65.1	26.1	5.6	13.9	21.7	90.4	113.7	75.5	238.2
1969	66.9	172.3	157.5	102.8	33.1	58	6.2	15.9	39.7	127.6	130.1	159.7
1970	109.6	103.5	154.6	84.5	63.4	24	12.9	6.6	40.8	233.2	104	114.3
1971	129.2	189.9	311.1	97.9	76.4	48.7	29.9	20.1	41.6	124.9	78.4	223.9
1972	102.5	153.9	200.9	92.7	36.9	14.1	2.9	18.3	71.9	63.8	146	111.1
1973	150	144.9	213	155.3	43.6	40.6	11.4	22	108.9	65.4	149.5	185.2
1974	77.9	196.5	154.9	115.2	34.3	32.8	13.1	28.2	36.4	107.2	91.2	172.7
1975	95	189.4	135.8	121.8	43.3	12.9	5	20.1	17.9	74.2	113.1	79
1976	155.8	130.2	150.8	78.7	66.2	21.9	7.1	9.4	15.4	62.8	64.1	107
1977	155.2	155.7	146.7	71.5	36.5	13.2	11.7	6	56.4	109.3	173.8	172.3
1978	59	88.4	84.3	71.4	54.7	11.4	16.7	7	49.5	55.4	151.2	126.2
1979	106.5	157.4	244.7	101.3	52.1	11.4	20.3	18.3	91.6	33.4	86.7	159.9
1980	69.9	79	162.1	51.8	66.5	5.7	4.4	13.2	22	284.9	197	106.9
1981	93.9	224.6	155.5	98.8	44.8	3.4	4.1	18	17.2	197.1	54.2	137.7
1982	108.3	152.7	133.7	128.7	36.2	19.7	10.7	11.4	105.6	137.4	212.4	164.6
1983	161.3	104	194.2	148.8	42.1	19.7	13.1	12.5	76.9	151.8	107	116.1

1984	88.9	278.3	157.2	106.3	50.1	31.2	7.4	23.4	45.1	199.7	169.9	187.2
1985	51.6	88.7	101.6	56.5	76.3	31.1	18.1	21	67.2	43.9	87.5	163.4
1986	90.8	102.8	127.3	133.4	79.9	18.5	7.2	19.6	15	89.1	130	156.3
1987	179.6	139.8	138.4	72	47	11.7	13.9	18.1	53.3	66.3	146.2	127.5
1988	145.3	159.5	132.4	113.6	21.7	9.4	6.2	7.3	28.4	87.1	138.3	184.2
1989	113.9	188.2	131.7	127.1	20.1	11.1	5.3	16.6	49.8	141.5	88.4	53.3
1990	65.1	111.7	128.5	64.9	24.1	28.7	10.2	10.9	100.2	210.1	178.4	140.6
1991	63.6	135.1	267.3	93.9	105.3	13.5	2.3	9.4	69.6	82.3	135.7	210.3
1992	124.7	92.5	149.3	82.5	38.3	56.8	5.9	16.9	99.5	186.3	95.8	200.3
1993	105.8	162	220.8	111.8	37.4	18	11.3	5.1	70.7	109.1	115	244.4
1994	160.7	224.6	173.5	152.8	137.5	23	8.6	6.3	80.5	98.2	135.7	167.7
1995	20.6	145	154.6	84.5	72.5	14.2	3.9	3.6	22.2	70.4	156.2	168.9
1996	79	155.2	184.9	97.8	55.1	22.9	2.8	10.4	29.1	146.3	55.4	83.3
1997	94.2	125.2	74.9	63.5	25.1	9.4	6.1	2.3	25.9	89.7	136.4	118.6
1998	57.4	192.5	161	119.4	93.4	5.8	0.4	1.6	18	155.4	160.8	47.4
1999	162.4	315.2	137.4	69.6	101.4	93.2	17	7.2	123.6	58	110.2	238
2000	86.4	226.2	196.2	97.6	68.4	26.4	5	35.8	136.4	9.6	55.2	147.8
2001	243.2	148.8	257.4	99.6	65.4	6.8	12.8	3.4	72	124.6	170.4	193.6
2002	53	106.6	193	168.6	35.2	15.8	18.4	3.3	40.8	195.6	134	207.2
2003	92.4	101.6	113.8	25.6	9.4	13.2	4.4	4.4	13.4	18	22.4	118.7
2004	95.7	67.1	110.0	71.5	21.6	7.4	22.1	8.7	55.6	115.6	187.0	203.0
2005	116.3	140.2	325.7	122.9	30.5	17.5	11.4	17.8	36.8	292.4	73.9	229.4
2006	91.4	257.3	270.8	122.4	21.6	58.7	9.7	22.6	33.0	140.0	168.9	276.6
2007	120.1	72.4	236.2	137.4	67.3	6.3	51.0	37.1	33.2	234.0	194.8	108.2

Fuente: SENAMHI

Tabla N°: 35.: Datos de precipitaciones Namora

PRECIPITACION TOTAL MENSUAL (mm)												
AÑO	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
1965	45.4	67.2	130.2	70.5	27.6	0.8	4.7	7.9	45.7	103.8	51.1	85.4
1966	39.0	35.2	24.7	29.2	42.7	S/D	14.2	0.5	41.7	101.8	43.3	14.5
1967	137.1	149.0	111.5	39.1	30.0	4.7	8.2	6.3	15.5	132.5	52.3	49.1
1968	67.8	68.7	33.9	26.5	34.2	0.3	1.7	17.2	39.8	81.0	12.2	65.9
1969	21.0	137.0	90.4	83.4	13.5	16.7	3.6	17.1	28.0	69.5	57.5	80.0
1970	56.2	23.3	53.7	52.2	34.1	23.3	8.0	0.0	21.3	S/D	52.6	94.0
1971	31.0	35.8	132.6	7.4	12.5	11.1	19.4	13.3	31.6	84.9	24.5	73.1
1972	9.1	27.5	105.0	117.0	25.3	4.8	2.6	6.1	38.8	55.4	54.6	71.5
1973	120.1	82.3	54.3	161.1	5.1	45.2	2.1	2.4	76.4	50.8	99.2	84.7
1974	102.1	103.1	72.0	24.3	5.1	16.5	0.0	39.4	102.9	74.1	33.8	39.7
1975	80.4	99.1	225.5	59.1	67.8	0.0	23.7	17.6	38.7	44.3	53.4	7.2
1976	90.1	170.6	56.5	59.1	43.9	8.0	1.1	6.3	5.0	53.9	22.3	106.1
1977	133.0	168.0	114.1	30.1	18.1	15.5	2.9	0.0	28.2	57.4	79.5	103.7
1978	23.6	73.9	40.3	79.5	S/D	4.1	24.3	4.0	24.7	46.3	47.0	101.9
1979	69.3	167.3	115.8	45.0	20.4	1.3	18.0	23.1	35.4	10.7	37.1	54.1
1980	38.8	17.2	124.7	30.7	30.0	3.1	0.0	8.1	4.5	238.4	149.6	22.8
1981	107.4	156.0	29.0	19.9	41.0	S/D	0.0	23.6	14.1	122.6	19.8	94.7
1982	78.2	23.7	77.0	60.1	45.6	0.0	9.9	0.0	70.8	143.0	154.9	157.3
1983	176.9	41.1	138.0	196.9	65.0	32.7	7.5	15.0	0.0	101.1	28.6	37.1
1984	9.8	225.5	75.6	93.9	38.6	9.7	14.9	16.6	0.0	155.1	82.9	43.9
1985	24.9	46.9	48.5	192.3	38.1	8.2	51.1	19.6	30.0	23.2	40.7	86.0
1986	124.3	63.4	85.8	141.4	36.8	0.0	2.5	7.1	3.9	51.9	78.5	88.9
1987	S/D	124.9	86.6	91.5	16.3	4.6	10.7	12.7	52.4	S/D	S/D	S/D
1988	150.5	106.2	52.5	160.3	11.4	6.3	0.0	0.0	26.9	63.9	86.6	S/D
1989	S/D	144.2	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	36.5	S/D	S/D	S/D
1990	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D
1991	38.5	99.9	S/D	48.2	43.6	2.3	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D
1992	S/D	S/D	S/D	S/D	22.4	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	44.0
1993	94.9	176.5	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	136.0
1994	S/D	S/D	262.6	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	50.8	62.0	110.5

1995	S/D	131.9	S/D	47.6	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	68.6	S/D	121.9
1996	S/D	181.3	251.7	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	91.0	S/D	S/D
1997	S/D	S/D	S/D	78.4	S/D	S/D	S/D	0.9	22.6	S/D	106.4	S/D
1998	160.6	202.0	204.0	153.0	34.4	1.1	0.0	2.6	21.6	110.2	66.1	72.9
1999	115.9	308.7	114.5	56.8	77.8	44.7	6.6	1.0	88.2	32.0	71.2	95.9
2000	46.0	173.9	194.8	97.2	139.3	12.4	1.8	23.7	73.5	24.7	65.8	157.9
2001	258.3	109.3	238.5	52.9	61.7	0.4	2.9	0.0	24.6	91.8	106.5	125.0
2002	59.0	118.1	235.4	102.9	23.3	5.8	13.9	7.0	55.1	116.2	87.9	153.7
2003	46.2	110.5	119.8	87.3	23.5	19.1	3.1	10.1	16.3	67.9	111.4	93.6
2004	68.3	102.0	75.7	37.8	40.4	5.1	14.1	6.2	18.8	91.5	83.9	134.2
2005	126.9	73.1	205.8	81.3	22.1	1.0	1.4	5.6	9.2	126.3	13.9	153.5
2006	91.6	92.1	253.6	93.1	8.0	40.7	2.9	11.5	47.9	53.4	80.4	124.2
2007	188.1	34.2	246.5	127.0	50.4	0.0	6.4	6.9	22.2	142.4	153.3	109.5
2008	124.5	176.0	151.9	104.2	32.3	31.1	1.9	9.5	52.3	141.3	83.0	38.4
2009	249.5	117.0	192.8	127.9	59.5	17.9	6.9	7.8	10.8	116.2	121.5	133.8
2010	68.6	116.7	175.5	68.9	24.2	20.2	9.9	0.0	30.2	49.1	86.8	122.4
2011	122.3	108.9	150.5	171.4	4.6	0.3	10.4	1.3	33.8	28.0	59.0	146.2
2012	222.7	127.7	118.7	121.1	34.3	7.7	0.0	5.0	4.6	149.3	109.0	50.8
2013	61.3	106.9	280.5	89.0	88.2	0.4	0.7	19.9	1.9	85.1	29.9	113.5
2014	98.3	112.8	176.6	63.3	89.2	1.3	4.3	0.0	22.9	49.7	76.8	153.8
2015	223.3	92.3	239.7	70.7	141.7	0.2	3.5	0.2	2.9	23.3	124.0	60.5
2016	94.7	149.6	79.9	117.6	25.4	16.6	0.8	3.5	28.9	53.1	16.7	160.3
2017	143.7	35.3	240.7	103.4	75.7	25.5	0.0	18.2	24.8	91.6	42.5	139.6
2018	110.2	140.0	115.8	86.6	94.7	6.8	0.0	2.8	29.5	82.4	159.3	84.2

Fuente: SENAMHI

Tabla N°: 36. : Datos de precipitaciones Negritos

PRECIPITACIÓN MENSUAL(mm)

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1965	135	117.7	177.9	122.6	74.5	13	14.5	4.3	63.3	128.8	127.1	119.2
1966	99.6	55.5	141.3	98.3	85.7	14.6	1	15.6	58.6	130.6	98.4	70.6
1967	167.4	160.3	171	84.4	93.6	10.4	59.8	5.2	26.5	109.1	74.8	65
1968	90.7	80.1	142.6	90.8	77.3	13.6	3.2	52.4	51.6	97.3	126.3	175.8
1969	67.8	105.5	158.6	111.6	63.1	30.2	1.6	39.9	36.2	92.9	135.3	232.7
1970	117.1	83.8	148	134.7	78.3	16.5	3.3	9.8	51.7	168.5	128.4	99.7
1971	104	137.4	292.9	107	59.9	16.5	35.6	32.1	58.2	121.6	106.8	118
1972	98.7	108.9	151.7	119.3	59.2	12.5	7.8	46	92.8	111.8	118.5	78.4
1973	155.7	97.2	178.8	133.5	67.1	13.9	18.6	40.2	99.6	99.3	117.3	149.3
1974	100.7	167.3	143.6	112.5	55.5	13.5	23.5	50	34.1	122.3	62.6	105.8
1975	106.4	163.6	181.5	128.8	89.5	18.2	21.4	36	24.4	105.5	121.2	26
1976	190.3	99.2	136.5	81.1	90.6	20.5	2.8	8.5	26	97.9	74.2	91
1977	224.3	187.3	186.2	70.7	107.6	31.8	31.2	23	40.9	82.8	84.4	99.4
1978	37.1	61.5	77.6	64.4	96.5	27.2	27.8	27.1	49.6	50.2	83.5	73.2
1979	91.6	43.1	148.4	90.7	77.9	4.4	24.3	95.5	148.3	38.1	46.7	45.6
1980	108.2	76.5	125.6	111.7	56.1	15.8	0.8	16.9	54.7	189.7	150.9	76.2
1981	32.6	156.6	113	115.3	60.1	22.8	10	14.1	7.9	180.5	106.1	201.8
1982	68.4	109.4	105.3	117.5	95.4	5.8	6.7	0.1	64.1	127.7	127.6	165.2
1983	123.1	27.4	260.4	165.4	91.1	4.5	12.3	14.5	25.3	131.3	57.4	242.2
1984	132.6	306.7	171.8	162.1	84.2	25.6	53.7	69.8	25.9	170.1	60	175.5
1985	84.5	79.3	157.8	80	72.6	14.5	0	23.2	43.6	38.4	106.3	118.8
1986	37.9	45.1	82.6	175.6	43.8	25.6	2.3	62.8	9.8	149.7	141.4	141.1
1987	158.8	118.6	123.2	143.6	72.7	19.8	26.8	57.3	30.7	133.7	126.7	83.3
1988	118.5	110.4	112	154.4	69.9	12.7	2	17.6	27.6	110.9	96.4	115.9
1989	105.8	159.7	144.2	144.9	65.6	9.7	3	24.9	48.1	92.6	117.7	51.6
1990	114.2	82.4	126	78.7	69.5	13.2	1.5	16.5	98.7	158	113.6	121.6
1991	74.4	77.7	129	99.6	60.8	10.6	1.8	2.1	51.9	89.4	125.4	155
1992	73.9	40.5	136.4	74.6	64.3	22.4	10.2	25.7	93.7	126.1	87	69.1
1993	90.1	111	216.1	125.7	74.2	23.5	5.6	9	54.6	118.5	130.3	180.9
1994	166	117.9	162.7	177.8	76.6	14.6	2.5	16.4	64	59.4	120.7	227

1995	74.5	105.9	157.8	106.2	72	8.7	30.7	7.5	42.1	92	98.5	120
1996	112.3	107	162.2	122.9	67.3	26.3	2.1	38.7	39.2	117	119.2	64.4
1997	107.1	176.6	91.9	86.8	62.8	12.9	1	7.8	50	121.2	164.2	250.3
1998	148.7	135.3	226.2	136.2	57.2	16.5	1.8	10.8	47.9	145.4	115.4	114.7
1999	135.9	236.4	126.7	106.7	84.3	25.3	45	26.1	116.7	87.7	133.8	132.8
2000	89.7	165.7	133.6	115.9	80.9	24.5	2.5	75.9	73.2	71.3	91.6	235.7
2001	243	110.6	230	99.9	77.8	15.2	32.4	8	79.9	116.1	135.1	135.9
2002	46.8	68.9	146.5	121.7	63.7	14.5	23.7	2.8	41	103.6	137.9	119.9
2003	67.2	100.1	106.2	70.5	70.1	9.7	3.8	3.2	64.4	79.9	108.4	148.2
2004	93.8	104.4	128.4	92.6	74.8	9.7	19.1	18.2	52.0	117.6	92.5	121.3
2005	129.2	102.4	149.9	110.5	72.4	16.4	13.8	12.3	41.6	156.4	76.4	200.1
2006	102.8	91.4	155.0	120.8	64.4	13.5	5.4	3.7	82.6	112.2	121.3	109.1
2007	139.8	69.0	145.2	155.2	64.2	10.6	20.6	63.5	49.1	156.8	160.6	103.2

Fuente: SENAMHI

Tabla N°: 37.: Datos de precipitaciones Quinua

PRECIPITACIÓN MENSUAL(mm)

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1965	164.3	127.6	168.5	107	62.1	14.6	9.4	6.9	85.3	154.7	162.8	150.8
1966	94.1	148.7	82.4	83.9	70.8	19.5	11.3	5.1	87	160.2	165.2	114.3
1967	183.5	216.4	255	67.2	77.2	20.5	10.1	4.5	39	198.8	189.4	176.1
1968	110.6	153.6	158.5	94.9	71.7	14.8	7.4	19.2	133.8	165.1	101.1	196.2
1969	87.9	149.8	172.9	129.3	75.2	38.9	7.8	22.6	66.1	156.2	165.7	196.4
1970	123.4	135.2	122.5	98.9	96.7	22.4	8.5	3.8	74.3	233.9	170.7	154.3
1971	151.6	211.6	298.3	94.9	105.5	42.8	31.5	20.9	99	132.1	107.9	238.2
1972	110.5	168.2	217.8	111.2	58.9	16.1	3.4	19.3	130.9	75.5	223.2	113.3
1973	161.7	150.8	194.3	174.9	67.4	49	13.4	21.4	152	81.5	218.9	199
1974	88	171.3	135.1	124.5	62.2	36.7	10.2	22.8	59.3	152.3	119.7	157.5
1975	98.6	170.3	168.6	143.1	65	23.3	3.1	16.7	46.7	114.7	196	123.8
1976	198.4	118.1	186.8	108.1	84.6	26	4.3	5.2	76	95.8	87.8	164.5
1977	167.1	162.8	235	146.2	69.6	15	8.8	2.8	85	153.8	217.3	136.4
1978	64.5	111.7	120.5	85.1	67.7	11.6	12.7	8.4	95.7	88.5	220.8	129.6
1979	105.5	152	299.8	85.5	61.2	14.8	13.1	16.7	118.5	68.1	132.5	121
1980	103	106.9	218.2	69.5	67.9	18.1	3.9	14.5	53.6	231.3	244.6	137.8
1981	82.5	210.9	260.7	67.9	90.3	15.4	6.9	15.5	51.3	182.3	77.7	195.2
1982	104.3	127.4	258.8	154.6	74.1	16.8	11.8	11.5	122.2	177.0	240.8	196.0
1983	201.8	126.0	340.3	205.7	75.8	25.9	8.9	10.4	93.3	156.6	156.3	95.9
1984	96.9	226.2	275.2	131.9	83.1	33.1	4.5	18.3	95.8	218.7	216.5	148.1
1985	81.1	106.0	101.3	97.4	89.6	21.1	14.1	17.7	101.6	77.8	101.9	223.6
1986	123.2	113.2	132.8	180.9	91.4	19.8	6.6	19.5	50.4	117.6	194.9	175.6
1987	208.6	166.4	183.7	125.9	75	18.9	12.1	11.2	65.3	91.7	189.1	120.8
1988	199.9	122.7	138.2	177.8	56.5	15.2	5.3	7.2	60.2	108.9	176.4	133.2
1989	129.3	172.2	133.9	168.2	61.6	12.1	5.8	5.3	98.4	164.1	102.9	72
1990	77.3	116.7	141.7	96.6	63.5	34.8	7.8	12.2	83.8	214.8	225	168.6
1991	62.2	159.2	253.4	96.2	118	10.8	2.9	9	110.8	152.4	173.4	180.1
1992	152.9	124.5	155.9	118.7	61.4	37.4	3.5	5.3	114.2	238.8	125.9	183.1
1993	93	163.6	229.8	149.6	60.9	33.5	6.4	8.3	104.8	182.1	148.4	167.2
1994	174.3	251.9	172.3	222.6	133.6	14.8	4.6	2.3	70.6	132.3	172.1	148.8
1995	57	202.2	181.1	122.2	110.5	10.9	8.9	7.7	89.5	107.3	230.9	224
1996	129.1	140.5	222.6	88.8	86.3	37.7	4.9	19.8	40.1	179.3	63.9	88.7
1997	89.5	109.7	169.9	103.2	71.4	16.5	14.6	4.6	67.5	117.5	157.1	147.2
1998	62.9	198.3	137.6	99.2	105	12.9	2.2	5.4	58.5	200.2	167.1	53.2
1999	21.6	300	128.6	74	102	73.4	21.8	32.4	147.4	84	192.9	194.8
2000	57.2	199.7	254	105.8	95.1	30.2	1.6	14.8	155.6	23.4	60.4	194.1
2001	348.2	149.6	476.7	149.1	113	20.3	41.9	1.1	100.6	129	265.2	222.3
2002	120.4	130.6	305	235.5	63.5	16.3	20.8	0	75.7	199.7	104.7	189.5
2003	105.4	93.7	89.4	100.6	41.9	3.6	0	0	46	81.9	79.8	113.8
2004	79.8	166.9	199.9	180.6	112.3	19.3	25.7	14	122.2	224.3	248.7	360.9
2005	87.9	217.1	296.2	76.4	66.8	37.1	0.8	13.7	26.4	321.8	66.8	169.4

2006	73.4	194.6	363	136.7	47.8	32.5	9.9	29.2	66.8	116.3	168.9	141
2007	156.7	66.5	269.7	170.7	63.5	3.6	49.3	12.7	35.8	229.1	259.8	103.6

Fuente: SENAMHI

Tabla N°: 38. : Datos de precipitaciones San Marcos

PRECIPITACION TOTAL MENSUAL (mm)												
AÑO	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SETIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
1965	S/D	44.0	247.3	102.0	S/D	S/D	S/D	0.0	103.4	78.0	69.3	89.5
1966	105.9	33.0	102.9	7.0	12.2	1.8	9.2	0.0	0.0	108.1	57.6	38.2
1967	82.3	136.6	102.1	42.4	6.6	5.7	19.6	0.4	13.6	108.6	22.3	38.8
1968	33.3	115.6	96.6	36.5	17.9	0.0	0.8	9.1	54.0	98.4	20.6	65.1
1969	37.9	111.6	85.7	83.5	0.0	14.8	0.0	1.8	30.2	68.8	136.5	106.9
1970	S/D	37.2	82.8	88.9	24.4	18.9	3.4	3.6	29.9	119.2	105.1	79.3
1971	75.2	167.1	208.9	98.8	25.3	17.2	7.2	0.8	9.2	72.0	69.3	82.5
1972	56.9	63.0	218.0	182.8	17.6	6.9	0.0	24.7	32.7	28.4	54.6	S/D
1973	169.9	78.5	136.7	213.0	35.6	23.6	5.8	5.6	S/D	108.8	64.1	100.1
1974	71.4	128.1	190.8	37.9	0.0	26.2	0.0	0.0	37.6	51.2	46.2	19.8
1975	S/D	176.0	194.5	116.3	28.5	14.1	14.1	11.4	54.1	65.7	31.1	14.8
1976	160.7	61.4	127.7	39.4	52.2	0.0	0.0	0.0	0.0	59.6	25.5	59.9
1977	160.6	96.2	S/D	S/D	7.2	1.9	3.0	2.3	40.0	42.5	79.8	69.2
1978	20.1	92.9	47.4	26.0	21.5	0.0	6.7	0.0	20.2	64.9	80.2	44.1
1979	49.9	104.2	170.3	56.0	39.4	0.0	3.8	18.4	67.4	0.0	57.1	44.3
1980	23.6	35.9	82.2	27.1	9.1	0.0	0.0	3.8	1.5	115.1	135.5	142.5
1981	76.7	209.1	155.4	33.7	37.5	16.6	0.0	10.5	12.6	73.4	150.0	91.8
1982	64.3	86.4	78.1	30.2	26.0	0.3	0.0	0.0	59.7	133.2	71.0	154.6
1983	134.2	21.5	161.6	100.7	37.9	0.0	5.6	1.9	27.8	44.2	32.6	109.0
1984	79.4	344.3	198.4	57.8	63.9	2.0	14.5	12.6	19.8	47.3	59.5	51.8
1985	46.5	30.7	115.2	17.1	19.7	0.0	1.3	12.9	18.1	34.1	32.6	86.3
1986	94.8	65.3	68.6	102.7	25.7	9.0	1.2	24.3	1.2	16.0	64.1	63.5
1987	92.9	74.0	85.1	97.8	5.6	2.7	5.2	3.8	42.5	29.1	117.5	102.4
1988	177.8	122.4	58.7	106.5	2.6	5.9	1.1	1.0	16.5	59.5	50.7	90.3
1989	112.9	126.3	112.6	116.1	9.0	2.5	S/D	1.3	40.9	110.0	41.4	1.4
1990	104.1	87.0	62.2	77.7	24.8	18.2	0.0	36.7	5.2	127.9	128.0	47.4
1991	46.1	106.9	115.5	73.0	6.0	3.4	0.0	0.0	7.5	60.4	37.0	81.2
1992	49.6	21.2	64.6	57.9	10.8	13.4	2.0	13.6	47.3	56.5	18.0	71.2
1993	86.1	164.9	204.1	113.9	10.9	0.0	0.0	0.0	27.5	S/D	108.0	105.9
1994	112.2	185.0	177.6	127.0	26.2	4.4	0.0	0.0	17.9	73.0	75.9	71.0
1995	12.2	133.7	118.8	47.7	27.1	4.8	0.9	5.2	21.9	104.1	67.3	87.4
1996	98.2	132.0	117.8	73.6	6.7	3.8	0.0	3.4	29.3	112.1	22.0	22.1
1997	70.1	107.6	55.2	63.0	10.7	15.6	0.4	0.0	37.2	76.2	124.2	176.5
1998	163.4	188.0	158.0	116.7	S/D	2.2	0.0	1.2	21.6	73.5	25.6	71.9
1999	103.6	342.3	41.9	13.1	49.7	S/D	1.1	3.0	94.0	35.0	75.3	94.6
2000	70.3	118.0	140.9	59.4	23.5	S/D	8.6	4.2	65.6	5.1	48.0	140.5
2001	268.9	103.4	S/D	19.2	71.3	0.0	0.0	0.0	17.6	110.4	99.8	108.3
2002	42.5	126.4	223.5	87.0	10.4	0.5	6.0	0.0	25.7	143.8	121.0	151.5
2003	41.9	72.9	147.5	46.7	6.2	6.7	3.0	3.5	15.3	68.1	113.1	123.0
2004	61.6	63.5	46.6	S/D	19.6	3.2	2.0	1.6	24.4	70.1	138.1	176.0
2005	S/D	92.0	148.4	86.5	2.3	0.7	0.0	6.6	35.5	133.0	28.8	S/D
2006	105.8	91.1	261.2	92.1	S/D	25.9	2.2	4.4	S/D	49.2	90.9	181.4
2007	89.8	43.7	214.3	118.9	26.5	0.0	7.7	4.0	27.3	126.1	110.3	80.6
2008	134.7	184.9	91.6	80.2	19.5	18.5	2.8	4.9	24.5	147.1	93.2	78.0
2009	188.2	129.7	136.7	147.3	46.4	2.7	1.2	0.0	6.0	99.5	130.3	99.1
2010	43.9	95.9	160.3	64.7	30.7	4.7	10.6	0.0	23.0	31.5	52.8	95.5
2011	92.7	99.1	164.7	S/D	9.7	0.0	6.1	0.0	43.7	32.1	53.6	126.2
2012	250.1	119.3	79.9	96.9	40.3	9.0	0.0	2.8	12.5	95.0	167.5	80.3
2013	61.4	77.0	283.6	114.4	65.4	0.5	13.8	26.6	9.3	118.9	37.5	116.8
2014	54.7	209.1	118.5	112.7	95.5	5.5	0.0	0.0	33.2	68.6	80.8	107.9
2015	150.2	62.7	216.3	23.7	51.6	0.0	1.2	0.0	5.5	34.5	124.7	36.7
2016	121.3	119.5	87.5	57.2	20.6	16.0	0.0	0.0	4.2	38.1	18.9	105.3

2017	101.3	47.1	166.8	98.4	25.3	9.0	0.0	8.1	36.5	138.1	48.2	158.3
2018	99.7	127.9	91.0	62.3	81.9	0.3	0.0	0.0	19.0	95.4	127.0	90.4

Fuente: SENAMHI

Tabla N°: 39. : Datos de precipitaciones Sondor

PRECIPITACION TOTAL MENSUAL (mm)												
AÑO	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SETIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
1993	S/D	148.5	284.5	144.3	48.5	0.0	0.0	8.0	S/D	S/D	122.1	177.7
1994	S/D	211.8	S/D	167.1	50.2	10.7	0.0	3.4	50.7	60.8	127.3	124.7
1995	12.3	140.2	161.6	56.3	44.8	4.4	5.4	3.2	11.4	75.5	108.9	184.5
1996	158.3	162.7	210.8	103.4	27.1	11.5	0.0	21.0	14.9	116.0	39.0	11.7
1997	78.0	179.7	51.5	75.3	13.1	14.6	2.2	0.0	46.1	84.4	166.2	230.3
1998	162.8	192.6	212.9	154.8	61.6	4.0	0.0	4.5	22.7	214.2	82.0	68.7
1999	143.2	291.9	102.6	68.2	75.3	34.3	5.8	4.3	102.5	76.0	83.1	110.5
2000	53.1	202.1	283.4	145.7	103.8	16.3	0.0	14.6	80.1	14.7	63.6	182.4
2001	248.8	173.8	296.7	31.1	54.0	0.0	2.2	0.0	17.7	118.6	155.0	119.9
2002	43.8	92.3	332.9	111.4	14.1	4.2	0.0	0.0	64.1	155.4	158.8	220.7
2003	64.3	68.6	152.9	67.5	33.8	21.4	0.0	2.5	34.9	85.9	121.8	131.3
2004	67.4	52.7	77.2	72.1	49.2	20.7	13.9	2.0	42.4	146.8	144.4	164.4
2005	144.3	139.9	270.1	44.6	25.3	0.0	0.0	12.7	29.6	236.1	40.0	182.2
2006	136.8	135.9	430.2	145.8	25.7	35.4	0.0	7.0	S/D	67.8	85.5	176.3
2007	173.1	41.1	260.1	158.8	30.0	0.0	11.0	3.6	44.2	193.1	100.1	71.4
2008	133.7	224.3	154.8	149.6	28.9	25.4	4.6	19.6	65.5	166.2	110.1	61.2
2009	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	7.7	25.5	155.3	195.1	226.1
2010	85.5	122.5	203.8	98.9	58.0	13.6	27.6	0.0	36.2	71.1	113.6	216.5
2011	118.3	144.1	155.3	153.0	11.0	0.0	9.3	2.8	52.1	44.2	48.5	208.1
2012	250.8	179.9	65.9	98.9	35.5	1.7	0.0	11.5	3.6	108.0	S/D	59.8
2013	72.1	53.6	250.1	48.9	48.1	0.0	0.0	24.5	4.8	174.0	13.1	142.3
2014	76.2	149.2	188.0	68.3	74.2	3.4	2.0	0.0	54.3	47.1	53.9	207.5
2015	212.9	86.2	319.5	76.2	51.0	0.0	0.0	0.0	9.6	11.1	159.1	39.2
2016	167.0	151.2	129.4	55.4	1.1	11.0	0.0	0.0	17.1	30.1	7.8	105.7
2017	146.7	60.8	226.4	129.3	41.4	7.8	0.0	4.5	19.0	106.4	26.9	156.4
2018	85.1	162.6	151.7	73.5	73.2	1.1	0.0	0.0	15.7	104.2	161.5	85.0

Fuente: SENAMHI

Tabla N°: 40. : Datos de precipitaciones Yanacocha

PRECIPITACIÓN MENSUAL(mm)												
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1965	125.2	128.4	183.6	104.6	23.5	21.1	11.5	4	109.9	135.7	133.8	151.5
1966	113.2	138.1	105.3	72.1	36.8	12.4	10.6	7.9	87	140.4	157.4	107.6
1967	151.3	209	211	52	40.2	14.3	14.2	5.6	21.8	172.1	181.7	146.2
1968	112.7	144.6	140.6	61.8	27.3	12.1	8.2	21.7	125.2	123.4	102.9	221.5
1969	88.1	166.6	178.8	115.3	30.5	48.6	5.6	19.7	71.1	134.9	134.3	179.3
1970	122.6	95.5	136.6	71.1	42	49.7	10.2	5	58.8	222.4	119	128.5
1971	143.6	208	288.1	71.4	20.5	24.2	30.7	19.4	88	133.8	118.6	162.9
1972	97.3	173.7	203.4	105.4	40.6	13.4	3.2	21.7	114.7	82.5	190.2	129
1973	154.8	161.7	210.2	178.5	39.6	79.7	18.6	20	153.6	83.9	180.3	136.2
1974	97.9	214.2	147.9	111.7	31	32	11.7	25.4	37.1	117.7	122	200.7
1975	106.6	196.3	136.5	127.1	55.1	28.4	4.1	19.2	12.4	91	151.7	82
1976	164.6	102.7	155.3	72.5	42.6	67	6.7	6.8	19.5	81.7	90.6	140.9
1977	167.2	179.8	165.2	86.4	44.1	10.3	8	5.3	62.4	119.2	216.4	174
1978	79.3	91.9	86.9	78.2	57.9	8.4	14.1	5.6	55.6	75.9	196	147.8
1979	109.7	146.8	288.3	81.2	32.8	5.8	16.7	19.1	114.5	57.7	113.4	148.9
1980	92.1	80.8	184.9	54.9	36.8	33.8	6	12.4	27.9	249.6	231.9	101.7
1981	104.6	245.6	195.9	76.6	37.4	19.3	3.9	15.7	22.5	200.6	77.6	172.5
1982	108.4	148.9	163.2	146.4	34.9	16.8	13.5	10.9	100.7	150.3	252.2	198.5
1983	163.9	120	224.9	190.6	38.4	8.2	11.4	9.2	78.1	167.9	212.1	93.8

1984	102.6	287.8	202	121.8	74.1	66.9	9.7	20	61.7	193.4	205.7	168.7
1985	67.3	97.3	93.1	51.4	51	10	18.2	19	66.4	66.3	114.3	203.8
1986	111.1	99.4	113.3	154.2	39.1	11.6	9.4	14.9	20.5	103.2	159.6	151.3
1987	197.6	176.5	169.2	80.1	35.5	26.3	12.3	10.5	48.9	79.8	176.5	119
1988	179.2	136.1	119.8	130.5	24.5	8.7	8.2	4.6	38.4	91.1	128.6	151.1
1989	127.4	209.6	117.8	139.8	34.2	46.1	6.2	7.3	71.4	139.9	119	68.3
1990	72.6	103.6	114.8	40.5	68.8	65.2	5.5	10.4	103.3	189.8	223.6	149.6
1991	90.8	141.5	271.4	94.8	54.5	6.4	2.4	6.9	83.6	105.8	175.9	223.8
1992	140.8	82.4	139.5	70	44.7	63.2	3.1	9.2	110.5	183.7	125.6	187.3
1993	119.6	154.4	242.9	134.7	49	14.6	6	6.4	72.1	129.3	118.5	178.3
1994	180.3	249.2	183.4	191.6	49	17.2	6	3.4	84.1	112.3	140.6	129
1995	56.9	189.3	165.2	75.1	52.6	5.6	24.5	6.4	54.7	89.6	161.8	184.6
1996	147.1	161.9	179.5	79.5	41.1	8.3	6	16.3	39.3	159.2	82.7	87.1
1997	121.8	109.1	86.5	82.9	49.8	41.8	17.6	3.1	35.5	113.4	171.3	122.9
1998	114.4	216.4	120.2	77.2	84.6	13.2	0.3	1.3	35.8	187.2	143.5	45.2
1999	150.5	373.4	167.1	65.5	74.4	109	17	17.3	218.2	58.4	178.6	175.3
2000	61.6	269.2	239.5	122.9	53.8	31.2	8.6	21.3	189	38.1	41.9	169.1
2001	259.3	93	218	64	13.7	3.6	5.2	0	39.1	125.4	147.8	177.8
2002	120.4	130.6	305	167.7	29.2	4.6	14.7	0.8	50.5	181.9	144.3	98.8
2003	104.4	103.6	149.3	109.7	41.9	21.3	0	0	61.3	57.8	103.2	133.8
2004	108.8	96.0	179.3	120.9	59.4	10.7	21.8	9.1	65.0	134.1	206.3	222.3
2005	151.4	134.9	354.3	83.3	59.7	8.9	10.2	27.7	35.8	260.8	112.0	195.6
2006	91.4	205.0	287.8	137.2	18.0	60.4	13.0	13.2	44.5	130.6	179.6	247.4
2007	174.0	63.2	237.5	205.5	58.9	3.3	25.9	23.9	49.5	234.7	384.3	178.6

Fuente: SENAMHI

ANEXO N° 2: PROCEDIMIENTO DEL ANALISIS DE CONSISTENCIA DE LOS DATOS DE PRECIPITACIONES

A. Saltos

El análisis de saltos se realizará desde dos puntos de vista, el análisis doble masa y estadístico, este último estudiará la media y desviación estándar.

i. Análisis doble masa.

Se completa los datos faltantes si fuera el caso, de cada estación. Para el dato faltante se realiza el promedio de cada mes, entre 1965 a 2018, cual fuese el año determinado.

Se plotea en el eje de las abscisas (eje x) el promedio de la información anual acumulada de todas las estaciones de la cuenca, y, en el eje de las ordenadas (eje y) la información anual acumulada de cada una de las estaciones en estudio.

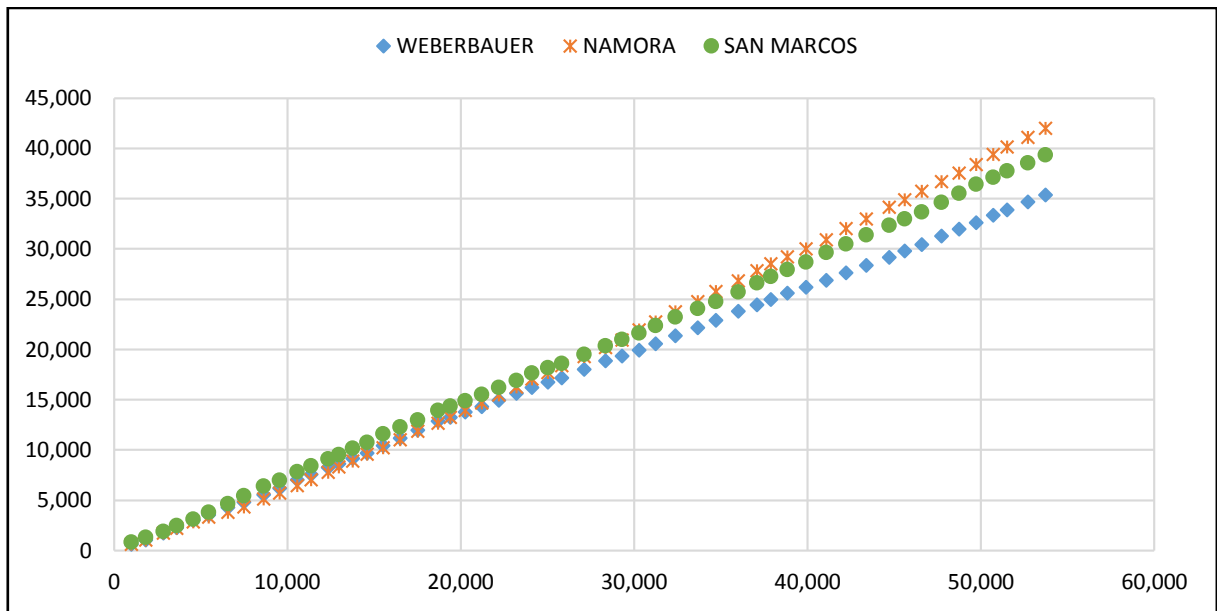


Figura N° 47: Análisis Doble masa. Estación meteorológica: Weberbauer, Namora y San Marcos.

En la **Figura N° 47** se muestra que, de las 16 estaciones en estudio, la estación Weberbauer, Namora y San Marcos presentan mejor homogeneidad de datos. Entre las tres estaciones la más confiable por tener equipos mejores calibrados la estación Weberbauer.

La estación Weberbauer se plotea en el eje de las abscisas y en las ordenadas cada uno de las demás estaciones. La información ploteada es anual acumulada.

En la **Figura N° 48** se observa tres puntos de ruptura en los años 1978, 1992 y 2000. Indicando que se produjo un cambio en la exposición (por eventos meteorológicos) en dichos años.

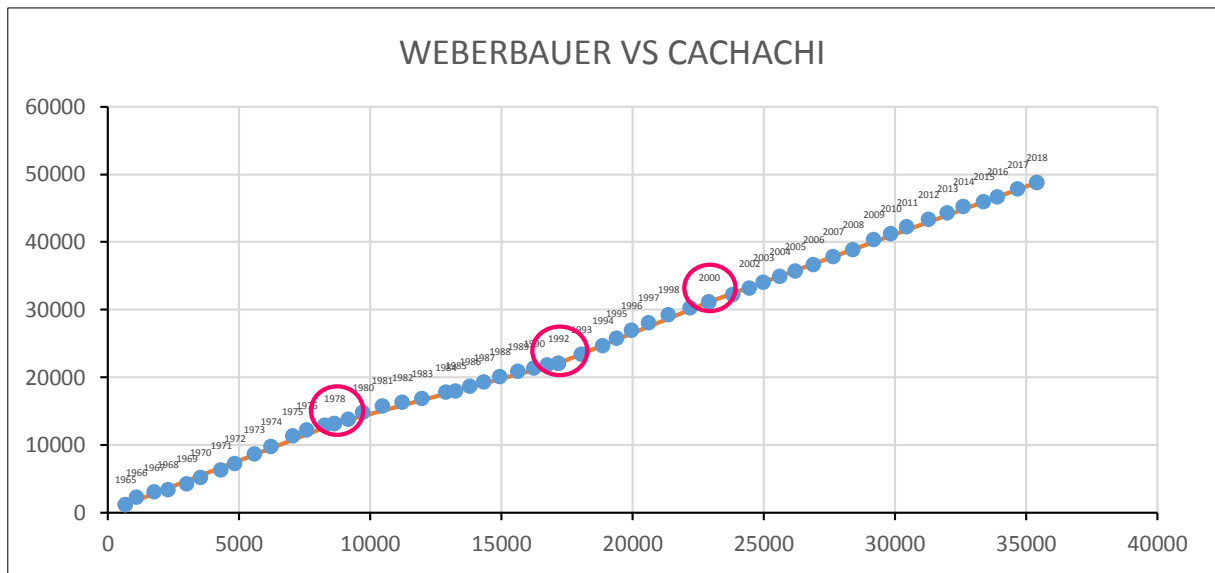


Figura N° 48: Análisis Doble Masa entre la estación índice (Weberbauer) vs la estación en estudio (Cachachi).

El procedimiento descrito anteriormente se realiza para las demás estaciones (Jesús, La encañada, Namora, San Marcos, Sondor, Asunción, Granja Porcon, Cicafor, Negritos, Quinua, Maqui Maqui, Yanacocha, Carachuco y Huacataz). Las estaciones Namora, Asunción y Granja Porcon presentan puntos de ruptura.

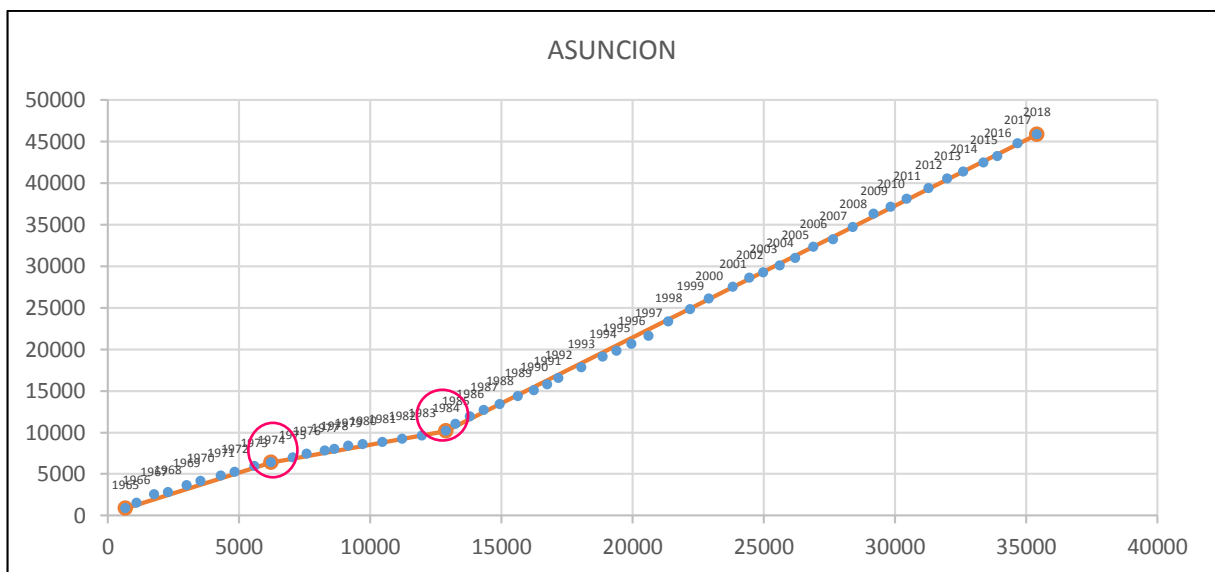


Figura N° 49. Análisis doble de masa de la estación Asunción teniendo como base a la estación Weberbauer.

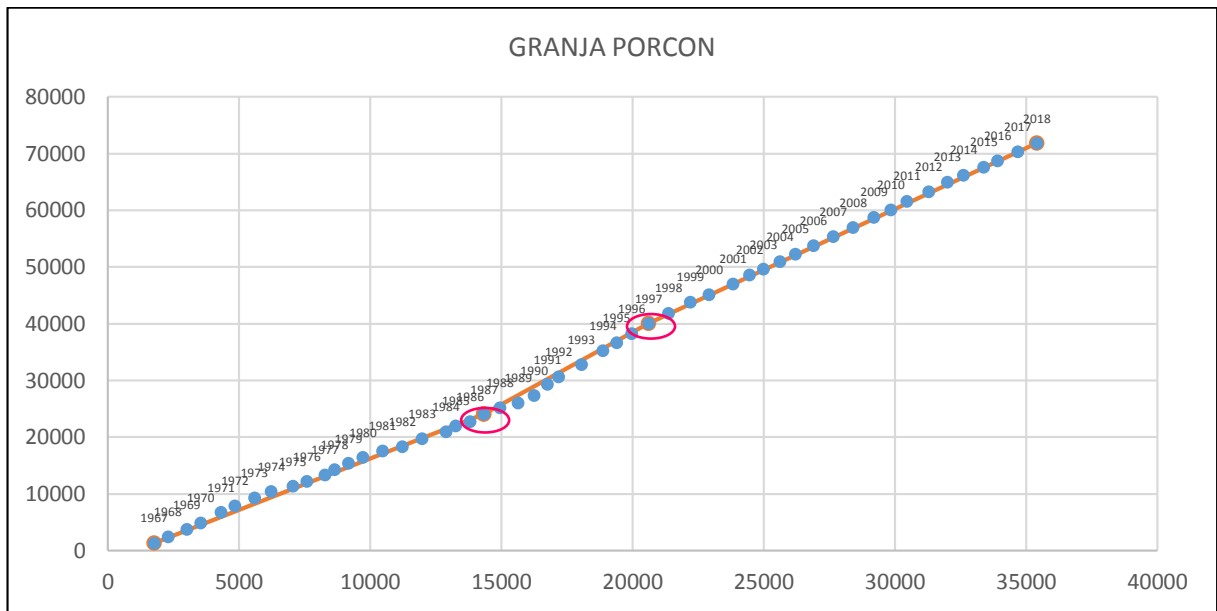


Figura N° 50. Análisis doble de masa de la estación Granja Porcon teniendo como base a la estación Weberbauer.

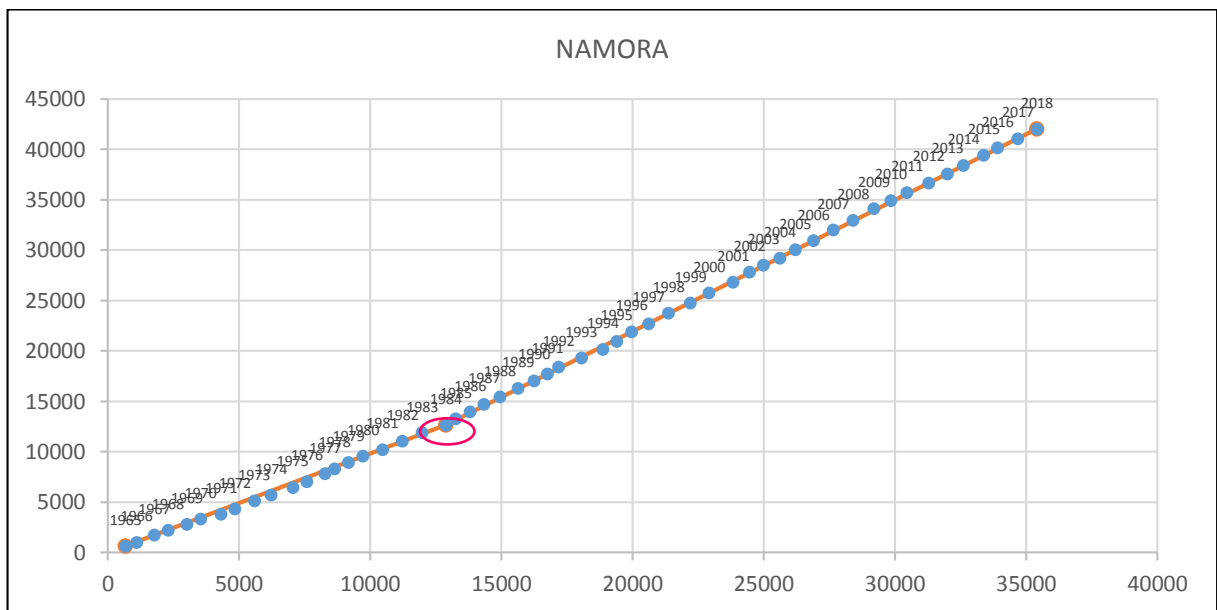


Figura N° 51. Análisis doble de masa de la estación Namora teniendo como base a la estación Weberbauer.

Tabla N°: 41 *Puntos de ruptura (años), de las estaciones Cachachi, Namora, Asunción y Granja Porcon*

ESTACIÓN	PUNTOS DE RUPTURA (AÑOS)
CACHACHI	1978, 1992, 1995
NAMORA	1984
ASUNCIÓN	1974, 1984
GRANJA PORCON	1987, 1987, 1997

Fuente: Elaboración propia

Terminado el análisis de dobla masa, se obtiene los periodos de posible corrección de datos de cada estación que presenta puntos de ruptura. Esto indica la existencia de periodos donde se mantendrán sus valores originales y otros que se modificarán.

ii. Análisis estadístico

a. Consistencia en la media (Prueba T-Student)

Se verifica las medias de las muestras, n_1 y n_2 , pertenezcan a una misma población hidrológica aplicando T-Student con un cierto nivel de significación (α) de 0.05. Se describe el procedimiento.

1) Puntos de ruptura de las precipitaciones de la estación Cachachi

El análisis doble masa nos da como puntos de ruptura, los años: 1978, 1992 y 1995.

2) Muestras de datos n_1 y n_2

Dividimos la información de la estación en dos muestras, tomándose como punto de ruptura el año 1995, del análisis doble masa los siguientes años a este son valores confiables.

Muestra 1: desde 1965 hasta 1995

Muestra 2: desde 1996 hasta 2018

3) Cálculo de la media y desviación estándar para cada muestra

Tabla N°: 42. Cantidad de datos (N), la media, y la desviación estándar de cada muestra.

	n1	n2
N	353	269
Media	68.28	84.75
Desviación estándar	92.97	79.50

Fuente: Elaboración propia

- 4) Se establece la hipótesis planteada y la hipótesis alternativa posible y el nivel de significación (α)

$$H_p: \mu_1 = \mu_2 \text{ (media poblacional)}$$

$$H_a: \mu_1 \neq \mu_2 \text{ (media poblacional)}$$

Nivel de significación (α) en la hidrología: 5% (0.05)

- 5) Cálculo de T-Student (T_c)

Se considera: $\sigma_1^2 = \sigma_2^2$

$$S_p = \left[\frac{(n_1 - 1)S_1^2 + (n_2 - 1)S_2^2}{n_1 + n_2 - 2} \right]^{1/2}$$

$$S_p = 87.40$$

$$S_d = S_p \left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} \right)^{1/2}$$

$$S_d = 7.07$$

$$T_c = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{S_d}$$

$$T_c = -2.33$$

- 6) Cálculo de T tabulado

$$t_{\frac{\alpha}{2}; g l}$$

$$gl = n_1 + n_2 - 2 = 620$$

$$\alpha/2 = 0.025$$

T tabulado= 1.96

7) Criterio para la aceptación o rechazo de la hipótesis planteada y alterna

Si $|T_c| > T_t$ (95%) $\rightarrow \bar{x}_1 \neq \bar{x}_2$ (estadísticamente), entonces no se acepta H_0 , ya que existen diferencias significativas entre las dos medias al nivel de confianza del 95% . **La información se corrige.**

b. Consistencia en la desviación estándar (F-Fisher)

1) Cálculo de la varianza de cada muestra, n_1 y n_2 se aplica:

$$S_1^2(x) = 8643.37$$

$$S_2^2(x) = 6319.97$$

2) Cálculo de F_c y F tabulado:

$$F_c = \frac{S_1^2(x)}{S_2^2(x)} \text{ si } S_1^2(x) > S_2^2(x)$$

$$F_c = 1.37$$

F tabulado = 1.21

3) Criterio de aceptación de la hipótesis planteada y la hipótesis alterna

Si $F_c > F_t$ (95%) $\rightarrow S_1(x) \neq S_2(x)$ (La prueba es significativa). Entonces no se acepta H_0 , ya que existen diferencias significativas entre las dos desviaciones estándares al nivel de confianza del 95%. **La información se corrige.**

c. Corrección de datos

Tal y como mostro la gráfica de doble masa, las precipitaciones de la estación Cachachi presenta puntos de ruptura. Es necesario corregir los datos que nos permita mantener los parámetros más confiables.

La muestra n_1 es dudosa, entonces se aplica la ecuación.

$$x'_{(t)} = \frac{x_t - \bar{x}_1}{S_1(x)} * S_2(x) + \bar{x}_2$$

A cada dato de precipitación de la muestra dudosa se aplica la anterior fórmula. En la siguiente Tabla N°: 43, se muestra los datos corregidos y no corregidos. Los datos de color naranja son los datos corregidos y los datos de color azul son los datos reales.

Tabla N°: 43 *Estación Cachachi, datos corregidos por la media y desviación estándar*

DATOS CORREGIDOS POR LA MEDIA Y DESVIACIÓN ESTANDAR													
AÑO	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SETIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	
1965								36.37	81.60	258.10	163.86	126.24	
1966	142.49	181.39	204.65	218.25	49.20	29.96	41.50	38.16	36.88	173.53	112.47	28.25	
1967	121.88			36.80	53.13	26.36	33.29	41.93	33.21	150.70	109.48	52.19	
1968	49.97	50.82	75.70	63.22	32.61	29.78	30.81	38.51	33.46	99.73	29.78	58.43	
1969	39.36	70.57	72.28					26.36	26.36	38.25	182.16	244.93	163.18
1970	110.16	34.32	78.95	79.81	252.71	59.88	29.70	31.15	63.56	166.69			
1971	114.61	61.00	320.35	244.59	46.03	27.90	43.72	41.76	32.61	57.23	55.27	203.54	
1972	26.45	50.65	293.50	175.58	49.02	27.39	26.36	29.96	65.53	156.85	83.57	122.99	
1973	318.55	107.68	131.71	299.82	56.81	26.36	65.87	26.36	125.38	165.49	125.56	100.84	
1974	117.95	223.55	312.14	207.56	26.36	26.36	26.36	26.36	26.36	83.40	117.09	80.75	
1975	26.36	287.60	669.65	285.20	39.70	26.36	26.36	26.36	50.73	120.00	26.36	26.36	
1976	71.09	182.08	206.19	142.06	26.36	26.36	26.36	26.36	74.59	109.14	93.58	64.25	
1977	121.19	384.65	97.85	26.36	26.36	26.36	26.36	26.36	35.69	47.74	46.29	103.75	
1978	26.36	35.09	29.02	49.79	76.99	26.36	44.92	26.36	53.13	46.80	70.40	48.77	
1979	57.66	67.07					33.72	38.16	89.98	26.36	67.07	62.54	
1980	63.99	44.83	101.96	59.97	26.36	26.36	27.48	29.44	26.36	193.45	327.96	221.41	
1981	135.47	157.88	163.35	37.74	83.49	56.46	26.36	39.88	31.84	186.78	88.53	164.21	
1982	145.48	113.84	65.78	38.42	35.69	34.49	26.36	26.36	42.53	106.15	32.61	76.64	
1983	154.29	28.07	232.02	122.39	44.24	28.50	26.36	26.36	26.36	29.96	34.06	62.45	
1984	26.36	374.65	139.07	108.20	68.61	28.50	26.36	28.50	28.07	106.32	121.71	92.89	
1985	28.07	26.36	39.53	28.07	40.47	26.36	26.36	26.36	58.00	32.35	28.50	93.06	
1986	87.42	83.74	111.45	181.31	49.20	26.36	26.36	42.61	34.49	40.05	98.71	109.65	
1987	146.76	94.69	75.11	47.74	43.72	26.36	36.03	26.36	35.77	80.66	111.87		
1988	202.77	194.99	53.56	244.33	50.22	36.20	26.36	26.36	41.33	26.36	44.24	43.47	
1989	110.25	134.79	213.12	210.38	33.63	30.21	26.36	26.36	83.14	63.82	28.42	26.36	
1990	26.36	66.55	76.82	64.93	64.25	75.62	26.36	26.36	26.36	71.86	150.01	34.49	
1991	54.16	83.23	188.92	145.31	62.45	26.36	26.36	26.36	26.36	26.36	35.17	31.50	
1992	31.92	32.78	45.52	95.46	37.05	26.36	26.36	26.36	82.97	52.10	26.36	28.50	
1993	50.48	127.27	327.87	167.80	63.39	26.36	26.36	26.36	91.87	161.13	123.33	271.61	
1994	213.46	238.60	257.33	114.70	51.25	28.50	26.36	26.36	29.87	165.83	135.82	153.77	

1995	72.88	174.38	316.16	82.03	48.43	26.36	36.80	26.36	49.11	96.48	139.15	181.22
1996	159.50	180.40	285.90	90.00	35.50	13.00				127.50	132.30	72.50
1997	108.50	338.00	24.00	69.40	35.10	12.30	0.00	15.60	41.30	104.20	124.60	276.60
1998	199.60	160.00	249.80	257.50	29.90	0.00	0.00	1.20	25.50	150.40	34.90	76.90
1999	152.90	359.00	95.10	13.30	31.60	27.40	2.40	1.20	114.70	20.30	90.60	133.70
...
2014	86.50	210.60	181.00	94.90	74.20	0.00	4.20	0.00	27.00	78.20	73.10	98.00
2015	202.10	46.60	207.60	32.00	65.60	0.00	6.60	0.00	16.00	23.60	101.10	52.00
2016	149.50	65.30	138.40	79.10	3.20	19.80	6.20	1.10	7.90	72.70	29.30	140.10
2017	148.00	88.50	306.10	97.10	77.60	34.30	0.00	19.70	26.00	120.70	37.40	173.00
2018	59.00	136.30	184.60	105.90	105.10	21.70	1.00	0.00	49.20	84.50	130.10	75.10

Fuente: Elaboración propia.

El procedimiento descrito anteriormente se aplica a las estaciones de Namora, Granaja Porcon y Asunción para tener la homogeneidad de datos.

Tabla N°: 44. Homogeneidad estadística para las precipitaciones la estación Namora

DATOS CORREGIDOS POR LA MEDIA Y DESVIACIÓN ESTANDAR												
AÑO	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SETIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
1965	64.63	93.80	178.11	98.22	40.81	4.94	10.16	14.45	65.03	142.78	72.26	118.16
1966	56.06	50.98	36.93	42.95	61.02		22.88	4.54	59.68	140.10	61.82	23.28
1967	187.34	203.27	153.08	56.20	44.02	10.16	14.85	12.30	24.62	181.19	73.86	69.58
1968	94.60	95.81	49.24	39.34	49.64	4.27	6.15	26.89	57.13	112.27	20.20	92.06
1969	31.98	187.21	124.85	115.48	21.94	26.22	8.69	26.76	41.34	96.88	80.82	110.93
1970	79.08	35.05	75.74	73.73	49.51	35.05	14.58	3.87	32.38		74.26	129.67
1971	45.36	51.78	181.32	13.78	20.60	18.73	29.83	21.67	46.16	117.49	36.66	101.70
1972	16.05	40.67	144.39	160.44	37.73	10.30	7.35	12.04	55.80	78.01	76.94	99.56
1973	164.59	114.01	76.54	219.46	10.70	64.36	6.68	7.09	106.11	71.85	136.62	117.22
1974	140.51	141.84	100.23	36.39	10.70	25.95	3.87	56.60	141.58	103.04	49.11	57.00
1975	111.47	136.49	305.64	82.96	94.60	3.87	35.59	27.43	55.66	63.16	75.33	13.51
1976	124.45	232.17	79.48	82.96	62.62	14.58	5.35	12.30	10.56	76.00	33.72	145.86
1977	181.86	228.69	156.56	44.15	28.10	24.62	7.75	3.87	41.61	80.69	110.26	142.65
1978	35.46	102.77	57.80	110.26		9.36	36.39	9.23	36.93	65.83	66.77	140.24
1979	96.61	227.76	158.84	64.09	31.17	5.61	27.96	34.79	51.25	18.19	53.52	76.27
1980	55.80	26.89	170.75	44.96	44.02	8.02	3.87	14.71	9.90	322.90	204.07	34.38
1981	147.60	212.64	42.68	30.50	58.74		3.87	35.46	22.74	167.94	30.37	130.60
1982	108.52	35.59	106.92	84.30	64.90	3.87	17.12	3.87	98.62	195.24	211.16	214.38
1983	240.60	58.87	188.55	267.37	90.86	47.63	13.91	23.95	3.87	139.17	42.15	53.52
1984	16.99	305.64	105.04	129.53	55.53	16.85	23.81	26.09	3.87	211.43	114.81	62.62
1985	24.90	46.90	48.50	192.30	38.10	8.20	51.10	19.60	30.00	23.20	40.70	86.00
1986	124.30	63.40	85.80	141.40	36.80	0.00	2.50	7.10	3.90	51.90	78.50	88.90
1987		124.90	86.60	91.50	16.30	4.60	10.70	12.70	52.40			
1988	150.50	106.20	52.50	160.30	11.40	6.30	0.00	0.00	26.90	63.90	86.60	
1989		144.20							36.50			
1990												
1991	38.50	99.90		48.20	43.60	2.30						
1992					22.40							44.00
1993	94.90	176.50										136.00
1994			262.60							50.80	62.00	110.50
1995		131.90		47.60						68.60		121.90
1996		181.30	251.70							91.00		
1997				78.40				0.90	22.60		106.40	
1998	160.60	202.00	204.00	153.00	34.40	1.10	0.00	2.60	21.60	110.20	66.10	72.90
1999	115.90	308.70	114.50	56.80	77.80	44.70	6.60	1.00	88.20	32.00	71.20	95.90

2000	46.00	173.90	194.80	97.20	139.30	12.40	1.80	23.70	73.50	24.70	65.80	157.90
2001	258.30	109.30	238.50	52.90	61.70	0.40	2.90	0.00	24.60	91.80	106.50	125.00
2002	59.00	118.10	235.40	102.90	23.30	5.80	13.90	7.00	55.10	116.20	87.90	153.70
2003	46.20	110.50	119.80	87.30	23.50	19.10	3.10	10.10	16.30	67.90	111.40	93.60
2004	68.30	102.00	75.70	37.80	40.40	5.10	14.10	6.20	18.80	91.50	83.90	134.20
2005	126.90	73.10	205.80	81.30	22.10	1.00	1.40	5.60	9.20	126.30	13.90	153.50
2006	91.60	92.10	253.60	93.10	8.00	40.70	2.90	11.50	47.90	53.40	80.40	124.20
2007	188.10	34.20	246.50	127.00	50.40	0.00	6.40	6.90	22.20	142.40	153.30	109.50
2008	124.50	176.00	151.90	104.20	32.30	31.10	1.90	9.50	52.30	141.30	83.00	38.40
2009	249.50	117.00	192.80	127.90	59.50	17.90	6.90	7.80	10.80	116.20	121.50	133.80
2010	68.60	116.70	175.50	68.90	24.20	20.20	9.90	0.00	30.20	49.10	86.80	122.40
2011	122.30	108.90	150.50	171.40	4.60	0.30	10.40	1.30	33.80	28.00	59.00	146.20
2012	222.70	127.70	118.70	121.10	34.30	7.70	0.00	5.00	4.60	149.30	109.00	50.80
2013	61.30	106.90	280.50	89.00	88.20	0.40	0.70	19.90	1.90	85.10	29.90	113.50
2014	98.30	112.80	176.60	63.30	89.20	1.30	4.30	0.00	22.90	49.70	76.80	153.80
2015	223.30	92.30	239.70	70.70	141.70	0.20	3.50	0.20	2.90	23.30	124.00	60.50
2016	94.70	149.60	79.90	117.60	25.40	16.60	0.80	3.50	28.90	53.10	16.70	160.30
2017	143.70	35.30	240.70	103.40	75.70	25.50	0.00	18.20	24.80	91.60	42.50	139.60
2018	110.20	140.00	115.80	86.60	94.70	6.80	0.00	2.80	29.50	82.40	159.30	84.20

Fuente: Propia

Tabla N°: 45. Homogeneidad estadística para las precipitaciones de la estación Granja Porcon

DATOS CORREGIDOS POR LA MEDIA Y DESVIACIÓN ESTANDAR												
AÑO	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SETIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
1967	293.97	315.56	239.46	104.75	81.10	24.54	48.71	51.28	46.14	211.19	41.00	125.83
1968	122.23	176.22	190.62	102.18	39.97	20.43	29.17	55.91	138.17	180.34	143.83	195.76
1969	99.10	198.85	205.53	189.59	36.37	83.16	23.00	32.77	60.53	125.32	231.24	205.02
1970	127.38	144.34	161.83	147.94	110.92	51.79	40.48	43.05	93.44	143.32	230.21	138.17
1971	161.31	151.54	507.35	175.19	138.17	84.19	91.38	55.91	95.50	244.09	184.96	188.05
1972	124.29	171.59	281.63	171.08	74.11	32.25	17.34		48.71	196.48	140.44	
1973	208.92	119.66	226.10	221.26	81.10	89.94	52.20	145.27	160.69	39.97	196.17	142.08
1974	168.30	129.12	181.57	227.54	69.79	79.04	35.85	78.02	63.62	99.71	81.62	124.29
1975	128.51	41.30	197.51	248.41	81.00	50.77	20.43	72.36	33.80	137.66	110.92	37.91
1976	211.70	156.17	207.59	80.07	76.99	48.19	17.34	29.68	45.11	81.10	44.08	98.58
1977	219.93	260.03	197.30	120.69	47.68	31.23	24.03	19.40	81.62	116.58	171.08	104.75
1978	58.48	125.83	70.30	108.35	108.04	17.34	43.88	17.34	86.14	89.74	213.76	212.21
1979	129.12	166.25	398.03	80.59	72.87	28.45	52.31	58.89	137.97	66.91	45.42	128.51
1980	89.33	55.70	188.97	88.92	93.03	29.48	17.34	23.21	19.61	271.55	244.71	182.91
1981	114.11	281.94	212.73	174.78	84.80	17.34	17.34	17.34	24.03	182.49	79.35	110.72
1982	75.75	37.09	91.59	50.87								
1983												
1984				155.14	17.34	17.34						
1985						17.34	17.34		18.27	17.96	18.17	
1986		59.51	23.51	93.65				68.76	28.55		70.61	154.32
1987			147.43			17.34		17.34			183.52	
1988	331.50		82.75		36.47	33.39	23.93	22.79	48.81	154.83	133.13	
1989	211.39	240.29	104.75	109.79	36.37	17.34	17.34	17.34	65.16	96.53	70.30	17.34
1990	47.89	105.16		148.15		53.95	18.27	17.96	161.00	286.77	274.63	123.88
1991	110.92		541.38	272.99	312.48	23.82			98.27		234.43	
1992			158.33	139.82		81.51	17.34	42.02	156.68	139.92		
1993			402.25	467.55	122.95		17.34			158.74	229.39	482.77
1994	506.22	401.43		293.45	355.77	36.47	17.34	40.17	125.11	277.31	234.01	163.88
1995	161.00	252.63	241.21	148.77	133.24	30.30		67.63	73.80	116.58	146.81	268.16
1996	221.78	436.39	338.91	162.65	78.74	68.45	17.34	38.22	67.22	256.84	100.23	77.60
1997	209.54	213.04	144.04	284.71	100.64	36.37	57.45	27.52	100.13	191.34	327.49	331.09

1998	168.50	380.50	298.70	243.20	85.40	0.00	0.00	14.80	67.60	224.90	158.80	
1999	210.30	494.20	253.50	126.00	166.70	53.90	20.30	6.40	228.30	65.30	138.60	166.40
2000	64.80	237.00	221.10	168.60	160.70	40.70	1.60	16.30	123.20	19.30	62.80	236.50
2001	341.10	227.70	419.20	92.60	88.70	17.60	15.20	0.40	145.20	169.50	156.10	171.80
2002	76.20	188.80	390.10	159.00	38.10	27.80	15.20	2.60	53.30	202.10	226.50	243.00
2003	103.80	134.40	124.30	81.20	76.00	54.40	28.90	15.60	47.20	101.80	112.60	100.00
2004	70.30	230.40	168.20	82.40	75.40	11.70	41.00	19.10	84.80	147.00	168.00	240.90
2005	157.80	231.20	343.30	93.10	91.60	53.70	0.00	7.10	54.40	152.80	28.60	164.80
2006	145.50	188.10	345.70	184.70	62.80	62.00	5.10	15.70	116.60	39.80	158.50	183.60
2007	246.60	64.50	352.30	226.30	57.70	1.10	42.60	20.10	32.80	171.80	211.10	170.40
2008	190.60	291.20	252.40	150.30	76.00	73.30	16.00	11.00	110.90	182.60	133.20	66.40
2009	344.80	197.50	307.30	149.60	127.40	31.30	18.10	8.00	27.00	184.00	187.90	234.80
2010	108.00	169.70	275.70	163.50	83.10	39.40	44.30	33.60	31.20	82.70	96.50	182.60
2011	257.00	148.90	284.60	269.40	21.20	8.50	13.70	4.80	55.40	84.50	93.00	265.40
2012	325.90	320.00	155.70	210.70	109.60	32.40	0.00	45.80	33.70	137.70	202.50	67.60
2013	141.00	279.90	352.40	196.20	193.40	32.80	17.70	33.80	30.40	174.50	28.00	238.50
2014	137.40	189.90	228.00	103.40	79.30	5.10	9.60	10.50	65.80	97.40	91.40	209.30
2015	370.60	159.60	286.40	108.90	158.40	1.70	9.70	0.40	24.60	88.40	126.30	107.80
2016	166.50	133.40	163.50	137.10	36.80	44.90	1.10	0.00	45.70	146.90	41.40	172.90
2017	156.00	235.80	367.00	133.30	170.70	43.90	1.20	49.90	51.70	146.80	37.70	228.90
2018	262.50	198.30	201.70	153.00	111.30	8.20	0.00	2.50	59.00	157.10	152.90	162.30

Fuente: Propia

Tabla N°: 46. Homogeneidad estadística para las precipitaciones de la estación Asunción.

DATOS CORREGIDOS POR LA MEDIA Y DESVIACIÓN ESTANDAR												
AÑO	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SETIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
1965	96.19	246.63	497.68	359.65	43.82	12.32	16.10	12.32	41.66	111.48	99.42	205.42
1966	237.28	282.99	193.55	129.12	71.89	28.34	21.68	22.76	63.07	188.87	48.14	20.24
1967	428.04	602.60	340.04	144.78	74.95	12.32	38.06	12.32	19.16	179.33	24.20	62.53
1968	57.49	87.55	84.49	62.35	12.32	12.32	12.32	12.32	48.86	155.57	12.32	32.30
1969	12.32	22.94	386.29	230.44	12.32	12.32	12.32	12.32	12.32	246.81	218.20	440.63
1970	196.96	107.88	114.36	142.44	42.02	62.71	12.32	46.34	56.41	186.71	117.78	23.66
1971	61.99	140.28	576.33	162.95	23.84	12.32	12.32	50.30	70.63	72.07	36.44	87.37
1972	177.71	228.64	310.52	93.13	34.46	12.32	12.32	12.32	31.58	12.32	70.45	12.32
1973	364.87	75.49	168.71	415.62	16.46	12.32	12.86	12.32	80.89	54.07	37.16	160.97
1974	149.63	283.71	167.81	79.27	51.91	12.32	12.32	12.32	12.32	41.48	12.32	31.58
1975	93.85	149.09	511.00	49.22	28.88	35.54	12.32	24.92	63.61	244.83	12.32	59.11
1976	230.98	302.06	90.25	115.98	27.80	12.32	12.32	13.04	12.32	12.32	12.32	44.72
1977	257.25	261.39	136.14	128.76	12.32	12.32	12.32	12.32	19.88	12.32	27.80	19.70
1978	22.76	52.27	136.50	68.47	12.32	12.32	12.32	12.32	13.94	55.69	37.52	19.88
1979	76.93	71.89			18.44	12.32	12.32	12.32	12.32	12.32	16.46	12.32
1980	24.92	12.32	56.77	12.32	20.42	12.32	12.32	12.68	12.32	121.02	139.38	73.69
1981	40.40	96.19	193.37	22.40	12.32	12.32	12.32	12.32	12.32	58.03	55.51	85.57
1982	43.46	92.95	31.40	12.32	12.32	12.32	12.32	12.32	64.15	169.43	258.87	110.76
1983	143.88	88.63	208.30	138.30	104.82	12.32	12.68	12.32	12.32	16.46	29.06	64.51
1984	21.32	255.27	210.82	145.86	64.69	42.02						
1985												
1986					7.00	0.00	0.60	18.40	2.00	16.60	60.60	146.80
1987	232.30	114.00	121.40	84.30	7.30	2.00	7.70	10.90	27.50	12.80	75.50	48.70
1988	212.30	143.50	51.40	117.60	0.60	0.50	0.00	3.00	8.60	45.60	82.50	61.20
1989	182.40	303.70	257.80	87.00	13.60	11.40	0.20	3.90	20.00	92.30	15.30	0.00
1990	87.70	141.80	154.40	48.20	32.80	24.30	0.00	0.00	0.00	45.30	73.00	
1991	40.60	88.30	278.60	81.70	25.20	3.00	0.00	0.00	2.20	53.20	55.40	97.30
1992	140.90	69.80	124.40	206.30	43.20	25.10	1.10	6.20	17.00	62.50	9.80	33.30
1993		242.70	357.10	185.30	53.80	0.70	4.20	0.50	29.30	86.30	79.40	149.20
1994	232.60	217.40	295.00	210.40	35.40	3.00	0.00	0.00	8.50	4.00	54.40	165.20
1995	119.30	207.40	121.20	63.30	25.80	4.10	3.30	0.00	4.30	32.50	39.50	94.70

1996	151.10	205.70	283.10	78.20	10.50	10.10	0.00	2.50	37.00	49.70	21.80	20.60
1997	53.60	184.60	70.10	92.90	17.10	10.30	0.00	0.00	33.10	57.60	121.50	279.20
1998	436.50	481.00	474.40	180.70	51.30	4.80	0.00	2.60	7.40	51.40	24.00	68.10
1999	123.70	554.90	236.40	120.10	69.40	36.20	9.60	0.00	58.70	35.70	73.70	121.30
2000	119.90	343.00	331.50	138.70	74.00	26.00	0.50	4.30	31.00	21.10	38.20	139.30
2001	314.40	166.70	615.10	90.50	65.10	0.00	1.90	0.00	13.30	27.50	107.10	64.70
2002	21.70	231.30	311.60		15.30	7.00	3.70	0.00	20.00	105.60	77.30	134.70
2003	112.00	140.30	149.80	51.70	27.30	23.00	2.10	4.40	2.30	23.40	50.70	103.00
2004	39.10	211.80	165.40	78.90	20.80	0.60	6.90	4.50	12.80	58.30	75.10	141.20
2005	150.20	164.40	375.50	33.00	1.10	0.20		0.00	3.50	51.20	18.40	107.10
2006	151.40	216.10	480.80	170.70	4.70	30.40	3.10	1.80	21.50	2.40	66.30	164.30
2007	182.10	69.80	338.60	129.70	11.20	0.00	0.00	5.00	2.40	74.00	72.30	59.20
2008	277.90	399.60	286.20	204.00	29.20	3.20	0.00	4.10	40.70	85.90	92.10	9.50
2009	390.60	251.20	460.70	128.60	41.40	8.40	10.50	0.00	2.30	72.80	125.00	142.30
2010	66.20	230.30	213.60	152.90	33.70	5.30	3.80	0.00	24.20	15.90	50.20	56.30
2011	130.50	138.80	179.90	224.70	7.40	4.10	5.90	0.00	26.80	13.80	23.90	160.40
2012	347.40	237.70	240.20	113.30	67.90	1.70	0.00	0.30	4.70	108.10	121.20	81.70
2013	87.30	249.60	420.50	105.20	59.00	6.20	0.40	3.50	1.20	101.80	0.30	80.80
2014	141.20	107.40	210.60	51.80	77.70	4.30	1.00	0.00	15.60	29.60	94.10	118.80
2015	162.20	112.90	513.20	70.30	44.30	0.50	0.00	0.00	11.60	18.30	94.10	59.90
2016	119.90	193.50	185.60	114.60	12.30	9.30	0.00	0.00	3.50	11.50	6.10	99.80
2017	268.20	285.10	558.50	142.50	67.10	6.50	0.00	3.40	7.60	113.50	21.90	106.50
2018	107.30	211.80	179.20	209.50	119.30	2.30	0.00	0.00	21.30	54.80	60.60	75.90

Fuente: Propia

B. Tendencias

Se ordena los datos de precipitación en columna “Tm” desde el año 1965 hasta el año 2018 y se le asigna el orden de años correspondiente a cada dato “t” en la siguiente columna.

Tabla N°: 47. *Medidas estadísticas de tendencia de la estación Cachachi*

	Tm	t	Tm*t
Promedio	84.75	311.50	25919.00
Desviación Estándar	79.43	179.70	

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla N°: 47 se muestra el promedio y desviación estándar de la tendencia (Tm). Promedio y desviación estándar de los años (1,2,3 ... n). Y el promedio de la multiplicación de los años con la tendencia.

Se analiza el coeficiente de correlación “R” según el estadístico “T”.

$$R = \frac{\overline{t * Tm} - \bar{t} * \overline{Tm}}{S_t * S_{Tm}}$$

n= 622.00

R= 0.03

Cálculo del estadístico Tc:

$$T_c = \frac{R * \sqrt{(n - 2)}}{\sqrt{1 - R^2}}$$

Tc= 0.84

Según tablas se calcula el valor de “Tt” con una significación (α) de 0.05 y grados de libertad igual a n-2 (620)

Tt= 1.96

Verificación si R es significativo o no es significativo

Como $|t_c| < T_t$ (95%), R no es significativo, entonces NO SE CORREGIÓ

C. Completación de datos

Se completa la estación Weberbauer (E. estudio), se hace la correlación cruzada con la estación San Marcos (E. Índice).

Se plotea los pares regresibles de los datos completos e incompletos, para la relación existente. Se procede al análisis estadístico para el mes de diciembre. Procedimiento que se repite para los otros meses.

Tabla N°: 48 *Medidas estadísticas y datos para el cálculo del coeficiente de correlación. Mes diciembre*

	X (E. INDICE)	Y (E. ESTUDIO)	X*Y	X ²	Y ²
MEDIA	89.06	74.39	7693.27		
DES. EST.	41.86	34.99	6120.75		
SUMA	4631.10	3868.10	384663.33	501813.59	350164.59

Fuente: Elaboración propia.

i. Aplicación de la Metodología A

1) Cálculo del coeficiente de correlación:

$$R = \frac{\overline{X * Y} - \bar{X} * \bar{Y}}{S_X * S_Y}$$

$$n = 104$$

$$R = 0.73$$

Análisis estadístico de correlación.

HP: $R = 0 \rightarrow$ No se correlacionan.

HA: $R \neq 0 \rightarrow$ Se correlaciona.

Cálculo del estadístico "Tc" y "Tt" con una significación (α) de 0.05 y grados de libertad igual a n-2 (620)

$$T_c = \frac{R * \sqrt{N - 2}}{\sqrt{(1 - R^2)}}$$

$$T_c = 10.77$$

$$T_t = 1.983$$

$|T_c| > T_t \rightarrow$ "R" es significativo, por lo que sí existe correlación significativa entre las variables "y" y "x". Se procede a completar el mes de diciembre para la estación Weberbauer.

2) Se halla la ecuación lineal para completar los datos.

$$y = A + Bx$$

$$A = \bar{y} - B\bar{x}$$

$$B = R * \frac{S_x}{S_y}$$

$$B = 0.87$$

$$A = -3.35$$

$$y = -3.35 + 0.87(x)$$

Ecuación 17

ii. Aplicación de la Metodología B

1) Cálculo del coeficiente de correlación.

$$r = \frac{N_1 * \sum x_i y_i - \sum x_i \sum y_i}{\sqrt{N_1 \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2} \sqrt{N_1 \sum y_i^2 - (\sum y_i)^2}}$$

$$r = 0.86$$

Se hace el mismo análisis estadístico de correlación que en el paso anterior.

$$T_c = 17.04$$

$$T_t = 1.983$$

$|T_c| > T_t \rightarrow$ "r" es significativo, por lo que sí existe correlación significativa entre las variables "y" y "x". Se procede a completar el mes de diciembre para la estación Weberbauer.

2) Se halla la ecuación lineal para completar los datos.

$$y_t = a + b * x_t$$

$$b = \frac{N_1 \sum x_i y_i - \sum x_i \sum y_i}{N_1 \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2}$$

$$a = \bar{y}_1 - \bar{x}_1$$

$$y = 10.39 + 0.72(x)$$

Ecuación 18

Tabla N°: 49: *Datos completados del mes de diciembre de la estación Weberbauer por la Ecuación 17 y Ecuación 18.*

DICIEMBRE Año	DATOS COMPLETADOS	
	1ER MÉTODO $y=-3.35 + 0.87 (x)$	2DO MÉTODO $y=10.39 + 0.72 (x)$
1965	67.90	67.90
1966	18.70	18.70
1967	36.70	36.70
1968	70.80	70.80
1969	162.00	162.00
1970	54.10	54.10
1971	68.66	69.67
1972	50.20	50.20
...
2007	68.80	68.80
2008	64.73	66.44
2009	74.20	74.20
...
2018	69.40	69.40

Fuente: Elaboración propia

Datos completados de los años 1971 y 2008 son los datos color ámbar.

Entre las dos ecuaciones Ecuación 17 y Ecuación 18 se escoge la que presenta mejor desviación estándar entre los datos completados y no completados.

Tabla N°: 50. *Desviación estándar de Ecuación 69 y Ecuación 70*

	$y=-3.35 + 0.87 (x)$	$y=10.39 + 0.72 (x)$
DESV. EST.	34.354	34.344

De la tabla se concluye que se completa con la Ecuación 18: $y=10.39 + 0.72 (x)$

ANEXO N° 3: FOTOS DE VISITAS A ALGUNAS DE LAS ESTACIONES METEREOLÓGICAS.

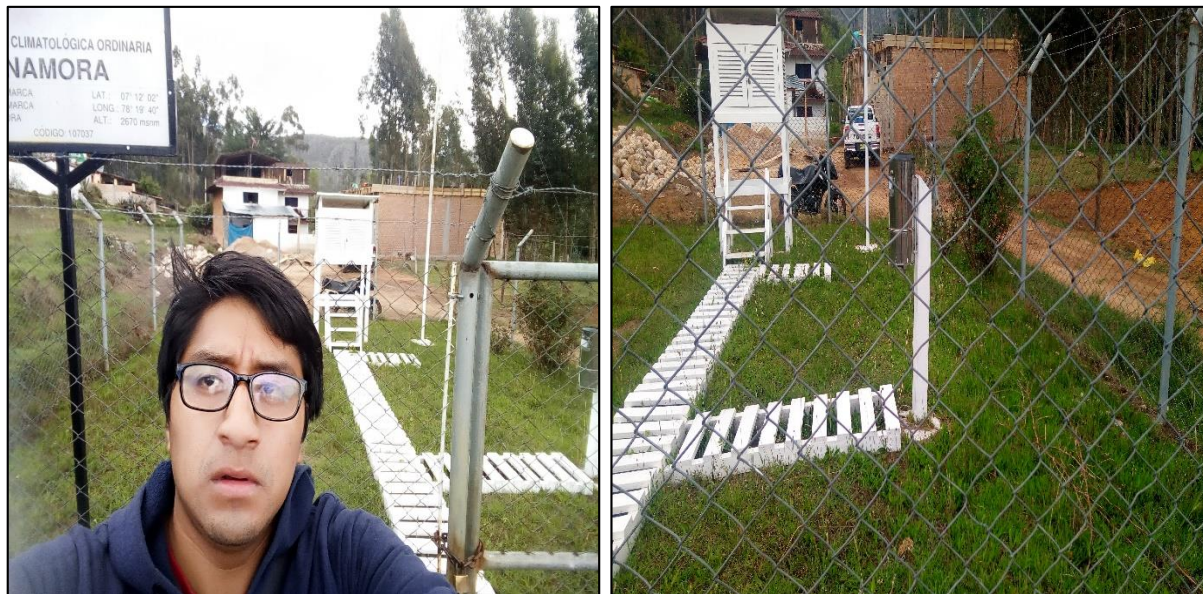


Figura N° 52: Visita a la estación meteorológica de Namora.



Figura N° 53: Visita a la estación meteorológica de Granja Pórcon.