

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA HIDRÁULICA



**GENERACIÓN DE CAUDALES MEDIOS MENSUALES EN LA CUENCA
HIDROGRÁFICA DEL RÍO EL TINGO, COMUNIDAD CAMPESINA DE
UNANCA – PROVINCIA DE SAN PABLO.**

TESIS

Para optar el título profesional de:

INGENIERO HIDRÁULICO

Autor:

JAIME JOEL CHOLÁN GABRIEL

Asesorado por:

Dr. Ing. JOSÉ FRANCISCO HUAMÁN VIDAURRE

CAJAMARCA - PERÚ

2023





CONSTANCIA DE INFORME DE ORIGINALIDAD

- FACULTAD DE INGENIERÍA -

1. Investigador: JAIME JOEL CHOLÁN GABRIEL
DNI: 46094947
Escuela Profesional: INGENIERÍA HIDRÁULICA
2. Asesor: DR. ING. JOSÉ FRANCISCO HUAMÁN VIDAURRE.
Facultad: INGENIERÍA.
3. Grado académico o título profesional
 Bachiller Título profesional Segunda especialidad
 Maestro Doctor
4. Tipo de Investigación:
 Tesis Trabajo de investigación Trabajo de suficiencia profesional
 Trabajo académico
5. Título de Trabajo de Investigación: GENERACIÓN DE CAUDALES MEDIOS MENSUALES EN LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO EL TINGO, COMUNIDAD CAMPESINA DE UNANCA – PROVINCIA DE SAN PABLO.
6. Fecha de evaluación: 29 diciembre 2023
7. Software antiplagio: TURNITIN URKUND (OURIGINAL) (*)
8. Porcentaje de Informe de Similitud: 15 %
9. Código Documento: oid:3117:300959933.
10. Resultado de la Evaluación de Similitud:
 APROBADO PARA LEVANTAMIENTO DE OBSERVACIONES O DESAPROBADO

Fecha Emisión: 30 de diciembre del 2023

 FIRMA DEL ASESOR Nombres y Apellidos: JOSE FRANCISCO HUAMÁN VIDAURRE DNI: 26609077	 UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA FACULTAD DE INGENIERÍA UNIDAD DE INVESTIGACIÓN Dra. Yvonne Katherine Fernández León DIRECTORA UNIDAD DE INVESTIGACIÓN FI
---	---

* En caso se realizó la evaluación hasta setiembre de 2023

COPYRIGHT © 2022 by
JAIME JOEL CHOLÁN GABRIEL

Todos los derechos reservados

¡No olvide citar esta tesis!

Si a alguno de ustedes le falta sabiduría, pídasela a Dios, y él se la dará, pues Dios da a todos generosamente sin menospreciar a nadie. Pero que pida con fe, sin dudar, porque quien duda es como las olas del mar, agitadas y llevadas de un lado a otro por el viento.

Santiago 1:5-6

DEDICATORIA

A Lisandro Cholán Vásquez y Julia Doraliza Gabriel Rojas, los padres más humildes y hermosos del mundo.

A Denis, Yoselín, Yulisa y Elita, quienes, en mis momentos difíciles, supieron desprender una sonrisa en mi alma.

A María Rosaria Rojas Vásquez, ¡el inicio de mi vida!

A Neyda Fiorela Carrasco Tongombol, ¡el amor de mi eternidad!

A Sindy Thatiana (mi pequeña Kimberly), la herencia que recibí de Jehová, “Dios de los ejércitos”.

A la comunidad campesina de Unanca, “La eterna retama sampablina, que es mi hogar”

Jhames.

AGRADECIMIENTO

1 CORINTIOS 55:57

Más gracias sean dadas a Dios, que nos da la victoria por medio de nuestro Señor Jesucristo.

Santa Biblia – REYNA VALERA 1960.

En primer lugar, agradezco a Dios, quien frecuentemente me dijo al oído: **“Tranquilo, Yo te ayudo”**; por eso, a Él sea la gloria y la honra por los siglos de los siglos, amén.

Agradezco a mis padres: Lizandro Cholán Vásquez y a Julia Doraliza Gabriel Rojas, porque con el sudor de su frente, sustentaron fielmente mi formación profesional.

A la Universidad Nacional de Cajamarca, por cobijarme cinco años en sus entrañas, periodo suficiente en el que recibí el mejor conocimiento científico en ingeniería hidráulica, respaldándome para ¡consagrar mi vida en defensa de la verdad!

A mi asesor, Dr. Ing. José Francisco Huamán Vidaurre, por su vasto conocimiento en hidrología, complemento perfecto para la elaboración de este trabajo de investigación.

A Wilder Merlo Vásquez y Elver Adelmo Gonzáles Bazán, patrocinadores que no dudaron en unir su esfuerzo económico, a fin de insertar su granito de arena, con el deseo de aportar el conocimiento que permita el desarrollo de nuestro pueblo; por ello, los considero como promotores de la ingeniería hidráulica en la Provincia de San Pablo.

A mi equipo de campo: Ronald Alexander Padilla Santa Cruz, Dany Brandenly Campos Toledo, Denis Francisco Cholán Gabriel, Brigeth Elita Cholán Gabriel, Jerson Herrera Chilón, y Euler Cueva Cholán; jóvenes muy activos y ambiciosos de aprender e insertarse en el bello mundo de la ingeniería hidráulica.

EPÍGRAFE

El atardecer para la ingeniería hidráulica parece acercarse,
las hermosas mañanas de primavera parecen terminar,
mientras el invierno helado pretende establecerse;
impidiendo al cenit de vida, verdadera felicidad.

ÍNDICE

DEDICATORIA.....	III
AGRADECIMIENTO	IV
EPÍGRAFE	V
ÍNDICE	VI
ÍNDICE DE FIGURAS.....	VIII
RESUMEN.....	XVI
SUMMARY	XVII
PRESENTACIÓN.....	1
CAPITULO I: INTRODUCCIÓN.....	5
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	6
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	6
1.3. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.....	7
1.4. ALCANCES DE LA INVESTIGACIÓN.....	7
1.5. OBJETIVOS	8
1.5.1. Objetivo General.....	8
1.5.2. Objetivos Específicos:	8
1.6. DESCRIPCIÓN DE CONTENIDOS.....	8
CAPITULO II: MARCO TEÓRICO.....	10
2.1. ANTECEDENTES TEÓRICOS	10
2.2. BASES TEÓRICAS	12
2.2.1. Parámetros físicos de la cuenca	12
2.2.2. Parámetros de forma de la cuenca	14
2.2.3. Parámetros de relieve de la cuenca.....	18
2.2.4. Frecuencia de ríos (Fr).....	31
2.2.5. Tiempo de concentración (Tc).....	31
2.2.6. Rectángulo equivalente.....	32
2.2.7. Análisis de la precipitación.....	33
2.2.8. Tratamiento de datos Hidro-Meteorológicos.....	33
2.2.9. Análisis De Bondad De Ajuste	48
2.2.10. Modelos Lutz Scholz	50
2.2.11. Mediciones Hidrológicas	63

CAPITULO III: MATERIALES Y MÉTODOS	65
3.1. METODOLOGÍA	65
3.1.1. Información Geográfica	65
3.1.2. Procedimiento	76
3.1.3. CÁLCULOS PARA LA APLICACIÓN DEL MODELO DE LUTZ SCHOLZ	80
3.1.4. EQUIPOS Y MATERIALES	¡Error! Marcador no definido.
CAPITULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	85
4.1 RESULTADOS.....	85
4.1.1. Análisis Cartográfico De La Cuenca	85
4.1.2. Tratamiento de datos	89
4.1.3. Completación de datos faltantes	94
4.1.4. Modelos Determinísticos Parciales.....	98
4.2. GENERACIÓN DE CAUDALES:	104
4.3. AFORO DE CAUDALES EN LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RIO EL TINGO	107
CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	108
4.3.1. CONCLUSIONES.....	108
4.3.2. RECOMENDACIONES	110
BIBLIOGRAFIA.....	112
ANEXOS.....	115
ANALISIS DE CONSISTENCIA.....	¡Error! Marcador no definido.
1. FOTOGRAFÍAS.....	144

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Siembra de alverja, en un shiquil de papas, también se puede notar la presencia de vegetación con eucalipto – anexo El Rejo.	1
Figura 2. Siembra de alverja, luego de haber cosechado la papa, vista mirando al norte del proyecto – anexo El Rejo.	3
Figura 3. Vista mirando al noreste del proyecto, se puede notar la presencia de cultivo de maíz y la presencia de bosques de Eucalipto, característica principal de la cuenca – anexo Capilla (julio 2021).	3
Figura 4. Un día de lluvia en el anexo Capilla, se puede notar, la presencia de neblina, típico de la sierra peruana, mes de febrero - 2022.	4
Figura 5. Esquema de modelos de formas de cuenca según rangos del coeficiente de Gravelius.	17
Figura 6. Esquema de análisis y ejemplo para el cálculo de la pendiente en una faja según Alvord.	20
Figura 7. Representación gráfica del orden de los gráficos.	23
Figura 8. Serie histórica de una cuenca hidrográfica.	35
Figura 9. Serie histórica de una cuenca hidrográfica.	36
Figura 10. Cuadro de toma de decisiones de la información hidro-meteorológica.	47
Figura 11. Ubicación departamental - cuenca hidrográfica del río El Tingo.	65
Figura 12. Ubicación provincial – cuenca hidrográfica del río El Tingo.	66
Figura 13. Ubicación Distrital de la cuenca hidrográfica del río El Tingo.	67
Figura 14. Ubicación geográfica de la cuenca hidrográfica del río el Tingo.	68
Figura 15. La minga en la cosecha de papa, es una característica común en las familias unanquinas – Capilla Alta.	72
Figura 16. Siembra de Alverja, con yunta, en la cuenca hidrográfica del río El Tingo – Anexo “El Rejo”.	72
Figura 17. Bocatoma del canal de regadío “Horno Pata”, lecho del río “El Tingo”.	73
Figura 18. Vista panorámica, de la parte derecha de la cuenca hidrográfica del río El Tingo, vertiente de la quebrada “La Piriana”.	74

Figura 19. Vista panorámica, de la parte izquierda de la cuenca hidrográfica del río El Tingo, vertiente del cauce principal “El Tingo”, Anexos Dos de Mayo y El Rejo, Comunidad de Unanca.....	75
Figura 20. Pesca de truchas, aguas abajo del punto emisor de la cuenca hidrográfica del río “El Tingo”, en las inmediaciones de la intersección del río Callancas y Río El Tingo o Unanquino.	75
Figura 21. Vista satelital de las estaciones meteorológicas aledañas a la cuenca hidrográfica del río El Tingo, utilizando el software Google Earth.	77
Figura 22. Ubicación geográfica de las estaciones meteorológicas aledañas a la cuenca hidrográfica del río El Tingo.	78
Figura 23. Curva hipsométrica de la cuenca hidrográfica del río El Tingo.	87
Figura 24. Cuenca hidrográfica del río El Tingo.	88
Figura 25. Serie histórica de precipitaciones promedios mensuales.	89
Figura 26. Serie histórica de precipitaciones promedios mensuales.	89
Figura 3327. Serie histórica de precipitaciones promedios mensuales.	92
Figura 3428. Serie histórica de precipitaciones promedios mensuales.	92
Figura 3529. Serie histórica de precipitaciones promedios mensuales.	93
Figura 3430. Análisis doble masa, para obtener los periodos de estudio.....	95
Figura 3431. Análisis doble masa, para obtener los periodos de estudio.....	96
Figura 32. Precipitaciones medias y efectivas mensuales de la cuenca hidrográfica del río El Tingo.	102
Figura 33. Caudales generados para el año promedio para la cuenca el Tingo.	105
Figura 34. Construcción y/o habilitación de nuestro equipo para la realización de aforos: el tubo de Pitot y regla de aforo.	144
Figura 35. Vista panorámica del punto emisor de la cuenca hidrográfica del río “El Tingo”.	144
Figura 36. Vista panorámica del río El Tingo a 50 metros de la intersección con su afluente principal, quebrada “La Pirirana”.....	145

Figura 37. Inmediaciones del punto emisor de la cuenca hidrográfica del río El Tingo, con cobertura de pastos cultivados.....	145
Figura 38. Verificación de la corriente de agua e inspección de equipos para el aforo del río “El Tingo”.....	146
Figura 39. Verificación de las unidades de medida e inspección de equipos para el aforo del río “El Tingo”.....	146
Figura 40. Ubicación y fijación de la cinta de referencia para el seccionamiento parcial del lecho del río “El Tingo”.....	147
Figura 41. Habilitación y preparación del material que servirá para el registro de datos de campo, río “El Tingo”.....	147
Figura 42. Fijación de cinta de referencia para el seccionamiento del espejo de agua en época de invierno.....	148
Figura 43. Nuestro equipo de apoyo, realizando la fijación de cinta de referencia para el seccionamiento del espejo de agua en época de verano o estiaje (equidistancia = 10 cm), abril 2019.....	148
Figura 44. Vista panorámica de la intersección natural del río el Tingo, con la quebrada la Piriana, época de verano o estiaje, turbidez y cantidad, abril 2019.....	149
Figura 45. Seccionamiento y medición del espejo de agua, para la determinación del número de intervalos o áreas parciales, abril 2019.....	149
Figura 46. Medición del espejo de agua, en época de invierno, además de visualizar el efecto de la turbidez del agua. (abril 2021).....	150
Figura 47. Medición del espejo de agua, en época de invierno, además de visualizar el efecto de la turbidez del agua. (abril 2021).....	150
Figura 48. Medición del espejo de agua, en época de invierno, además de visualizar el efecto de la turbidez del agua. (abril 2021).....	151
Figura 49. Medición del espejo de agua, en época de invierno, además de visualizar el efecto de la turbidez del agua. (abril 2021).....	151
Figura 50. Medición del tirante en cada punto marcado en la cinta de referencia (cada 10 cm).	152

Figura 51. Regulación del Tubo de Pitot, para medir tirantes al 60% de profundidad para determinar la velocidad representativa correspondiente.	152
Figura 52. Medición de la presión por Tubo de Pitot, de tirantes al 60% de profundidad para medición de velocidad representativa.	153
Figura 53. Medición de la presión por Tubo de Pitot, de tirantes al 60% en un punto y momento exacto.	153
Figura 54. Medición del tirante parcial (segmentos de 20 cm), de manera totalmente vertical.	154
Figura 55. Visita técnica, con fines de verificar las instalaciones de la estación meteorológica de Granja Porcón. (Julio 2022).	154
Figura 56. Cuenca hidrográfica del río el Tingo, visto desde la cabecera de cuenca, en el anexo Dos de Mayo. (Fotografía tomada en el mes de mayo de año 2021).	155
Figura 57. Participando de la construcción de la bocatoma perteneciente al canal de riego Horno Pata, los materiales utilizados son barro, plástico, arena, madera, partículas de madera y sacos de arroz o de abonos – anexo Capilla. (mayo 2021).	155
Figura 58. Participando de la construcción de una bocatoma, para el canal denominado Horno Pata, en el anexo Capilla, con el fin de disminuir la filtración, utilizamos sacos de nailon y arena. (junio 2022).	156
Figura 59. Trilla mecanizada de trigo, mediante la minga, haciendo honor a las costumbres Cajamarquinas, en el lugar denominado “El Ingenio”, comprensión de la cuenca hidrográfica del río “EL Tingo”. (agosto 2021).	156
Figura 60. Precipitaciones de intensidad moderada, registrada el día 21 de febrero del año 2022, vertiente de la quebrada “Piriana”.....	157
Figura 61. Un día de vacunación al ganado vacuno, junio del 2021, en el anexo Capilla.....	157
Figura 62. Participando del desyerbo de Olluco - marzo del 2021, anexo Capilla parte alta.	158
Figura 63. Vista panorámica de un terreno con cultivo de maíz, anexo de Capilla parte alta.	158
Figura 64. Vista panorámica en los alrededores al punto emisor de la cuenca hidrográfica del río El Tingo, luego de una intensa lluvia, 08 de marzo del 2023.	159

Figura 65. Vista panorámica de la carretera adyacente a la quebrada La Piriana, cerca al punto emisor, acceso al anexo Santa Rosa.	159
Figura 66. Vista panorámica del riachuelo La Huaylla, afluente del río El Tingo.	159
Figura 67. Fuertes precipitaciones, con fuertes truenos y relámpagos, una característica geográfica de los andes peruanos – Cuenca hidrográfica del río El Tingo, ubicada a dos Kilómetros de donde se registró la toma fotográfica.	160
Figura 68. Aforo en el punto emisor de la cuenca hidrográfica del río El Tingo, por el método del flotador.	160
Figura 69. Momento, en el cual se viene realizando el aforo por el método del flotador.....	161
Figura 70. Ganado vacuno de la raza Holstein, un animal muy común criado por los ganaderos de la cuenca hidrográfica del río El Tingo.....	161
Figura 71. Limpieza del canal de regadío Capilla de Unanca, por minga, una característica de la zona.	162
Figura 72. Presencia de Roca sólida, forma parte del vaso natural “El Taladro”.	162

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación de cuencas.	12
Tabla 2. Formas geométricas de las cuencas hidrográficas en base a rangos del índice de Gravelius.	16
Tabla 3. Clasificación de las cuencas respecto a la pendiente.	20
Tabla 4. Rangos aproximados de la densidad de drenaje.....	24
Tabla 5. Clasificación de una cuenca en función de su coeficiente de masividad.	26
Tabla 6. Potencial de degradación hídrica de microcuencas altoandinas de Cajamarca, para menores a 600 Km ²	27
Tabla 7. Rangos aproximados de la pendiente media del cauce principal.	29
Tabla 8. Índices de sinuosidad.	31
Tabla 9. Coeficientes de abastecimiento durante época de lluvias (%).	58
Tabla 10. Series para la regresión múltiple.	61
Tabla 11. Estaciones meteorológicas aledañas a la cuenca hidrográfica del río El Tingo.....	77
Tabla 12. Parámetros geomorfológicos de la cuenca del río El Tingo.	85
Tabla 13. Parámetros relacionados a la red de drenaje de la cuenca hidrográfica del río El Tingo.	86
Tabla 14. Áreas parciales, acumuladas y frecuencia acumulada utilizada para graficar la curva hipsométrica.	87
Tabla 15. Frecuencia absoluta y cotas promedio, que permiten graficar el polígono de frecuencia de altitudes.	88
Tabla 16. Análisis estadístico.....	97
Tabla 17. Determinación de las precipitaciones medias totales mensuales, cuenca hidrográfica del río El Tingo.	100
Tabla 18. Precipitación media total mensual, sobre la cuenca del río El tingo.....	100
Tabla 19. Cuadro resumen, de los valores calculados, en el proceso de determinar el coeficiente de escurrimiento de la cuenca El Tingo.....	101
Tabla 20. Parámetros para calcular la retención - cuenca El Tingo.	102

Tabla 21. Coeficientes de abastecimiento para la región de Cajamarca.	103
Tabla 22. Valores del gasto de la retención (meses de estiaje) –cuenca El Tingo.	104
Tabla 23. Valores del abastecimiento de retención “Ai” de la cuenca hidrográfica del rio el Tingo.	104
Tabla 24. Caudales generados para el año promedio en la cuenca hidrográfica del rio el Tingo.	104
Tabla 25. Series y coeficientes estadísticos para regresión múltiple.	106
Tabla 26. Series y coeficientes estadísticos para regresión múltiple.	106
Tabla 27. Precipitación mensual (mm) - estación meteorológica GRANJA PORCÓN.	115
Tabla 28. Precipitación mensual (mm) - estación meteorológica CONTUMAZÁ.	116
Tabla 29. Precipitación mensual (mm) - estación meteorológica LIVES.	117
Tabla 30. Precipitación mensual (mm) - estación meteorológica CHILETE.	118
Tabla 31. Precipitación mensual (mm) - estación meteorológica LLAPA.	119
Tabla 32. Precipitación mensual (mm) - estación meteorológica SAN PABLO.	120
Tabla 33. Precipitación mensual (mm) - estación meteorológica Magdalena.	121
Tabla 34. Precipitación mensual (mm) - estación meteorológica Llagadén Magdalena.	122
Tabla 35. Precipitación mensual (mm) - estación meteorológica A. WEBERBAUER.	123
Tabla 36. Acumulado de las precipitaciones promedios mensuales de las nueve estaciones, para graficar el diagrama doble masa.	124
Tabla 37. Tabla de precipitaciones completadas de manera preliminar, con los promedios mensuales, como se aprecia, no hay ninguna variación con la data SENAMHI.	125
Tabla 38. Tabla t – Student.	126
Tabla 39. Precipitaciones medias anuales de las nueve estaciones meteorológicas.	127
Tabla 40. Valores críticos de Δ_0 del estadístico Smirnov – Kolmogorov Δ , para varios valores de N y niveles de significación α	128
Tabla 41. Precipitaciones mensuales con información completada mediante el método de la regresión normalizada - LIVES.	129

Tabla 42. Precipitaciones mensuales con información completada mediante el método de la regresión normalizada - CHILETE.	130
Tabla 43. Precipitaciones mensuales con información completada mediante el método de la regresión normalizada - LLAPA.	131
Tabla 44. Precipitaciones mensuales con información completada de, mediante el método de	132
Tabla 45. Precipitaciones mensuales con información completada de, mediante el método de la regresión normalizada – HACIENDA LLAGADÉN (MAGDALENA).	133
Tabla 46. Precipitaciones mensuales con información completada de, mediante el método de la regresión normalizada – WEBERBAUER.	134
Tabla 47. Distribución de F de Fisher A.	135
Tabla 48. Distribución de F de Fisher A'.	136
Tabla 49. Bondad de ajuste de la estación Lives, con respecto a la estación Chilete.	138
Tabla 50. Formato de aforo utilizado en campo, para el registro de datos.	141
Tabla 51. Caudal aforado en el mes de abril del 2023, se puede considerar un caudal ocasional.	142
Tabla 52. Caudales registrados mediante aforo de la cuenca El Tingo.	142

RESUMEN

La presente investigación permitió generar caudales medios mensuales en la cuenca hidrográfica del río “El Tingo”, mediante el modelo determinístico y estocástico de LUTZ SCHOLZ. Para ello se delimitó la cuenca hidrográfica y se calculó sus parámetros geomorfológicos, a partir de un punto emisor, ubicado a cinco (5) metros aguas abajo de la intersección del río el Tingo y la quebrada la Piriana, lugar donde también se hicieron los aforos durante doce (12) meses. Seguidamente se recopiló, analizó, procesó y sintetizó la información meteorológica climática (periodo 1987 - 2020), de nueve estaciones meteorológicas más cercanas al lugar de estudio; además, se hizo la aplicación del modelo de Lutz Scholz, calculando la precipitación media de la cuenca, coeficiente de escorrentía, precipitación efectiva, retención, abastecimiento, entre otros. Finalmente, se generó los caudales medios mensuales, los mismos que muestran una relación directa con la precipitación; los caudales obtenidos en meses de estiaje: mayo, junio, julio, agosto y setiembre son 0.97 m³/s, 0.69 m³/s, 0.21 m³/s, 0.48 m³/s 0.78 m³/s respectivamente. Por otro lado, se logró apreciar que guardan una relación directa con la precipitación, siendo mayores en los meses lluviosos y menores en los meses de estiaje.

Palabras clave:

Caudales medios mensuales, cuenca del río El Tingo, modelo Lutz Scholz, Comunidad Campesina de Unanca, San Pablo.

SUMMARY

The present investigation allowed generating average monthly flows in the hydrographic basin of the “El Tingo” river, using the deterministic and stochastic model of LUTZ SCHOLZ. For this, the hydrographic basin was delimited and its geomorphological parameters were calculated, starting from a point emitting, located five (5) meters downstream from the intersection of the Tingo river and the Piriana stream, a place where they were also made. capacity for twelve (12) months. The climatic meteorological information (period 1987 - 2020) was then collected, analyzed, processed and synthesized from nine meteorological stations closest to the study location; In addition, the Lutz Scholz model was applied, calculating the average precipitation of the basin, runoff coefficient, effective precipitation, retention, supply, among others. Finally, the average monthly flows were generated, which show a direct relationship with precipitation; The flows obtained in dry months: May, June, July, August and September are 0.97 m³/s, 0.69 m³/s, 0.21 m³/s, 0.48 m³/s and 0.78 m³/s respectively. On the other hand, it was possible to see that they have a direct relationship with precipitation, being higher in the rainy months and lower in the dry months.

Key words:

Mean monthly flows, El Tingo river basin, Lutz Scholz model, Peasant Community of Unanca, San Pablo.

PRESENTACIÓN

La cuenca hidrográfica del río El Tingo, está ubicada en la comunidad campesina de Unanca, en el distrito y provincia de San Pablo, región Cajamarca; es una cuenca insertada geográficamente en la parte alto-andina del río JEQUETEPEQUE; se trata de una cuenca muy importante para la ciudad de San Pablo, pues su disponibilidad hídrica, es oferta única para el consumo humano en este lugar.

El río Llaminchán nace al centro y sur, en Poso seco y Viscachas uniendo sus aguas para formar el río Callancas, el mismo que recibe el caudal del río El Tingo que nace en la comunidad de Unanca (Bazán, E. 2012).

El 80 % de la población, desarrollan actividades de agricultura, ganadería y pesca, estas actividades demandan del recurso hídrico, para desarrollarse. Se sabe que, en el último padrón comunal realizado en el mes de mayo del año 2021, se han registrado poco menos de mil doscientas (1200) familias, adicionando a este registro otras cien (100), que por geografía no son comuneros; sin embargo, están involucradas en la cuenca. En ese sentido, creemos en la gestión y manejo integral del recurso hídrico, para las tierras del KUNTUR WASI.



Figura 1. Siembra de alverja, en un shiquil de papas, también se puede notar la presencia de vegetación con eucalipto – anexo El Rejo.

Describiendo geográficamente a esta cuenca, diremos que está conformada por los siguientes territorios:

La cuenca hidrográfica del río El tingo o río Unanquino abarca los siguientes lugares:

- 1) La Comunidad Campesina de Unanca, conformada por las siguientes localidades:
 - ✓ Santa Rosa de Unanca (con un 70 % de su territorio)
 - ✓ Nuevo Santa Rosa (con un 40 % de su territorio)
 - ✓ Capilla de Unanca (al 100 % de su territorio)
 - ✓ Carrerapampa (al 100 % de su territorio)
 - ✓ Dos de Mayo (al 100 % de su territorio)
 - ✓ El Rejo (al 100 % de su territorio)
 - ✓ Capilla Alta (al 100 % de su territorio)
- 2) Otros lugares pertenecientes a la provincia de San Pablo, ubicados a los alrededores de la Comunidad Campesina de Unanca (al sur oeste).
 - ✓ La totora (al 100 % de su territorio)
 - ✓ La Chonta (con un 35 % de su territorio, parte alta)
 - ✓ El Ingenio (con un 40 % de su territorio, parte alta)

En todos estos lugares, el recurso hídrico es aprovechado de manera convencional, ya que en su mayoría el riego de cultivos y pastos se hace por gravedad, mediante canales de regadío sin revestimiento y con bocatomas construidas en base a barro, rocas, plásticos y madera; de allí la preocupación de realizar este trabajo, que sin lugar a duda, es necesaria en términos de disponibilidad de información hidrológica, a fin de emprender proyectos que beneficien a una población que supera los tres mil habitantes.

El espacio geográfico en mención, es un territorio poseído por valientes hombres trabajadores que cultivan la chacra con la yunta de bueyes, y honorables mujeres de bien, que tejen el futuro de sus hijos e hijas con la callua y la rueca; esta percepción, atrajo nuestra atención intelectual, y buscando aportar conocimiento para el desarrollo socioeconómico de este pueblo, mediante la crianza de cuy, de truchas, además de la ganadería y agricultura, actividades que sin duda necesitan de una gestión integral del recurso hídrico; es que dejamos a disposición nuestro trabajo de investigación.



Figura 2. Siembra de alverja, luego de haber cosechado la papa, vista mirando al norte del proyecto – anexo El Rejo.



Figura 3. Vista mirando al noreste del proyecto, se puede notar la presencia de cultivo de maíz y la presencia de bosques de Eucalipto, característica principal de la cuenca – anexo Capilla (julio 2021).

El pueblo de Unanca, a diario desarrolla múltiples actividades; pero lamentablemente, su producción no ha atravesado fronteras económicas, debido a la escasa planificación y gestión de nuestros recursos naturales, muestra de ello es la falta de información hidrológica por ejemplo; más aún, si se trata de un espacio geográfico muy importante dentro de la provincia de San Pablo; en ese sentido, suponemos la planificación de proyectos hidráulicos que sostengan una futura escases de agua en la ciudad de San Pablo y sus alrededores, aunque esto ya se ha visto reflejado en tiempo de estiaje y aun así, se ha obviado esta situación.

Si bien es cierto, existen dos situaciones naturales bien marcadas, dentro de la cuenca hidrográfica en estudio, una de ellas es el inicio de las precipitaciones (épocas de lluvia), entre los meses de setiembre y abril, tiempo en que los agricultores siembran el maíz; y la época de estiaje, caracterizada por la presencia de precipitaciones en forma de hielo entre los meses de mayo y agosto; en estiaje, los diferentes cultivos deben ser sembrados bajo un estricto plan agrícola que exige técnicas de riego adicionales al riego común o riego por gravedad; cabe precisar que este tipo de riego tiene una baja eficiencia en su campo de acción, resultando un enorme desperdicio del recurso hídrico, centralizándose únicamente en algunos lugares, mientras que en otros hay déficit. No está por demás mencionar que, esta problemática ha postergado el crecimiento o aumento del índice económico que la agricultura y ganadería reflejan en el lugar.



Figura 4. Un día de lluvia en el anexo Capilla, se puede notar, la presencia de neblina, típico de la sierra peruana, mes de febrero.

CAPITULO I

INTRODUCCIÓN

El agua; No podemos vivir sin ella; tampoco los animales: los perros, las ranas, los gatos, los murciélagos, los ratones, los mosquitos, las pulgas, las abejas, los caballos ni los árboles; nadamos en ella, lavamos con ella, jugamos en ella, los peces mueren si no están dentro de ella, limpiamos y cocinamos con ella; está en nuestro té, nuestro café y en la leche; en nuestras lágrimas, sangre y boca; las plantas morirían sin ella. El agua es la combinación perfecta de oxígeno e hidrógeno, que juntos forman el vital y refrescante líquido que permite la vida sobre la tierra; es tanta su importancia que nos atrevemos a decir que el agua lo es todo.

La historia de la humanidad nos dice que pocas civilizaciones aprovecharon el agua, de manera sostenible, por ejemplo: los babilonios y los romanos, buscaron destacarse mediante el desarrollo de tecnologías de uso del agua a un nivel importante para su época; mientras que otras culturas nos dan indicios de que el ser humano casi ni se preocupó en gestionar este recurso; tal vez porque la oferta era vasta para ese entonces. En ese lineamiento y bajo ese contexto, en pleno siglo XXI sucede todo lo contrario, pues el interés por aprovechar mejor el agua, es frecuente; muestra de ello, es que, se viene promoviendo programas de gestión integral de los recursos hídricos, partiendo de la unidad fundamental (cuenca hidrográfica), a nivel nacional y mundial.

Para iniciar con la gestión de los recursos hídricos en una cuenca hidrográfica, primeramente debemos saber su cantidad y calidad, y es allí que la mayoría de cuencas hidrográficas, truncan esta gestión, pues no cuentan con tal información, debido a que no disponen de los recursos necesarios para producir la misma; Por eso, a nivel nacional, se viene aplicando alternativas que permitan generar cierta información a partir de la utilización de modelos hidrológicos, destacando entre ellos, al modelo determinístico - estocástico de LUTZ SCHOLZ; un modelo que creemos importante y será aplicado en nuestra investigación a fin de generar los caudales medios mensuales, en la cuenca hidrográfica del río El Tingo.

La cuenca hidrográfica del río “El Tingo”, es el resultado de la intersección del río Tingo y la quebrada “La Piriana”, su punto de aforo se ubica a 5 metros aguas abajo de dicha intersección de estos lechos naturales; no está demás mencionar que desde dicho punto de aforo, el río El Tingo o río Unanquino, recorre unos 1200 metros aguas abajo y se une con el río Callancas, dando origen así, al río “Llaminchan”, todo este sistema de drenaje, forma parte de la cuenca del Río Jequetepeque, mencionando también a la Presa Gallito Ciego. Como se

puede ver, nuestra investigación, toma más relevancia debido a que estamos frente a una cuenca que dota de agua para cultivo de arroz y otros usos de interés social y nacional.

A lo largo de su lecho, tanto el río como la quebrada, abastecen a diferentes canales de regadío en la zona (Capilla de Unanca, San Pablo – San Luis, El Coñor, etc.), estos canales no cuentan con revestimiento, y abastecen de agua a extensas áreas de pastos (heno y raigrás) en el lugar, principalmente en épocas de estiaje, mientras que, en épocas de lluvia, el caudal fluye en su totalidad; cabe precisar que el riego en esta zona es por gravedad.

Sabemos que el modelo determinístico – estocástico de Lutz Scholz, ya ha sido desarrollado en regiones andinas del Perú y recomendado para grandes cuencas, por lo que se corre el riesgo de que en pequeñas cuencas hidrográficas podría reproducir resultados dudosos sino se realiza la validación correspondiente. En este sentido, resaltamos nuestra preocupación de realizar un trabajo consensuado, responsable y dirigido profesionalmente.

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La cuenca hidrográfica del río “El tingo”, Comunidad Campesina de Unanca, distrito y provincia de San Pablo, forma parte de la red de drenaje que abastece de agua a un importante número de pobladores de los distritos de San Pablo, San Luis y San Bernardino; como tal, no cuenta con información hidrométrica, ni mucho menos hidrológica, información relevante conocer la disponibilidad hídrica para realizar la regulación y distribución del agua de acuerdo al requerimiento de las comunidades campesinas aledañas, realizar proyecciones respecto al comportamiento hídrico de la cuenca. Esta situación de escasez de información, acompañada del factor crecimiento demográfico en la zona, ha llamado toda nuestra atención, y producto de ello, es que hemos encaminado un proyecto de investigación que nos permita abordar el tema de manera responsable y profesional.

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

La falta de información hidrométrica dificulta la planificación y gestión integral de los recursos hídricos en la cuenca hidrográfica del río “El Tingo”, esta situación ha postergado por décadas, la planificación sostenible de los recursos hídricos a nivel de cuenca; a pesar que dicha cuenca no ha registrado déficit de agua en los meses lluviosos; sin embargo, en los meses de estiaje, ya viene sosteniendo un importante margen entre oferta y demanda, provocando un desabastecimiento de agua, ya sea para

riego, para consumo humano, actividades acuícolas, industria y otros; además aduce a luchas sociales y familiares por su mala distribución tal vez. En ese sentido, nos preguntamos: ¿Qué tipo de información hidrológica se puede generar en una cuenca hidrográfica que no dispone de ningún tipo de información meteorológica, con confines de regulación y distribución de acuerdo a los requerimientos en los usos de agua?

1.3. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

La cuenca hidrográfica del río “El Tingo” o río “Unanquino”, es una de las más importantes de la provincia de San Pablo, por ser fuente de abastecimiento de agua (superficial y subterránea), de unas cuatro mil familias aproximadamente, y también es un espacio geográfico con condiciones geológicas necesarias para promover proyectos de almacenamiento de agua, como la postergada Presa Taladro, que permita la gestión de abastecimiento de agua potable, canales de riego, centrales hidroeléctricas, tratamiento de aguas residuales, industriales, entre otros, bajo una proyección hidrológica; por ello, creemos que una vez generados los caudales medios mensuales, mediante el modelo determinístico - estocástico de LUTZ SCHOLZ, dispondremos de una data hidrométrica que servirá para impulsar el diseño, operación y mantenimiento de otros proyectos hidráulicos y también a trabajos de investigación que se enmarquen en el futuro dentro de la cuenca, o adyacentes a ella.

1.4. ALCANCES DE LA INVESTIGACIÓN

Este trabajo de investigación está orientado a generar caudales medios mensuales en la cuenca hidrográfica del río “El Tingo”, mediante el modelo determinístico - estocástico de LUTZ SCHOLZ; el modelo nos brindará información de salida, a partir de una información procesada, preparada e ingresada, en términos de: precipitación media, temperatura, parámetros geomorfológicos de la cuenca, etc.

1.5. OBJETIVOS

1.5.1. Objetivo General

Estimar los caudales medios mensuales, en la cuenca hidrográfica del río “El Tingo”, mediante el modelo de Lutz Scholz; a partir de información climática periodo 1987 – 2020, a fin de obtener la disponibilidad hídrica.

1.5.2. Objetivos Específicos:

- Recopilación y procesamiento de información cartográfica.
- Realizar las mediciones hidrométricas tomando como punto de aforo, una sección hidráulica en el río el Tingo, entre los años 2019 – 2020.
- Recopilar y procesar la información hidrológica disponible.
- Modelamiento hidrológico y generación de caudales medios mensuales, utilizando el modelo determinístico - estocástico de Lutz Scholz.

1.6. DESCRIPCIÓN DE CONTENIDOS

En el Capítulo I, haremos una breve referenciación a lo que se refiere nuestro trabajo de investigación, en ese sentido, consideraremos la preocupación por aportar la investigación, considerando una solución al problema existente y su alcance.

Mientras que en el capítulo II, registramos los trabajos de investigación que se han desarrollado y que guardan relación interesante con nuestro tema, estos trabajos son de interés local, nacional e internacional; a partir de enfocaremos el procedimiento y los protocolos recomendados para la realización de nuestra investigación, dicho de otro modo, citaremos la información bibliográfica que sustente teóricamente nuestro trabajo, aquí también consideraremos el marco teórico necesario.

Por su parte el capítulo III, nos permite detallar los materiales que va a ser utilizados, así como también la metodología a ser utilizada y a partir del tratamiento de la información climática y la aplicación del modelo determinístico - estocástico de LUTZ SCHOLZ, obtendremos los caudales medios mensuales, para la cuenca hidrográfica del río El Tingo.

Seguidamente, en el capítulo IV, obtendremos los resultados contrastados con trabajos realizados y serán presentados mediante tablas, y gráficos.

Finalmente, en el capítulo V, concluiremos y brindaremos las recomendaciones identificadas desde el inicio hasta el final de nuestra investigación.

Por su parte, la información recolectada y el cálculo realizado, también será presentado en tablas y gráficos, con el fin de facilitar el análisis y discusión de resultados, adicionando la presentación, explicación y contraste de los resultados hidrométricos obtenidos y medidos. Este apartado corresponde a los Anexos.

En lo referente a planos, adjuntaremos la delimitación de la cuenca, los mapas de isoyetas, el orden de causes, las áreas parciales y la red de drenaje.

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES TEÓRICOS

Ernesto Salvador Bazán Hernández, en el año 2011, desarrolló el trabajo de investigación denominado: “Características geológicas y geoquímicas del prospecto HUAYQUISHONGO, provincia de San Pablo departamento de Cajamarca”, en el cual determinó que, por medio del análisis estructural y litológico se observa fuertes fracturamientos y fallamientos que pueden ser buenas zonas de entrapamientos de acuíferos y la posibilidad de represamiento de aguas, considerando a la cuenca hidrográfica del río el Tingo; adicionalmente dice que se trata de un espacio de rocas volcánicas con presencia de acuíferos y acuitardos, principales fuentes de abastecimiento de agua para la comunidad Unanca.

Nixon Terán en el año 2014 realizó una investigación titulada: “Volumen de agua aprovechable en la microcuenca del Río “Tres Ríos”, usando el modelo determinístico - estocástico LUTZ SCHOLZ, validado para los años hidrológicos 2008-2012”, en donde se determina el ajuste entre caudales medios generados por el modelo y los caudales medidos directamente, durante los años hidrológicos 2008-2012 en la cuenca Tres Ríos; además, realizó la calibración y validación del modelo para el año promedio, usando información de la estación hidrométrica Ronquillo, obteniendo un ajuste de 99.6 %.

En el año 2015, se realizó el trabajo de investigación denominado: “Modelo de geoformaciones cóncavas para recargas de agua subterránea en cabeceras de la cuenca del río Jequetepeque, Cajamarca”, desarrollado por Francisco Alcántara. Al consultar este trabajo hemos podido resaltar que, las geoformaciones cóncavas, aportan el 71.11% de las precipitaciones que ocurren en los espacios de las cabeceras de cuenca, este valor expresado en metros cúbicos, es de 1 309 593.6 m³/año.

Por otro lado, José Huamán y Segundo Rodríguez, en su trabajo de investigación: “Generación de caudales medios mensuales de la cuenca grande (Mashcón) impactada por actividad minera”, realizado en el 2017; concluyeron que: los caudales medios mensuales (mm/mes), generados por el modelo determinístico estocástico LUTZ SCHOLZ (período 1968-2016), varían en relación al régimen de precipitación pluvial de la cuenca Grande; tal que, en los meses lluviosos varía de 71.2

mm/mes a 46.9 mm/mes y en los meses de escasez varía de 40.5 mm/mes a 28.2 mm/mes, notándose una gran diferencia entre ambos períodos; además se resalta que los caudales incluyen la escorrentía directa y el flujo base.

De igual modo, en el año 2018, Edison Crisólogo en su trabajo de investigación denominado: “Disponibilidad de agua en la cuenca del río chonta, generada a partir de información climática”, concluyó que la oferta hídrica de la cuenca del río Chonta, generada por el modelo, no muestra relación con los caudales aforados (agosto – febrero), debido a que los caudales aforados, se realizaron en un periodo de tiempo corto; además, la cuenca en estudio está impactada principalmente por canales de irrigación, los cuales derivan un caudal de 1.12 m³/s; por lo tanto, si sumamos este caudal a los caudales aforados en los meses de estiaje (agosto y septiembre), los valores para dichos meses se aproximan más a los valores calculados por el modelo.

Finalmente, en el año 2019, Luis Rivasplata, en su trabajo: generación de escorrentía superficial a partir de información climática, en la cuenca de la quebrada huertas – Chilete, Cajamarca, concluye que mediante la aplicación del modelo determinístico – estocástico Lutz Scholz, la precipitación muestra un régimen característico en los meses de lluvia y en los meses de poca precipitación, como en el caso de marzo (mes de mayor precipitación) con 316.63 mm y en agosto (mes de menor precipitación) con 2.53 mm.

2.2. BASES TEÓRICAS

Parámetros físicos de la cuenca

La forma de la cuenca tiene mucho que ver con las características del hidrograma de descarga de una determinada corriente, particularmente en los eventos de avenidas máximas, las cuencas de igual área, pero de diferente forma, generan hidrogramas diferentes; La forma de la cuenca condiciona la velocidad del escurrimiento superficial. Para cuencas de igual superficie y formas diferentes, se espera un comportamiento hidrológico también diferente. La medición de los factores de forma de una cuenca, se realiza por medio de una metodología que permite cubrir dos objetivos. El primero, es que permite comparar la forma de la cuenca con figuras geométricas conocidas; el segundo, es que permite comparar los resultados adimensionales, con los obtenidos en otras cuencas, en las que se puede tener mayor información histórica de su comportamiento hidrológico, (CARDONA, B.L. 2016).

a. Área (A).

Es la característica morfométrica e hidrológica más importante. Está definida como la proyección del área geográfica en un plano imaginario, delimitada por una línea cerrada denominada “línea divisoria de aguas”; este espacio geográfico determina el nivel de influencia de las precipitaciones en el aporte de esorrentía, tanto directa como de flujo base o sostenido. El tamaño relativo de estos espacios hidrológicos define o determina, aunque no de manera rígida los nombres que se muestran en la tabla siguiente; esto, como unidad hidrológica. Se mide en kilómetros cuadrados.

Tabla 1. Clasificación de cuencas.

UNIDAD HIDROLÓGICA	ÁREA(Km²)
UNIDAD	0 - 5
SECTOR	May-20
MICROCUENCA	20 - 100
SUBCUENCA	100 - 300
CUENCA	300 – a más

Fuente: JIMÉNEZ, MATERÓN. 1986.

***Nota:** Personalmente, hemos asignado la definición de cuenca, a nuestra investigación, más por ser unidad fundamental hidrológica, y no por calificativos de magnitud de área, ya que una cuenca puede estar comprendida en la otra y los valores de superficie pueden diferir considerablemente.*

b. Perímetro de la cuenca (P).

Es la longitud de la línea de divortio aquarum o divisoria de aguas. Se mide mediante el curvímetero o directamente se obtiene del software en sistemas digitalizados, (ORTIZ, S. 2004)

Es la longitud sobre un plano horizontal, que recorre la divisoria de aguas. Este parámetro se mide en unidades de longitud y se expresa normalmente en metros o kilómetros, (CARDONA, B.L. 2016).

El perímetro (P) y su forma, están íntimamente relacionados con la litología y edad de la cuenca de drenaje. Materiales blandos darán formas redondeadas, mientras que materiales más duros, darán formas más quebradas o lobuladas. Igualmente, ya que la tendencia de las cuencas es la de conseguir formas redondeadas, a igualdad de litología, una cuenca redondeada implica mayor desarrollo, (MONTSERRAT, J. 1985).

c. Longitud de la cuenca (L).

Es la Única variable que define en cierto modo la elongación de la cuenca y que es, a la vez, de medición directa. Existen varios criterios para su cálculo, y están en relación directa con la característica que se quiera resaltar. De esta forma, si se intenta analizar el comportamiento hidrológico de una cuenca, la medida de la longitud de la misma deberá coincidir con el máximo recorrido del agua; es decir, se deberá tomar la longitud del curso principal. Si, por el contrario, lo que quiere conocerse es, exclusivamente, la forma geométrica de la cuenca sin más consideraciones, la longitud que deberá tomarse será la de la máxima distancia en línea recta dentro de la misma, (MONTSERRAT, J. 1985).

d. Ancho de la cuenca (B).

Se define como la relación entre el área y la longitud de la cuenca; otros autores definen a esta relación como la amplitud de la cuenca y se determina mediante la siguiente expresión, (CARDONA, B.L. 2016).

$$B = \frac{A}{L} \quad (1)$$

Donde:

B: ancho de la cuenca

A: área de la cuenca (km²)

L: longitud de la cuenca (km)

Cabe precisar que: los valores altos de B implicarán cuencas más anchas y valores bajos de B, pero siempre por encima de la unidad, implicarán cuencas alargadas, (MONTSERRAT, J. 1985).

e. Orientación.

Este parámetro se determina de acuerdo a la orientación del río principal de la cuenca, en relación al norte, y se considera su influencia especialmente en las zonas de ladera, en donde la inclinación de las vertientes afectará la influencia solar. La orientación de la cuenca, con respecto al movimiento del sol, y a la interposición de las cadenas montañosas, con respecto a las corrientes de aire; se trata de un factor que influye en su comportamiento hidro-meteorológico.

Parámetros de forma de la cuenca.

La determinación de las características de forma, es calculada mediante el uso de parámetros asociados al área, perímetro o la longitud del cauce de agua más largo.

La forma de la cuenca interviene de manera importante en las características del hidrograma de descarga de un río, particularmente en los eventos de avenidas máximas. En general, cuencas de igual área, pero de diferente forma generan hidrogramas diferentes. Para determinar la forma de una cuenca, se utilizan los coeficientes que a continuación se describen (LLAMAS, J. 1993).

a. Factor de forma de Horton (K_f).

Es la relación entre el área de la cuenca y el cuadrado de la longitud de cuenca. Este parámetro mide la tendencia de la cuenca hacia las crecidas, rápidas y muy intensas a lentas y sostenidas, según que su factor de forma tienda hacia valores extremos, grandes o pequeños, respectivamente. Es un parámetro adimensional que denota la forma redondeada o alargada de la cuenca, (ORTIZ, S. 2004).

$$K_f = \frac{A}{L^2} \quad (2)$$

Donde:

K_f : factor de Forma de Horton

A: área de la cuenca (km²)

L: longitud de la cuenca

b. Coeficiente de compacidad (K_c).

Conocido también como coeficiente de Gravelius, ya que fue propuesto por Gravelius, es el parámetro adimensional que relaciona el perímetro de la cuenca y el perímetro de un círculo de igual área que el de la cuenca. Este parámetro, describe la geometría de la cuenca y está estrechamente relacionado con el tiempo de concentración del sistema hidrológico. Las cuencas redondeadas tienen tiempos de concentración cortos, con gastos pico, muy fuertes y recesiones rápidas, mientras que las alargadas tienen gastos pico, más atenuados y recesiones más prolongadas, (ORTIZ, S. 2004).

Las ecuaciones que explican esto, son:

$$K_c = \frac{P}{P_c} = \frac{P}{2 * \pi * R} \quad (3)$$

De la ecuación N° 03, podemos inferir, que como el área de la circunferencia es igual al área de la cuenca, entonces en función del área de la cuenca, tendremos:

$$K_c = 0.2821 * P * A^{-1/2} \quad (4)$$

Donde:

Kc: coeficiente de compacidad

A: área de la cuenca (km²)

P: perímetro de la cuenca

Pc: perímetro de la circunferencia

R: radio de la circunferencia

Se han establecido tres categorías para la clasificación de acuerdo con este parámetro:

Tabla 2. Formas geométricas de las cuencas hidrográficas en base a rangos del índice de Gravelius.

Clase de forma	coeficiente de compacidad	Forma de cuenca
Clase I	1 a 1.25	Casi redonda a oval - redonda
Clase II	1.26 a 1.50	Oval - redonda a oval - oblonga
Clase III	1.51 a más de 2	Oval - oblonga a rectangular - oblonga

Fuente: CAMPOS, D. 1992.

La clasificación geométrica de cuencas mediante el criterio de rangos del índice de Gravelius, es una de las más relevantes y se adecúa mucho a la geometría de las cuencas de la región Cajamarca; y en general, a los sistemas hidrológicos altoandinos ubicados en las tres vertientes peruanas: Titicaca, Pacífico y Atlántico, (ORTIZ, S. 2016).

En la figura N° 5, se muestra de forma aproximada los modelos geométricos de cuencas utilizando el criterio de rangos del índice de Gravelius de la tabla 02, (CAMPOS, D. 1992).

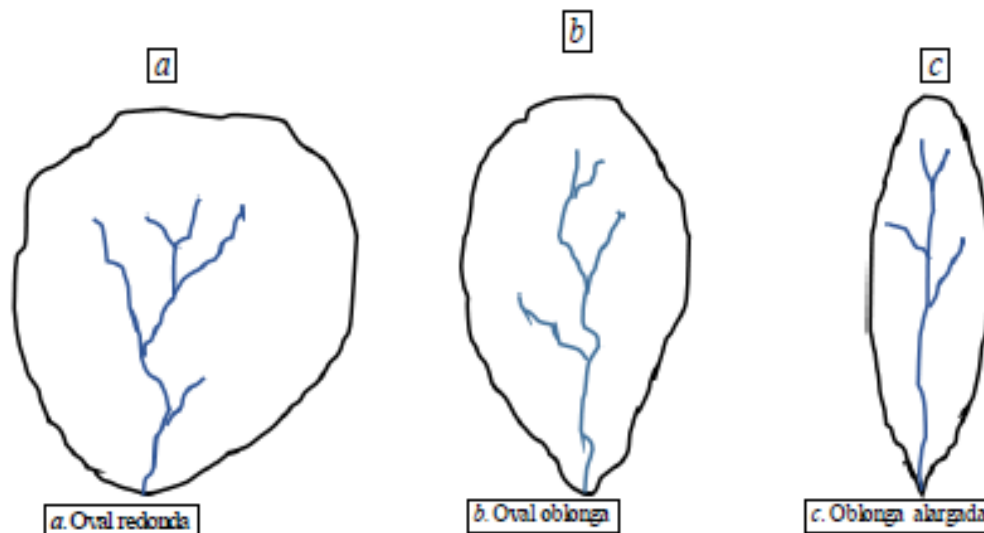


Figura 5. Esquema de modelos de formas de cuenca según rangos del coeficiente de Gravelius.

Fuente: ORTIZ, S. 2016.

c. Relación de elongación (R_e).

Es la razón entre el diámetro de un círculo con igual área que la de la cuenca y la longitud de máximo recorrido de esta. La fórmula es la propuesta por Schumm en el año 1956, (CARDONA, B.L. 2016).

$$R_e = \frac{D}{L} = 1.1284 * \frac{\sqrt{A}}{L} \quad (5)$$

Donde:

R_e : relación de elongación

D : diámetro de un círculo de la misma área de la cuenca

L : longitud de la cuenca

A : área de la cuenca (km^2)

Para valores de R_e , inferiores a la unidad, implicará formas alargadas, y cuanto menor sea R_e más alargada será la forma de la cuenca, (MONTSERRAT, J. 1985).

d. Índice de alargamiento (I_a).

Es la relación entre la longitud de la cuenca con su ancho. Este valor define si la cuenca es alargada, cuando su valor es mayor a la unidad, o si es muy achatada, cuando el valor está por debajo de la unidad.

$$I_a = \frac{L}{B} \quad (6)$$

Donde:

I_a: índice de alargamiento

L: longitud de la cuenca

B: ancho de la cuenca

e. Índice asimétrico (*I_{as}*).

Es la relación de áreas dentro de la cuenca, mayor y menor, las cuales son separadas por el cauce principal. Este índice evalúa la homogeneidad en la distribución de la red de drenaje, pues si se tiene un índice mucho mayor a la unidad, se observará que el río principal esta recargado a una de las vertientes, provocando heterogeneidad en la distribución de la red de drenaje, aumentando la descarga hídrica de la cuenca a esta vertiente, lo que incrementa en cierto grado los niveles de erosión a causa de los altos eventos de escorrentía superficial en ella. Este valor es de vital importancia en sedimentación.

$$I_{as} = \frac{A_{ma}}{A_{me}} \quad (7)$$

Donde:

I_{as}: índice asimétrico (adimensional)

A_{ma}: área de la vertiente mayor (km²)

A_{me}: área de la vertiente menor (km²)

Parámetros de relieve de la cuenca.

La forma en que estén conectados los canales en una cuenca determinada influye en la respuesta de ésta a un evento de precipitación. Se han desarrollado una serie de parámetros que tratan de cuantificar la influencia de la forma del drenaje, en la escorrentía superficial directa, (ORDOÑEZ, J. 2011).

a. Pendiente media de la cuenca (S_m).

La pendiente es la variación de la inclinación de una cuenca, su determinación es importante para definir el comportamiento de la cuenca, respecto al desplazamiento de las capas de suelo (erosión y sedimentación); puesto que, en zonas de altas pendientes, se presenta con mayor frecuencia la erosión; mientras que, en regiones planas aparecen, principalmente problemas de drenaje y sedimentación, (CARDONA, B.L. 2016).

Es uno de los principales parámetros que caracteriza el relieve de una cuenca y permite hacer comparaciones entre cuencas, para observar fenómenos erosivos que se manifiestan en la superficie. Para el cálculo de este importante parámetro, existen tres criterios, ellos son: criterio de Alvord, criterio de Horton y criterio de Nash.

✓ **Criterio de Alvord**

Analiza la pendiente existente entre curvas de nivel, trabajando con la faja definida por las líneas medias que pasan entre las curvas de nivel, determinando así las pendientes por separado tal como se muestra en la figura 6.

Primeramente, se calcula la pendiente de la faja, mediante las siguientes expresiones:

$$S_i = \frac{D}{W_i} * 100 \quad (8)$$

Y también:

$$W_i = \frac{a_i}{l_i} \quad (9)$$

Siendo:

S_i: pendiente de la faja i

W_i: ancho de la faja i

a_i: area de la faja i

l_i: longitud de la curva de nivel contenida en la faja i

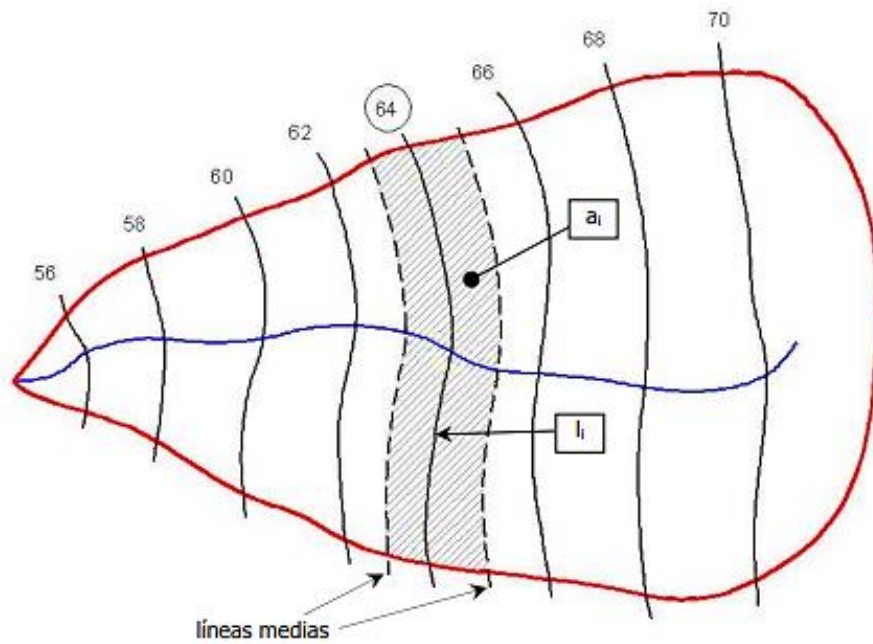


Figura 6. Esquema de análisis y ejemplo para el cálculo de la pendiente en una faja según Alvord.

Así la pendiente media de la cuenca será el promedio de la pendiente de cada faja en relación con su área, la siguiente expresión es la que explica esta situación:

$$S_m = \frac{L \cdot D}{A} * 100 \quad (10)$$

Clasificación de las cuencas respecto a la pendiente.

La clasificación de las cuencas de acuerdo a la pendiente de las laderas, se aprecia en la tabla 03:

Tabla 3. Clasificación de las cuencas respecto a la pendiente.

Pendiente media (%)	Tipo de relieve	Símbolo
0 a 3	Plano	P1
3 a 7	Suave	P2
7 a 12	Medianamente accidentado	P3
12 a 20	Accidentado	P4
20 - 35	Fuertemente accidentado	P5
35 - 50	Muy fuertemente accidentado	P6
50 - 75	Escarpado	P7
Mayor a 75	Muy escarpado	P8

Fuente: ORTIZ, S. 2004.

b. Altitud media de la cuenca (H).

Es la variación de la cuenca hidrográfica, que incide directamente sobre el clima; por tanto, sobre el régimen hidrológico; además de brindar una base para caracterizar zonas climatológicas y ecológicas diferentes dentro de la misma cuenca. Una forma conveniente y objetiva de describir la relación entre la propiedad altimétrica de la cuenca en un plano y su elevación, es a través de la función hipsométrica, que en adelante será vulgarmente conocida como “curva hipsométrica”.

Es el parámetro ponderado de las altitudes de la cuenca obtenidas en la carta o mapa topográfico. En cuencas andinas, este parámetro está relacionado con la magnitud de la lámina de precipitación, variación lineal muy importante en estudios regionales donde la información local es escasa, (ORTIZ, S. 2004).

La elevación media de una cuenca, puede calcularse mediante la siguiente expresión:

$$H = \frac{1}{A} * \sum_{i=1}^n (H_i * A_i) \quad (11)$$

Donde:

H: altitud media (m.s.n.m.)

Hi: altura media de cada tramo de área contenido entre las curvas de nivel

Ai: área contenida entre las curvas de nivel

n: número de áreas parciales

A: área total de la cuenca (km²)

c. Altitud más frecuente (*H_{fr}*).

Es el intervalo de cotas, o promedio de estas, que resulta de la imagen del área entre curvas de nivel de mayor valor numérico y es determinado del polígono de frecuencia de altitudes.

✓ **Curva hipsométrica**

La curva hipsométrica es representada a través de una curva característica muy importante de una cuenca en estudio. Esta curva representa en el eje de las ordenadas, las elevaciones en metros sobre el nivel del mar y en el eje de las abscisas, el porcentaje del área de la cuenca que queda por encima de la elevación indicada. Caracteriza de algún modo el relieve, (MINISTERIO DE AGRICULTURA Y ALIMENTACIÓN, 1978).

La curva hipsométrica refleja con precisión el comportamiento global de la altitud de la cuenca y la dinámica del ciclo de erosión. Es la representación gráfica del relieve de la cuenca en función de las superficies correspondientes, (DIAZ et al. 1999).

Es de gran importancia mencionar que, entrando con el 50% del área en el eje de las abscisas, se obtiene la altitud media de la cuenca que intercepta con la curva hipsométrica.

Por otro lado, las curvas hipsométricas también han sido asociadas con las edades de los ríos de las cuencas, siendo estos: viejos, maduros y jóvenes.

✓ **Polígono de frecuencia de Altitudes**

El diagrama del polígono de frecuencia de altitudes, representa en el eje de las ordenadas, las altitudes en metros sobre el nivel del mar (intervalos o promedio), mientras que, en el eje de las abscisas, se representa las áreas parciales expresadas en porcentaje.

Una cuenca hidrográfica como unidad fundamental, está relacionada de manera muy estrecha con todos los sucesos del sistema de drenaje que está contenido en ella, ya

que, la mayoría de los proyectos de investigación relacionados con la hidrología, se hacen con fines de estudio de la escorrentía superficial y los fenómenos naturales involucrados.

d. Orden de los cauces.

Su clasificación proporciona el grado de bifurcación dentro de la cuenca. Existen varios métodos para realizar tal clasificación. En este caso se optó por el método de Robert Horton, el cual se fundamenta en los siguientes criterios: Se consideran corrientes de primer orden, aquellas corrientes fuertes, portadoras de aguas de nacimientos y que no tienen afluentes. Cuando dos corrientes de orden uno, se unen, resulta una corriente de orden dos. De manera general, cuando dos corrientes de orden i se unen, resulta una corriente de orden $i+1$. En conclusión, cuando una corriente se une con otra de orden mayor, resulta una corriente que conserva el mayor orden.

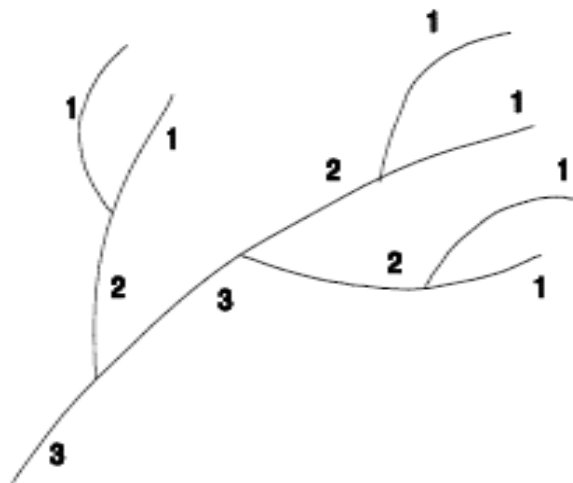


Figura 7. Representación gráfica del orden de los cauces.

e. Longitud del cauce principal (L).

Es la medición que se hace desde el punto emisor de la cuenca hidrográfica, hasta el extremo del mayor tramo del mismo, suele coincidir con la longitud del cauce más largo, y es un criterio muy representativo de la longitud de una cuenca (ver figura 08). Puede medirse considerando toda la sinuosidad del cauce o la longitud del eje del mismo; se mide en kilómetros.

Generalmente los caudales máximos, medios y mínimos crecen con la longitud de los cauces, debido a la normal relación que existe entre las longitudes de los cauces y las

áreas de las cuencas hidrográficas correspondientes, de tal manera que el área será mayor si la longitud del cauce principal y el número de orden también lo son.

Los tiempos promedios de subida y las duraciones promedios totales de las crecientes torrenciales, tendrán siempre una evidente relación con la longitud de los cauces. Una longitud mayor supone mayores tiempos de desplazamiento de las crecidas y como consecuencia de esto, mayor atenuación de las mismas, por lo que los tiempos de subida y sus duraciones totales de estas, serán evidentemente mayores, (CÓRDOBA, M. 2015).

f. Longitud de máximo recorrido (Lmr).

Es la medida de la mayor trayectoria de las partículas del flujo, comprendida entre el punto más bajo del colector común, conocido como punto emisor, y el punto más alto o inicio del recorrido sobre la línea de divortio aquarum, (ORTIZ, S. 2004).

g. Densidad de drenaje (Dd).

Este índice relaciona la longitud de la red de drenaje y el área de la cuenca sobre la cual drenan las corrientes hídricas (HORTON, R. 1932 – 1945).

$$D_d = \frac{L_t}{A} \quad (12)$$

Siendo:

Dd: densidad de drenaje

Lt: longitud total de los cursos de agua

A: área total de la cuenca (km²)

Los valores referenciales para su clasificación, se muestran en la tabla 4.

Tabla 4. Rangos aproximados de la densidad de drenaje.

Densidad de drenaje (Val. Aprox.)	Clases
0.1 – 1.8	Baja (drenaje pobre)
1.9 – 3.6	Moderada
3.7 – 5.6	Alta (bien drenada)

Fuente. IBAL, 2009

Con el fin de catalogar una cuenca como bien o mal drenada, de la tabla anterior se afirma que, para valores de densidad de drenaje de 1.9 km/km² o mayores, la red de drenaje será eficiente.

h. Coeficiente de torrencialidad (C_t)

Índice que mide el grado de torrencialidad de la cuenca, por medio de la relación del número de cauces de orden uno, con respecto al área total de la misma. A mayor número de cursos de primer orden y menor área, la torrencialidad de la cuenca será mayor, (Romero Díaz y López Bermúdez, 1987).

Este valor indica, cuan delicado es el suelo, frente a la erosión y la capacidad de descarga de una cuenca. Debido a que los cursos de primer orden, son de génesis erosiva; altos valores indican elevada susceptibilidad a la erosión, menores tiempo de llegada al pico.

$$C_t = \frac{N^{\circ} \text{ de cauces de orden 1}}{A} \quad (13)$$

Donde:

C_t: coeficiente de torrencialidad

A: área total de la cuenca (km²)

i. Coeficiente de masividad (C_m)

Este parámetro resulta de la relación entre la altitud media de la cuenca, que se calcula mediante el promedio ponderado, entre áreas parciales y las altitudes de la cuenca

obtenidas en el mapa topográfico (curva hipsométrica), cabe precisar que la determinación de las áreas parciales y las altitudes, nos brinda ciertos softwares como ARC GIS, Q GIS, etc.

Por medio de este parámetro, podemos evidenciar la condición de la cuenca con respecto a si es una cuenca montañosa (cumbres altas) o por el contrario es una cuenca plana (planicies con áreas similares), es determinado mediante la siguiente ecuación:

$$C_m = \frac{H}{A} \quad (14)$$

Donde:

C_m: coeficiente de masividad

H: altitud media de la cuenca (m.s.n.m.)

A: área total de la cuenca (km²)

Tabla 5. Clasificación de una cuenca en función de su coeficiente de masividad.

Rango	Descripción
0 - 35	Muy montañosa
35 - 70	Montañosa
70 - 205	Relativamente plana
> 205	Plana

Fuente: FIGUEIRA, M. y ROMERO, L., 2014

j. Coeficiente orográfico (C_o)

Este parámetro expresa el potencial de degradación de la cuenca, tiene en cuenta la altura sobre el nivel del mar, la cual influye directamente en el flujo potencial del agua, y el área cuya inclinación afecta la escorrentía superficial; se calcula así:

$$C_o = \frac{H^2}{A} \quad (15)$$

Siendo:

C_o: coeficiente orográfico

H: altitud media de la cuenca (m.s.n.m.)

A: área total de la cuenca (km²)

Tabla 6. Potencial de degradación hídrica de microcuencas altoandinas de Cajamarca, para menores a 600 Km².

Coefficiente orográfico (%)	Potencial de erosión hídrica
Co < 1	Baja
1 < Co <= 4	Moderada
4 < Co <= 10	Alta
> 10	Muy alta

Fuente: ORTIZ, S. 2016.

El valor del coeficiente orográfico, es un parámetro de vital importancia cuando se desea comparar una cuenca hidrográfica con otra (similitud dinámica), además de ser un valor de entrada (variable de pérdida de suelo), si se quiere determinar el potencial de degradación de la cuenca.

k. Relación de bifurcación o confluencia (R_b)

Llamada también grado de ramificación de los cursos de agua; es un parámetro introducido por el hidrólogo Robert E. Horton en el año 1945, es el cociente al dividir el número de cauces de un orden dado y el número de cauces del orden inmediatamente superior.

Esta razón también es conocida como relación de confluencia, además de ser un indicador de potencialidad erosiva y de la rapidez de escurrimiento superficial, su razón es la siguiente (CRUZ, J. y TAMES, P. 1983):

$$R_b = \frac{N^\circ \text{ de cauces de orden } i}{N^\circ \text{ de cauces de orden } i+1} \quad (16)$$

Donde:

R_b: relación de bifurcación o confluencias.

Las relaciones de bifurcación pueden ser constantes o no dentro de una cuenca, lo cierto es que se ajustan a la ley de Robert E. Horton que establece: “El número de segmentos de cauce de órdenes progresivamente decrecientes, forma una progresión

geométrica cuyo primer término es el número de cauces de orden uno y cuya razón es la Relación de bifurcación”, esto significa, que existe una relación lineal entre el logaritmo del número de cauces de un orden determinado (ordenadas) y dicho orden (abscisas).

Para cuencas en las cuales las estructuras geológicas no distorsionan el modelo de drenaje, en condiciones naturales y en general, el valor promedio es 3.5 (torrencialidad media).

l. Relación de longitudes (R_l)

Viene a ser el valor que se obtiene al dividir la longitud media de todos los ríos de un orden dado, entre la longitud media de todos los ríos de un orden menor inmediato (Monsalve, G. 1999, p. 40).

$$R_l = \frac{L_k}{L_{k-1}} \quad (17)$$

Siendo:

R_l : *relación de longitudes*

L_k : *longitud promedio de los cauces de orden k*

L_{k-1} : *longitud promedio de los cauces de orden inmediato inferior*

Según Senciales (1999), la relación ($R_l > 3$) revela una concentración paulatina de caudales a lo largo del colector principal, mientras que un ($R_l < 3$) muestran mayor energía concentrada bruscamente, (Sala y Gay, 1981).

m. Pendiente del cauce principal o del máximo recorrido (S)

La velocidad de escurrimiento de las corrientes de agua, depende en gran medida de la pendiente de sus canales fluviales.

En términos generales, podemos inferir que: a mayor pendiente mayor velocidad de escurrimiento, (Monsalve, S. 1995).

✓ Criterio de Taylor y Schwars

Determina el promedio de las pendientes del cauce principal. En general, la pendiente de un tramo de río se considera como el desnivel entre los extremos del tramo, dividido por la longitud horizontal de dicho tramo, tal como se expresa a continuación:

$$S_i = \frac{\Delta}{L_1} \quad (18)$$

Donde:

Si: pendiente del tramo del cauce

Δ: Desnivel entre cotas que contienen al tramo

Li: longitud de cada tramo

Finalmente. Taylor y Schwars, proponen la siguiente expresión, para determinar la pendiente del cauce principal.

$$S = \left[\frac{L}{\frac{1}{\sqrt{S_1}} + \frac{1}{\sqrt{S_2}} + \dots + \frac{1}{\sqrt{S_n}}} \right]^2 \quad (19)$$

Siendo:

n: número de segmentos en los que se divide el cauce principal

En general, la pendiente del cauce principal es mucho menor que la pendiente de la cuenca. Por otro lado, la descripción de las características morfométricas, fisiográficas, hidrológicas e hidráulicas entre otros, permiten el entendimiento del comportamiento del flujo de agua en la cuenca.

Tabla 7. Rangos aproximados de la pendiente media del cauce principal.

Pendiente media del cauce principal (%)	Clases
1 a 5	suave
6 a 11	moderado
12 a 17	fuerte

Fuente: IBAL, 2009.

n. Índice de sinuosidad (Is)

El cálculo de la sinuosidad es definido como: “El desarrollo de meandros existentes en el cauce principal de un río, y su cálculo se obtiene poniendo en relación la longitud de dicho cauce, con la longitud máxima del valle que forma”, (Schumm, 1963).

Pueden medirse tres tipos de índices de sinuosidad en una cuenca dada, y por ende determinar tres tipos de índice, (Mueller, 1968).

- Sinuosidad total, (longitud del cauce principal/longitud más corta entre inicio y final del cauce).
- Sinuosidad topográfica, (longitud media del valle/longitud más corta entre inicio y final del cauce).
- Sinuosidad hidráulica, (longitud del cauce principal/longitud media del valle).

$$I_s = \frac{L}{L_s} \quad (20)$$

Siendo:

Is: índice de sinuosidad

L: longitud del cauce principal (m)

Ls: longitud más corta entre inicio y final del cauce (m)

Solo en áreas donde el valle se abre y permite el desarrollo de grandes meandros, en la llanura de inundación, aparecen diferencias entre longitud del valle y longitud del cauce: esto ocurre, preferentemente en cursos bajos de los ríos, que es donde las llanuras aluviales, adquieren mayor amplitud; por lo que, pueden darse modificaciones progresivas de los cauces; implicando, peligrosidad natural para las actividades humanas que tienen lugar en sus orillas; por ejemplo, los campos de cultivos localizados en orillas convexas de los meandros, (Senciales, J. 1995).

Tabla 8. Índices de sinuosidad.

Tipo de canal	Índice de sinuosidad
Canal rectilíneo	1 - 1.2
Canal transicional	1.2 - 1.5
Canal regular	1.5 - 1.7
Canal irregular	1.7 - 2.1
Canal tortuoso	> 2.1

Fuente: SCHUMM, 1963.

Frecuencia de ríos (Fr)

Conocida también como densidad de ríos, o densidad hidrográfica; este parámetro relaciona la suma total del orden de todos los cauces, es decir el número de segmentos de canales de todos los órdenes, con la superficie total. Muestra el valor del número de ríos por Km², (CÓRDOVA, M. 2015).

$$F_r = \frac{N_{sr}}{A} \quad (21)$$

Siendo:

Fr: frecuencia de ríos

Nsr: número de segmentos de ríos

A: área de la cuenca (km²)

Tiempo de concentración (Tc)

Es considerado como el tiempo de viaje de una gota de agua de lluvia que escurre superficialmente, desde el lugar más lejano de la cuenca hasta el punto de salida. Para su cálculo, se pueden emplear diferentes fórmulas que se relacionan con otros parámetros propios de la cuenca, (CÓRDOBA, M. 2015).

Ramser y Kirpich, lo definen como el tiempo pico T_p ; por su parte, Viessman (1977), lo define como el tiempo comprendido entre el final de la precipitación efectiva y el final de la escorrentía superficial directa. Siendo este último valor, el punto de inflexión del hidrograma después del caudal pico. Por otro lado, Témez (1978), logra

definirla como, la diferencia entre el tiempo de finalización del hidrograma de escorrentía superficial directa y el tiempo de finalización de la precipitación efectiva. En la literatura se encuentran numerosas expresiones para determinar el tiempo de concentración T_c de las cuencas hidrográficas, desarrolladas por diferentes autores para diferentes regiones del mundo; a continuación, hablaremos de la más importante, y que será utilizada en nuestro trabajo de investigación.

a. Método de California

Fórmula utilizada para cuencas pequeñas y situadas en zonas agrícolas. Es muy utilizada en la aplicación del Método Racional.

Calcula el tiempo de concentración T_c , en horas, mediante la siguiente ecuación:

$$T_c = \left(\frac{0.871 * L^3}{H} \right)^{0.385} \quad (22)$$

Donde:

T_c: tiempo de concentración expresado en horas

L: longitud del cauce principal (km)

S: desnivel máximo de la cuenca en metros

Rectángulo equivalente

Es la transformación geométrica de la cuenca en un rectángulo ideal que tiene la misma área y perímetro. En este rectángulo, las curvas de nivel se convierten en rectas paralelas al lado menor, siendo estas, la primera y la última curva de nivel, respectivamente, (Córdova, M. 2015).

Los lados del rectángulo equivalente presentan las siguientes relaciones:

$$a = \frac{P}{4} + \sqrt{\frac{P^2}{16} - A} \quad (23)$$

$$b = \frac{P}{4} - \sqrt{\frac{P^2}{16} - A} \quad (24)$$

Siendo:

a: lado mayor del rectángulo (km)

b: lado menor del rectángulo (km)

P: perímetro de la cuenca (km)

A: área de la cuenca (km²)

Análisis de la precipitación

La precisión de un registrador de lluvia en el cálculo de la altura de agua, depende de la densidad y distribución de los instrumentos, el tamaño, la naturaleza y la topografía de la cuenca, así como el tipo de tormenta, incluyendo su duración y desplazamiento; además de conseguir aplicar los métodos de manera correcta, para evaluar dichos datos. No está de más mencionar que la tecnología viene dotando de equipos electrónicos muy precisos en la actualidad.

Para realizar el análisis hidrológico, la disponibilidad de información de precipitaciones es la base y el primer paso a la vez, de allí que al ser estos, un conjunto de registros obtenidos a partir de observaciones de un pequeño espacio en específico, lo cual hace que la distribución dentro de una determinada zona de estudio, sea irregular y muchas veces insuficiente, ya que estos pueden presentar datos incompletos provenientes de diversas dificultades, a los que se enfrenta una estación meteorológica.

Tratamiento de datos Hidro-Meteorológicos.

Una de las áreas más delicadas en el análisis de series hidrológicas, es el tratamiento de los datos históricos registrados por medición directa, por lectura o por conteo. Aquí, tratamiento significa, el ajuste de los datos históricos a una condición homogénea, incluyendo la corrección de los posibles errores sistemáticos, la completación, extensión de los mismos y la reducción de los datos a condiciones naturales.

La mayoría de las cuencas hidrográficas y las condiciones desarrolladas, están en un constante estado de transición; por esta razón, los datos históricos pueden ser válidos sólo para una condición desarrollada e inválidos para otra; por ello, la confianza de la hidrología como una disciplina científica, está realmente basada en la disponibilidad de suficientes datos (en cantidad y calidad) para verificar las teorías que ocurren en el fenómeno natural.

a. Análisis de consistencia de la información.

El hidrólogo o especialista que desea desarrollar un estudio hidrológico, debe buscar la información de la cuenca hidrográfica en estudio, en las instituciones encargadas de su recopilación; una vez que esta se haya obtenido, la interrogante a formularse es: ¿Es confiable la información disponible?

La respuesta a esta pregunta, se obtiene realizando un análisis de consistencia de la información disponible, mediante criterios físicos y métodos estadísticos, que permitan identificar, evaluar y eliminar los posibles errores sistemáticos que han podido ocurrir, sea por causas naturales u ocasionadas por la intervención de la mano del hombre, (VILLÓN, M. 2016).

La no homogeneidad e inconsistencia, son las causales del cambio a que están expuestas las informaciones hidrológicas, por lo cual su estudio, es de mucha importancia para determinar los errores sistemáticos que puedan afectarlas, (VILLÓN, M. 2016).

El análisis de consistencia de la información, es un proceso que consiste en la identificación o detección, descripción y remoción de la no homogeneidad e inconsistencia de tiempo hidrológica, (VILLÓN, M. 2016).

En forma general los datos medidos en una estación pueden incluir dos tipos de errores; errores aleatorios y errores sistemáticos. Los errores aleatorios, se presentan debido a la inexactitud en las mediciones y observaciones, son difíciles de evaluar después de transcurrido un tiempo y se originan por error de lectura de datos, equipos defectuosos, mal empleo de los equipos, transcripciones erróneas, entre otros. Por su parte, los errores sistemáticos tienen permanencia constante durante un número de mediciones del mismo valor de una magnitud determinada; o varía según una ley definida cuando cambian las condiciones (déficit en la toma de datos, cambio de estación de registro, etc.) y se manifiesta mediante saltos y/o tendencias en las series hidrológicas, afectando las características estadísticas de dichas series, tales como la media, desviación estándar y correlación serial.

Antes de utilizar la serie histórica para el modelamiento, es necesario efectuar el análisis de consistencia respectivo, a fin de obtener una serie confiable, es decir, homogénea y consistente, (VILLÓN, M. 2016).

La inconsistencia se debe a errores sistemáticos y se presentan en forma de saltos y tendencias; tanto en la media, como en la varianza. La no homogeneidad, se refiere a los cambios de los datos vírgenes con el tiempo, (ORTIZ, S. 1995).

El análisis de consistencia de la información hidrológica, se obtiene al ejecutar los siguientes procesos:

Análisis visual gráfico.

Análisis doble masa.

Análisis estadístico.

✓ Análisis visual gráfico

Consiste en un análisis visual de la información original, para lo cual se gráfica, a escala aritmética, el valor de la variable (precipitación, descarga, temperatura, evapotranspiración, etc.), en el eje de las ordenadas; versus el tiempo (anual, mensual, semanal o diario), en el eje de las abscisas. De la observación de estos gráficos se puede deducir, en primera instancia, si la información es aceptable o dudosa, (ORTIZ, S. 1995).

Mediante este proceso, podemos determinar el periodo o periodos en los cuales la información es dudosa, lo cual se refleja en forma de picos muy altos o valores muy bajos, saltos y/o tendencias (ver figura N° 10), procediendo a evaluar las causas, ya que podría tratarse de fenómenos naturales que efectivamente han ocurrido, o si son producto de errores sistemáticos, (VILLÓN, M. 2016).

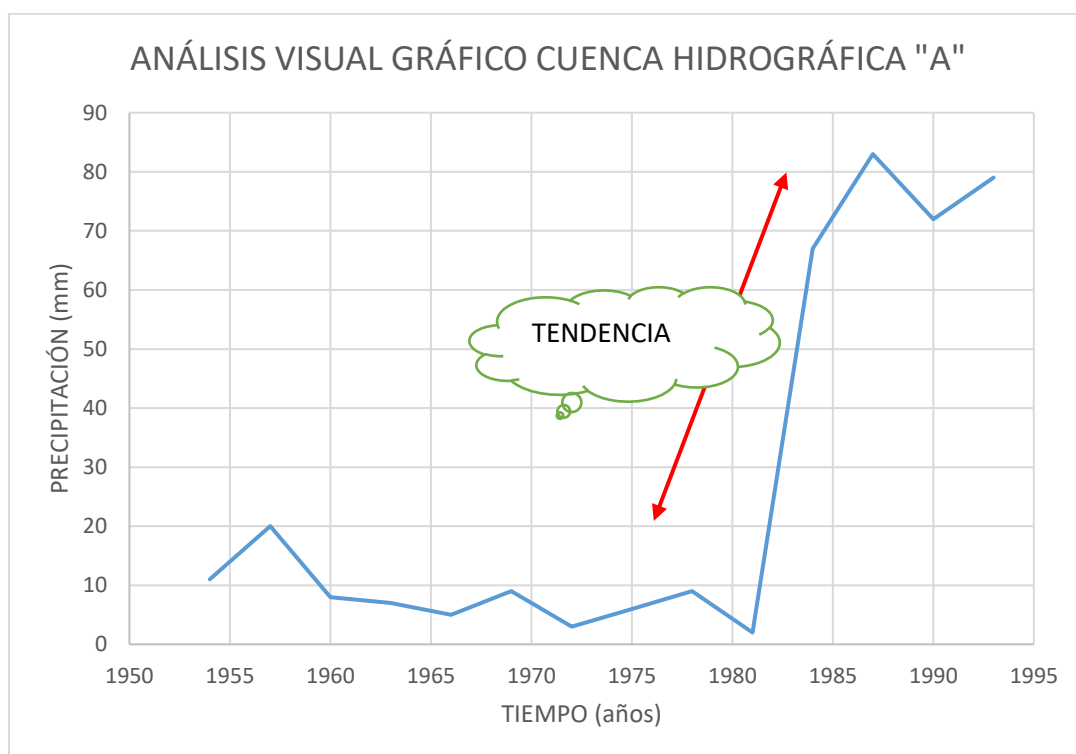


Figura 8. Serie histórica de una cuenca hidrográfica.

✓ Análisis de doble masa

Este análisis se utiliza para tener una cierta confiabilidad en la información, así como también, para analizar la consistencia en lo relacionado a errores, que pueden producirse durante la obtención de los mismos, y no para una corrección a partir de la recta doble masa, (VILLÓN, M. 2016).

Este proceso se realiza para la determinación de la consistencia de la información, más no para eliminar errores, en vista de que la línea de doble masa no constituye una línea de regresión (ORTIZ, S. 1995).

El diagrama doble masa se obtiene al graficar en el eje de las abscisas, los promedios de los acumulados de todas las estaciones, y en el eje de las ordenadas, los acumulados de cada estación.

Del diagrama doble masa, se selecciona como la estación más confiable, la que presenta el menor número de quiebres, las consideraciones a tener en cuenta son:

- Tener precipitaciones del mismo periodo de tiempo.
- Acumular las precipitaciones, considerando el orden inverso u orden cronológico.
- Hallar la media de los acumulados de las precipitaciones para cada cuenca.
- Graficar promedios de los acumulados de las estaciones, vs el acumulado de cada una de las estaciones.

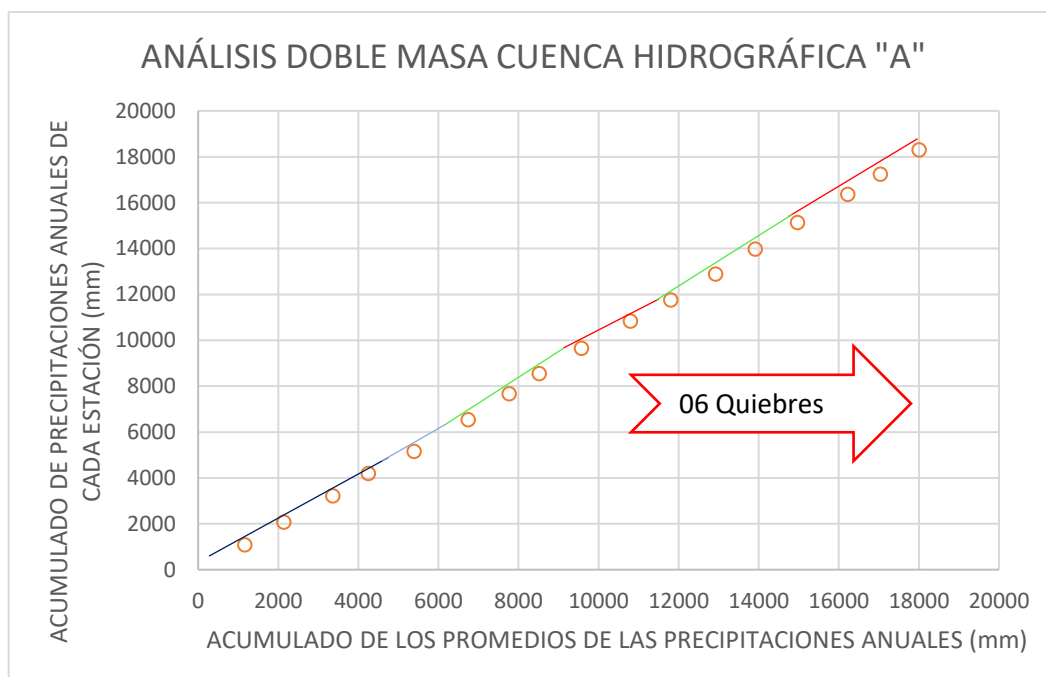


Figura 9. Serie histórica de una cuenca hidrográfica.

El análisis doble masa propiamente dicho, consiste en conocer mediante los “quebres” que se presentan en los diagramas, las causas de los fenómenos naturales, o si estos han sido ocasionados por errores sistemáticos. En este último caso, permite determinar el rango de los periodos dudosos y confiables para cada estación en estudio, los cuales se deberán corregir utilizando ciertos criterios estadísticos, (VILLÓN, M. 2016).

✓ **Análisis estadístico**

De los gráficos construidos para el análisis visual y de doble masa, se obtendrá los periodos de posible corrección, y los periodos de datos que se mantendrán con sus valores originales, se procede al análisis estadístico de saltos, tanto en la media como en la desviación estándar, (VILLÓN, M. 2016).

Análisis de saltos

Se llama salto a la forma determinística transitoria, que permiten a una serie temporal pasar de un estado a otro, como respuesta a ciertos cambios propiciados por el hombre, debido al continuo desarrollo y explotación de los recursos hidráulicos en la cuenca o a cambios violentos ocurridos en la naturaleza, (ORTIZ, S. 1995).

Los saltos se presentan en la media, desviación estándar y otros parámetros, pero generalmente y desde un punto de vista práctico, el análisis más importante es en los dos primeros, (VILLÓN, M. 2002).

Consistencia en la media

El análisis estadístico, consiste en probar, mediante la prueba “t” de Student (prueba de hipótesis), si los valores medios \bar{x}_1 y \bar{x}_2 de las sub muestras, son estadísticamente iguales o diferentes con una probabilidad del 95% o con 5% de nivel de significancia, (VILLÓN, M. 2016).

- Primero, se calcula la media y la desviación estándar de cada una de las submuestras, utilizando las siguientes ecuaciones:

$$\bar{x}_1 = \frac{1}{n_1} * \sum_{i=1}^{n_1} x_i \quad (25)$$

$$\bar{x}_2 = \frac{1}{n_2} * \sum_{j=1}^{n_2} x_j \quad (26)$$

$$S_1(x) = \left[\frac{1}{n_1 - 1} * \sum_{i=1}^{n_1} (x_i - \bar{x}_1)^2 \right]^{1/2} \quad (27)$$

$$S_2(x) = \left[\frac{1}{n_2 - 1} * \sum_{j=1}^{n_2} (x_j - \bar{x}_2)^2 \right]^{1/2} \quad (28)$$

$$n = n_1 + n_2 \quad (29)$$

Siendo:

x_i : valores de la serie del periodo 1

x_j : valores de la serie del periodo 2

\bar{x}_1 y \bar{x}_2 : media de los periodos 1 y 2 respectivamente

$S_1(x)$ y $S_2(x)$: desviación estándar de los periodos 1 y 2 respectivamente

n : tamaño de la muestra

n_1 y n_2 : tamaño de las submuestras

- Luego, calculamos el t_c (t calculado) mediante la siguiente fórmula:

$$t_c = \frac{(\bar{x}_1 - \bar{x}_2) - (u_1 - u_2)}{S_{\bar{d}}} \quad (30)$$

Donde: $u_1 - u_2 = 0$, ya que la hipótesis afirma la igualdad de medias, y luego de operar, nos quedaría la siguiente ecuación:

$$t_c = \frac{(\bar{x}_1 - \bar{x}_2)}{S_{\bar{d}}} \quad (31)$$

- Además, calcularemos el $S_{\bar{d}}$, mediante la siguiente ecuación:

$$S_{\bar{d}} = S_p * \left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} \right)^{1/2} \quad (32)$$

Como podemos apreciar en la ecuación anterior, es necesario calcular el S_p :

$$S_p = \left[\frac{(n_1 - 1) * S_1^2 + (n_2 - 1) * S_2^2}{n_1 + n_2 - 2} \right]^{1/2} \quad (33)$$

- Finalmente, calculamos el t_t tabular, y hacemos la comparación correspondiente con el t_c .

Consistencia en la desviación estándar.

El análisis estadístico consiste en probar, mediante la prueba F, si los valores de las desviaciones estándar de las sub muestras, son estadísticamente iguales o diferentes, con un 95% de probabilidad o con un 5% de nivel de significación.

- Primero, calculamos las varianzas de ambos periodos:

$$S_1^2(x) = \left[\frac{1}{n_1 - 1} * \sum_{i=1}^{n_1} (x_i - \bar{x}_1)^2 \right]^2 \quad (34)$$

$$S_2^2(x) = \left[\frac{1}{n_2 - 1} * \sum_{j=1}^{n_2} (x_j - \bar{x}_2)^2 \right]^2 \quad (35)$$

- Luego, calculamos el F_c , según:

$$F_c = \frac{S_1^2(x)}{S_2^2(x)}, \text{ si } S_1^2(x) > S_2^2(x) \quad (36)$$

$$F_c = \frac{S_2^2(x)}{S_1^2(x)}, \text{ si } S_2^2(x) > S_1^2(x) \quad (37)$$

- Finalmente, calculamos el F_t tabular, y hacemos la comparación correspondiente con el F_c (F calculado) por medio de tablas.

Corrección de datos

En los casos en que los parámetros media y desviación estándar de las submuestras de las series de tiempo, resultan estadísticamente iguales, la información original no se corrige, por ser consistente con 95% de probabilidad, aun cuando en el análisis doble

masa se observe pequeños quiebres. De lo contrario, se corrigen los valores de las submuestras mediante las siguientes ecuaciones:

$$X'_t = \frac{x_t - \bar{x}_1}{S_1(x)} * S_2(x) + \bar{x}_2 \quad (38)$$

$$X'_t = \frac{x_t - \bar{x}_2}{S_2(x)} * S_1(x) + \bar{x}_1 \quad (39)$$

Siendo:

X'_t : *valor corregido de saltos*

x_t : *valor a ser corregido*

La primera ecuación de este apartado, se utiliza cuando se deben corregir los valores de la submuestra de tamaño n_1 y n_2 respectivamente.

✓ **Análisis de tendencias**

Se llama tendencia, a la componente determinística que provoca un cambio continuo en un registro histórico correspondiente a una serie hidrometeorológica. Por ejemplo, cambio ascendente o descendente continuo en la temperatura, precipitación o escorrentía, su cálculo dependerá de si hay saltos (análisis de consistencia).

Las tendencias por lo general, pueden ser aproximadas por la ecuación de regresión lineal y en algunos casos por polinomios que representan tendencia curvilínea o exponencial. Las tendencias, al igual que los saltos, se presentan en la media y en la varianza. (ORTIZ, S. 1995).

Las tendencias se diferencian de los saltos, debido a que la primera es una variación rápida sin saltarse y es lineal, y la otra es un desfase de la lectura, es como decir, algo ocurrió o algo cambió ya que en ese mismo momento hay una alteración en cuanto a valores, mas no en el tiempo, por lo que necesitamos analizar la causa. Para realizar el análisis de tendencias, primeramente, la serie debe estar libre de saltos.

Tendencia en la media

Esta tendencia lo determinamos mediante el polinomio:

$$T_m = A_m + B_m t + C_m t^2 + D_m t^3 + \dots \quad (40)$$

Muchas veces, y en forma particular se utiliza la ecuación de regresión lineal simple siguiente:

$$T_m = A_m + B_m t \quad (41)$$

Donde:

T_m : tendencia en la media para este caso.

$T_m = X'_{(t)}$: valor corregido de saltos, es decir, datos a usarse para el cálculo de los parámetros.

t : tiempo en años, tomado como la variable independiente de la tendencia (1,2, 3, ..., n)

$A_m, B_m, C_m, D_m \dots$: Coeficientes de los polinomios de regresión, que deben ser estimados con los datos

Los parámetros de regresión de estas ecuaciones, pueden ser estimados por el método de mínimos cuadrados, o por el método de regresión lineal múltiple.

El cálculo de la tendencia en la media, haciendo uso de la ecuación anterior próxima, se realiza mediante el siguiente proceso:

- Primeramente, calculamos los parámetros de la ecuación de regresión lineal simple:

$$A_m = \overline{T_m} - \bar{t} \cdot B_m \quad (42)$$

$$B_m = R \cdot \frac{S_{Tm}}{S_t} \quad (43)$$

$$R = \frac{\bar{t} \cdot \overline{T_m} - \bar{t} \cdot \overline{T_m}}{S_t \cdot S_{Tm}} \quad (44)$$

Donde:

$$\overline{T_m} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n T_{mi} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X'_{(t)i} \quad (45)$$

$$\bar{t} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n T_{mi} \quad (46)$$

$$\bar{t} \cdot \overline{T_m} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n t_i * T_{mi} \quad (47)$$

$$S_{Tm} = \left[\frac{\sum_{i=1}^n (T_{mi} - \overline{T_m})^2}{n - 1} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (48)$$

Además:

\bar{T}_m : promedio de Las tendencias T_m , o promedio de los datos corregidos de saltos $X'_{(t)}$

\bar{t} : promedio del tiempo t

S_{T_m} : desviación estándar de la tendencia de La media T_m

S_t : desviación estándar del tiempo t

- Evaluación de la tendencia T_m

Para averiguar si la tendencia es significativa, se analiza el coeficiente de regresión B_m o también el coeficiente de correlación R .

El análisis de R según el estadístico t, es como sigue:

En primera instancia calcularemos el estadístico t_c , según:

$$t_c = \frac{R\sqrt{n-2}}{\sqrt{1-R^2}} \quad 49$$

Siendo:

t_c : valor del estadístico t calculado

n : número total de datos

R : coeficiente de correlación

Ahora procederemos con el cálculo de T_t

El valor crítico de t , se obtiene de la tabla de t de Student, adjunto en los anexos, con 95% de probabilidad o con un nivel de significación de 5%, es decir:

$$\frac{\alpha}{2} = 0.025$$

Con un grado de libertad: $G.L = n-2$

Consecuentemente a lo anterior, compararemos ahora el t_c con el t_t

Si $|t_c| \leq t_t(95\%)$, entonces R no es significativo; por lo tanto, la tendencia no es significativa. En este caso, la tendencia no es significativa, tampoco hay corregir.

Si $|t_c| > t_t(95\%)$, entonces R es significativo; en este caso, la tendencia es significativa y hay necesidad de corregir la información de tendencia en la media.

- Corrección de la información:

La tendencia en la media se elimina haciendo uso de la siguiente ecuación:

$$Y_t = X'_{(t)} - T_m \quad (50)$$

ó

$$Y_t = X'_{(t)} - (A_m + B_m * t) \quad (51)$$

Siendo:

$X'_{(t)}$: serie corregida de saltos

T_m : tendencias en la media, obtenida con la ecuación 41.

Y_t : serie sin tendencia en la media

Para que el proceso X_t preserve la media constante, se responde con el promedio de las X'_t ó $\overline{T_m}$, quedando las ecuaciones anteriores de la siguiente manera:

$$Y_t = X'_{(t)} - T_m + \overline{T_m} \quad (52)$$

ó

$$Y_t = X'_{(t)} - (A_m + B_m * t) + \overline{T_m} \quad (53)$$

Tendencia en la Desviación estándar

La tendencia por lo general se presenta en los datos semanales o mensuales, más no en anuales. Puesto que en datos anuales no hay necesidad de realizar el análisis de la tendencia en la desviación estándar. La tendencia en la desviación estándar T_s , se expresa mediante la ecuación polinomial siguiente:

$$T_s = A_s + B_s t + C_s t^2 + D_s t^3 + \dots \quad (54)$$

También se tiene de forma particular, la ecuación de regresión lineal simple:

$$T_s = A_s + B_s t \quad (55)$$

Siendo:

T_s : tendencia en la desviación estándar

$T_s = Y_t$, valor corregido de tendencia en la media, es decir, datos a usarse para el cálculo de parámetros

t : tiempo en años (1, 2, 3, ..., n)

$A_s, B_s, C_s, D_s \dots$: Coeficientes de los polinomios de regresión, que deben ser estimados con los datos

Para calcular y probar si la tendencia en la desviación estándar es significativa, consideramos los siguientes pasos.

- La información sin considerar la tendencia en la media Y_t , se divide en periodos de datos anuales.

- Se hace el cálculo de las desviaciones estándar para cada periodo de toda la información:

$$S_p = \left[\frac{1}{w-1} \sum_{p=1}^{w-1} (Y_p - \bar{Y}_p)^2 \right]^{0.5} \quad (56)$$

Siendo:

S_p : desviación estándar del año p , es decir de los datos mensuales del año p

Y_p : serie sin tendencia en la media

\bar{Y}_p : promedio de datos mensuales del año p

p : 1, 2, 3, ..., n

w : 12, 52, 365, o si el análisis es con información mensual, semanal o diaria.

- Se hace el cálculo de los parámetros de la ecuación (55), a partir de las desviaciones estándar anuales y el tiempo t (en años), utilizando las ecuaciones (42, 43, 44, 45 y 46), dadas para la tendencia en la media.
- Se realiza la evaluación de T_s siguiendo el mismo proceso descrito para T_m .

Si en la prueba R resulta significativo, la tendencia en la desviación estándar es significativa, por lo que se debe eliminar de la serie, aplicando la siguiente ecuación:

$$Z_t = \frac{X'_{(t)} - T_m}{T_s} \quad (57)$$

Siendo:

Z_t : serie sin tendencia en la media ni en la desviación estándar. Las demás variables han sido definidas en párrafos anteriores.

Para que el proceso conserve la media y la desviación estándar constante, la ecuación toma la siguiente forma:

$$Z_t = \frac{X'_{(t)} - T_m}{T_s} \cdot \bar{T}_s + \bar{T}_m \quad (58)$$

Siendo:

\bar{T}_s, \bar{T}_m : son los promedios de la tendencia en la desviación estándar y media respectivamente.

La serie Z_t , es homogénea y consistente al 95% de probabilidad.

a. Completación de datos hidro-meteorológicos

La complementación y extensión de la información, se realiza con la finalidad de aumentar el contenido de la información de los registros cortos y tener en lo posible, series completas, más confiables y de un período uniforme.

Existen varios procedimientos para realizar la complementación y extensión de los datos faltantes, desde la utilización de criterios prácticos, como el relleno con el promedio aritmético, hasta la aplicación de técnicas estadísticas y matemáticas.

Cuando se realiza la complementación y/o extensión de datos hidrológicos o meteorológicos, se debe asegurar la confiabilidad de la técnica utilizada debido a que:

- Al aumentar la longitud de un registro de datos, se disminuye el error estándar de estimación de los parámetros, ya que cuando el tamaño muestral tiende al infinito, el estimador se asemeja más al parámetro poblacional.
- Si el procedimiento no es el adecuado, en vez de mejorar los estimados, se empeoran; siendo preferible utilizar los registros cortos.

Completar un registro de datos faltantes, significa que los datos climáticos que contienen una variable “ Y_i ” observada en una determinada estación, y que al ser incompletos debido a interrupciones más o menos cortas, estas pueden ocurrir debido a muchas causas, entre las más frecuentes están el mal funcionamiento o el daño de los instrumentos durante cierto periodo en las observaciones; de ser el caso, necesitamos de observaciones “ X_i ” de otra estación próxima y confiable.

a. Completación de datos hidro-meteorológicos faltantes

Existen muchos métodos para completar información de precipitaciones, pero en nuestro trabajo creemos que el **método de la regresión normalizada** es más que suficiente, y lo estudiamos a continuación. No está demás mencionar, que cuando todas las estaciones meteorológicas cuentan con información incompleta, se toma las dos estaciones que cuentan con mayor número de datos y se completa la información mediante cualquier otro método, en nuestro caso, hemos utilizado el de promedios.

✓ Método de la Regresión Normalizada

Si la precipitación media anual o mensual de cualquiera de las estaciones auxiliares (principales o base), difiere en más de un 10% de la medida en la estación incompleta,

el dato faltante será determinado por el método de la regresión normalizada, (CAHUANA, A. y YUGAR, W. 2009).

Cabe precisar que, para utilizar y aplicar este método, es necesario tener un mínimo de dos estaciones meteorológicas principales; donde, el dato faltante anual o mensual P_x será calculado mediante la siguiente ecuación:

$$P_x = \frac{1}{n} \left(\frac{N_x}{N_1} P_1 + \frac{N_x}{N_2} P_2 + \dots + \frac{N_x}{N_n} P_n \right) \quad (59)$$

Donde:

P_x : Dato de precipitación faltante

n: número de estaciones pluviométricas con datos de registros continuos cercanos a la estación “x”, o por completación de información (estaciones base)

N_x : precipitación media anual o mensual en la estación incompleta (mm)

N_1, N_2, \dots, N_n : precipitación media anual o mensual en las estaciones base 1, 2, y n (mm)

P_1, P_2, \dots, P_n : precipitación observada en las estaciones base 1, 2 y n, en la fecha faltante (mm)

Cuando el método es aplicado para estimar datos mensuales, los valores de N_1, N_2 y N_n ; corresponden al mes que se estima. El procedimiento para el tratamiento de datos hidro-meteorológicos, se presenta esquemáticamente en la figura N° 12 (teoría de decisiones); que, dentro del contexto general de un estudio, se denomina fase preliminar y consiste en el desarrollar lo siguiente:

Análisis de consistencia de la información.

Complementación de los datos faltantes.

Extensión de los registros.

Con la obtención de la información consistente, completa y/o extendida, termina la fase preliminar; entonces, a partir de este momento estamos en condiciones de seguir desarrollando nuestro trabajo, y el proceso que continua es determinar los parámetros deseados (generación de caudales medios mensuales), en nuestra investigación, mediante la aplicación del modelo “Precipitación-Descarga” del experto Lutz Scholz; dicho modelo nos ayudará a cumplir con nuestro objetivo principal: ***Generar caudales medios mensuales en la cuenca hidrográfica del río El Tingo, en la comunidad campesina de Unanca, provincia de San Pablo y región de Cajamarca.***

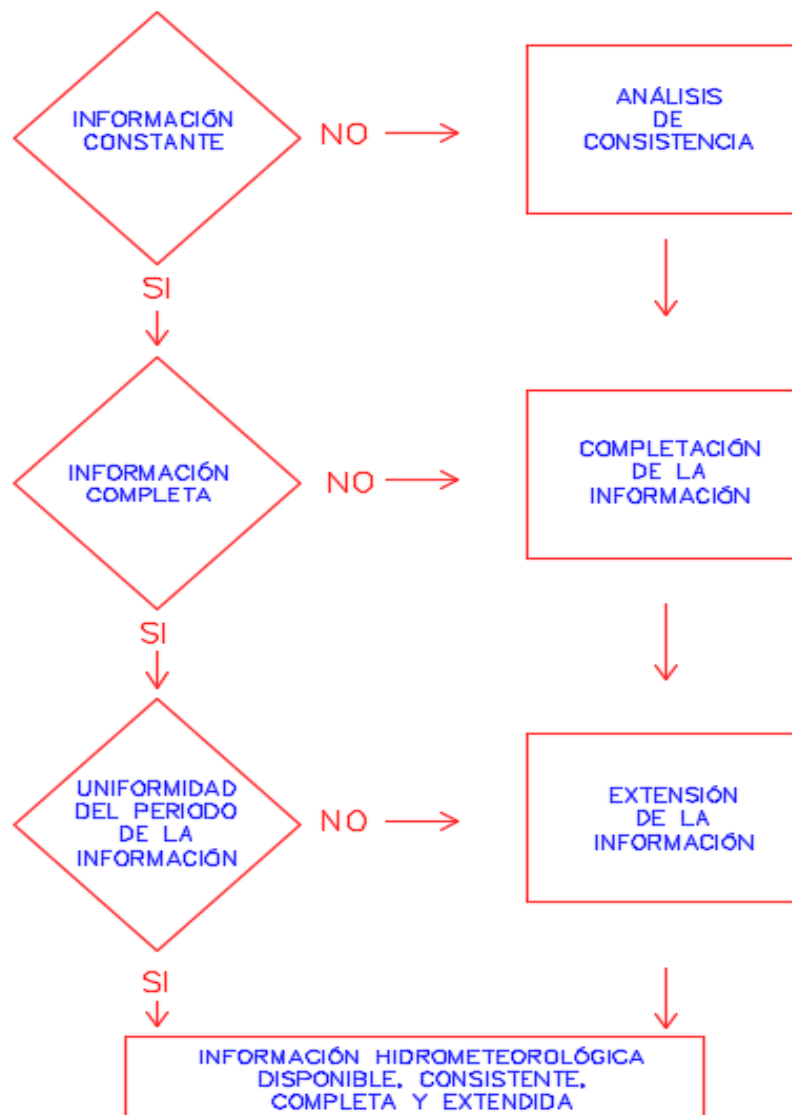


Figura 10. Cuadro de toma de decisiones de la información hidro-meteorológica.

b. Estimación de la precipitación media de una zona

En este espacio textual hablaremos del principal método para nosotros, y lo detallamos a continuación.

b. El método de las curvas isoyetas

Este método consiste en trazar curvas de igual precipitación (isoyetas) para un período determinado, en el área de estudio. Una vez trazadas las isoyetas se calculan las áreas entre líneas limítrofes, y cada una de ellas se multiplica por el promedio de precipitación del área correspondiente, (GÁMEZ, W. 2010).

Isoyetas: Es una línea horizontal, donde la magnitud de precipitación es la misma, en una unidad de tiempo, en distintos puntos geográficos, que por lo general, puede ser mensual o anual.

Se aplica la siguiente fórmula:

$$P_m = \frac{\sum(a_i * I_i)}{\sum a_i} \quad (60)$$

Donde:

a_i: iésima área del polígono

I_i: precipitación media entre dos isoyetas consecutivas que encierran a a_i

Análisis De Bondad De Ajuste

La prueba de bondad de ajuste, consiste en comprobar gráfica y estadísticamente, si la frecuencia empírica de la serie analizada, se ajusta a una determinada función de probabilidades teórica seleccionada a priori, con los parámetros estimados con base en los valores muestrales, (VILLÓN, M. 2016).

Las pruebas estadísticas, tienen por objeto, medir la certidumbre que se obtiene al hacer una hipótesis estadística sobre una población, es decir, calificar el hecho de suponer que una variable aleatoria, se distribuya según una cierta función de probabilidades, (VILLÓN, M. 2016).

a. Prueba de Smirnov – Kolmogorov

La prueba de Smirnov Kolmogorov, consiste en comparar las diferencias existentes, entre la probabilidad empírica de los datos de la muestra y la probabilidad teórica, tomando el valor máximo del valor absoluto de la diferencia, entre el valor observado y el valor de la recta teórica del modelo, (VILLÓN, M. 2016).

$$\Delta = \text{máx}|F(x) - P(x)| \quad (61)$$

Donde:

Δ: estadístico de Smirnov - Kolmogorov

F(x): probabilidad de la distribución teórica

P(x): probabilidad experimental o empírica de los datos, o frecuencia acumulada

El estadístico Δ tiene su función de distribución de probabilidades

Si Δ₀ es un valor crítico para un nivel de significación α, se tiene que:

$$\alpha = P[\text{máx}|F(x) - P(x)| \geq \Delta_0] \quad (62)$$

O también:

$$\alpha = P(\Delta \geq \Delta_0) \quad (63)$$

Por otro lado, también se considerará la siguiente ecuación:

$$1 - \alpha = P(\Delta < \Delta_0) \quad (64)$$

El procedimiento para efectuar el ajuste, mediante el estadístico de Smirnov – Kolmogorov, es el siguiente:

✓ **Primero**

Se calcula la probabilidad empírica o experimental $P(x)$ de los datos, para esto se hace uso de la siguiente fórmula, o mejor conocida como fórmula de Weibull:

$$P(x) = \frac{M}{N+1} \quad (65)$$

Donde:

P(x): probabilidad empírica o experimental

M: número de orden

N: número de datos

✓ **Segundo**

Se calcula la probabilidad teórica bajo el siguiente detalle:

- Para el caso de utilizar el procedimiento de los modelos teóricos, se debe usar la ecuación de la función acumulada $F(x)$, o tablas elaboradas para tal fin.

Si se quiere aplicar el procedimiento gráfico, se utiliza un papel probabilístico especial donde $F(x)$, puede representarse como una línea recta, por lo cual, se puede trazar con solo dos (02) puntos; pero si se quiere chequear que es una recta, se puede plotear 3 puntos.

✓ **Tercero**

Procederemos con calcular las diferencias $P(x) - F(x)$, para todos los valores de x .

✓ **Cuarto**

Seleccionamos la máxima diferencia.

$$\Delta = \text{máx}|F(x) - P(X)| \quad (66)$$

✓ **Quinto**

Calculamos el valor crítico del estadístico Δ , es decir Δ_0 , para un $\alpha=0.05$ y N igual al número de datos. Los valores de Δ_0 , se muestran en su respectiva tabla, adjunto en el presente trabajo de investigación.

✓ **Sexto**

Finamente comparamos el valor del estadístico Δ , con el valor crítico Δ_0 de la tabla anterior, bajo los siguientes criterios de decisión, deducidos en la ecuación 45.

Si:

$\Delta < \Delta_0 \rightarrow$ el ajuste es bueno, al nivel de significación seleccionado.

$\Delta \geq \Delta_0 \rightarrow$ el ajuste no es bueno, al nivel de significación seleccionado, siendo necesario probar con otra distribución.

Modelo hidrológico de Lutz Scholz

El modelo hidrológico de Lutz Scholz, es utilizado con mayor frecuencia, para la determinación de caudales medios mensuales, en cuencas hidrográficas que carecen de registros históricos, en la sierra peruana. Fue desarrollado por el experto en hidrología, Lutz Scholz, en el escenario de Cooperación de la Republica Alemana, a través del Plan de Meris II, entre los años de 1979 -1980.

Scholz (1980) refirió: Este modelo hidrológico, es combinado ya que presenta una estructura determinística para el cálculo de los caudales mensuales para el año promedio (Balance Hídrico - Modelo determinístico); y una estructura estocástica para la generación de series extendidas de caudal (Proceso Markoviano - Modelo Estocástico). El modelo se desarrolló teniendo en consideración los parámetros, tanto físicos y meteorológicos de las cuencas, bajo mediciones cartográficas y de campo. El modelo cuenta con parámetros importantes como: coeficientes para los cálculos de la precipitación efectiva, déficit de escurrimiento, retención y agotamiento de las cuencas.

El modelo hidrológico de Lutz Scholz, se viene empleando comúnmente para pequeñas y medianas cuencas sin registros hidrológicos, se basa específicamente en el balance hídrico y en parámetros parciales de tipo determinístico, (GAMARRA, H. 2018).

En la presentación de este modelo, LUTZ SCHOLZ consideró el siguiente procedimiento:

- Analizó los datos hidro-meteorológicos de diecinueve (19) cuencas entre Cuzco y Cajamarca y procedió a calcular los parámetros necesarios para la descripción de los fenómenos de la escorrentía promedio.
- Seguidamente estableció un conjunto de modelos estocásticos parciales de los parámetros, para el cálculo de caudales en estas cuencas, que carecen de información hidrométrica; luego aplicó los datos meteorológicos regionalizados para la cuenca respectiva y los modelos parciales, consiguiendo calcular los caudales mensuales.
- El tercer paso, permite la generación de caudales para un periodo extendido, en el punto de captación proyectada por un cálculo combinando (la precipitación efectiva, con las descargas del mes anterior por un proceso markoviano) y, calibrando el modelo integral por aforos realizados.

Los parámetros en los que se fundamenta el modelo de Lutz Scholz son:

a. Balance hídrico

La ecuación fundamental del balance hídrico mensual, expresada en mm/mes, se puede describir en la forma siguiente:

$$C_{mi} = P_i - D_i + G_i - A_i \quad (67)$$

Donde:

C_{mi}: caudal mensual (mm/mes)

P_i: precipitación mensual sobre la cuenca (mm/mes)

D_i: déficit de escurrimiento (mm/mes)

G_i: gasto de la retención de la cuenca (mm/mes)

A_i: abastecimiento de la retención (mm/mes)

Para la aplicación de la ecuación anterior, se parte de las siguientes consideraciones:

- Durante el año hidrológico la retención se mantiene constante, pues el agua almacenada en el periodo húmedo, es soltada en el periodo de estiaje, por lo tanto, el gasto y el abastecimiento son iguales ($G_i = A_i$).
- Una parte de la precipitación se pierde por evaporación, por lo que la expresión $(P-D)$ puede sustituirse por $C*P$, donde “C” es el coeficiente de escurrimiento, que puede ser medido o estimado, y “P” precipitación total.

Además, si tomamos en cuenta la transformación de unidades (mm/mes a m³/seg), la ecuación anterior próxima, quedaría expresada de la siguiente manera; como podemos ver, esta ecuación es conocida también con la ecuación básica del método racional:

$$Q = C' * C * P * A \quad (68)$$

Siendo:

Q: descarga (m³/seg)

C': coeficiente para la conversión del tiempo

C: coeficiente de escurrimiento (mm/mes)

P: precipitación total mensual (mm/mes)

A: área de la cuenca (m²)

b. Coeficiente de escurrimiento (C)

Aplicando la fórmula de Turc a las observaciones en las diecinueve (19) cuencas, de las cuales se dispone de registros hidro-meteorológicos, se constata que mediante la ecuación (48), se puede calcular el déficit de escurrimiento solamente en el norte del país (región de Cajamarca), con una precisión satisfactoria, (SCHOLZ, L. 1980).

$$D = \frac{P}{(0.9 + (\frac{P}{L})^2)^{0.5}} \quad (69)$$

$$L = 300 + 25 * T + 0.05 * T^3 \quad (70)$$

$$T = 197 - 23.1 * \ln(H) \quad (71)$$

Donde:

L: coeficiente de temperatura

T: temperatura media anual (°C)

H: altitud media de la cuenca

Un método para el cálculo de coeficiente “C” ha sido presentado por L. Turc:

$$C = \frac{P-D}{P} \quad (72)$$

Donde:

C = coeficiente de escurrimiento

P = precipitación total anual (mm/año)

D = déficit de escurrimiento (mm/año)

c. Precipitación efectiva (PE)

Para el cálculo de la precipitación efectiva (PE), se supone que los caudales promedio observados en la cuenca, pertenecen a un estado de equilibrio entre gasto y abastecimiento de la retención. La precipitación efectiva se calcula para el coeficiente de escurrimiento promedio, de tal forma que la relación entre precipitación efectiva y precipitación total resulta igual al coeficiente de escurrimiento, (SCHOLZ, L. 1980).

$$PE_i = C * PT_c \quad (73)$$

Siendo:

PE_i = precipitación efectiva del mes “i” (mm/año)

PT_c = precipitación total generada (mm/año)

C = coeficiente de escurrimiento

d. Retención de la cuenca

Bajo la suposición de que exista un equilibrio entre el gasto y el abastecimiento de la reserva de la cuenca y además que el caudal total sea igual a la precipitación efectiva anual, la contribución de la reserva hídrica al caudal, se puede calcular según las fórmulas siguientes, (SCHOLZ, L. 1980).

$$R_i = CM_i * PE_i \quad (74)$$

$$CM_i = PE_i + G_i - A_i \quad (75)$$

Donde:

Ri = retención de la cuenca (mm/mes)

CMi = caudal mensual (mm/mes)

PEi = precipitación efectiva mensual (mm/mes)

Gi = gasto de la retención (mm/mes)

Ai = abastecimiento de la retención (mm/mes)

Sumando todos los valores de “G” o “A” respectivamente, se halla la retención total de la cuenca durante el año promedio, expresado en (mm/mes).

Esta ecuación se realiza básicamente para la calibración de la retención de la cuenca. En cuencas de la sierra, la retención varía de: 43 a 188 (mm/año), resultados que se indican en el volumen del modelo, asimismo muestran una uniformidad del cambio de los valores G y A durante el año, para las cuencas pertenecientes a la misma región, (SCHOLZ, L. 1980).

$$R = \frac{1}{AR} * (C_a * AR * LA + AL * LL + AN * LN) \quad (76)$$

Siendo:

R: retención de la cuenca (mm/año)

Ca: coeficiente (geología de la cuenca) (15% - 30%)

AR: área de la cuenca (Km²)

LA: almacenamiento de acuíferos (mm/año)

AL: área de las lagunas (Km²)

LL: almacenamiento de lagunas y pantanos (mm/año)

AN: área de los nevados (Km²)

LN: almacenamiento de nevados (mm/año)

e. Relación entre descargas y retención

Durante la estación seca, el gasto de la retención alimenta los ríos, constituyendo el caudal o descarga básica. La reserva o retención de la cuenca se agota al final de la estación seca; durante esta estación la descarga, se puede calcular en base a la ecuación (56), (SCHOLZ, L. 1980).

$$Q_t = Q_o * e^{-a(t)} \quad (77)$$

Donde:

Qt: descarga en el tiempo t

Qo: descarga inicial

a: coeficiente de agotamiento

t: tiempo (número de días del mes)

Al principio de la estación lluviosa, el proceso de agotamiento de la reserva termina, comenzando a su vez el abastecimiento de los almacenes hídricos. Este proceso está descrito por un déficit entre la precipitación efectiva y el caudal real. En base a los hidrogramas, se ha determinado que el abastecimiento es más fuerte al principio de la estación lluviosa, continuando de forma progresiva pero menos pronunciada, hasta el final de dicha estación, (SCHOLZ, L. 1980).

f. Coeficiente de agotamiento (a)

En principio, es posible determinar el coeficiente de agotamiento real mediante aforos sucesivos en el río, durante la estación seca; sin embargo, cuando no sea posible ello, se puede recurrir a las ecuaciones desarrolladas para cuatro clases de cuencas:

✓ Cuencas con agotamiento muy rápido

Debido a temperaturas elevadas (>10°C) y retención que va de reducida (50 mm/año) a mediana (80 mm/año).

$$a = -0.00252 * LN (AR) + 0.034 \quad (78)$$

✓ Cuencas con agotamiento rápido

Retención entre 50-80 mm/año y vegetación poco desarrollada (puna).

$$a = -0.00252 * LN (AR) + 0.030 \quad (79)$$

✓ **Cuencas con agotamiento mediano**

Retención mediana (80 mm/año) y vegetación mezclada (pastos, bosques y terrenos cultivados).

$$a = -0.00252 * LN (AR) + 0.026 \quad (80)$$

✓ **Cuencas con agotamiento reducido**

Debido a la alta retención (>100 mm/año) y vegetación mezclada.

$$a = -0.00252 * LN (AR) + 0.023 \quad (81)$$

Siendo:

a: coeficiente de agotamiento por día

AR: área de la cuenca (km²)

R: retención total de la cuenca (mm/año)

g. Almacenamiento hídrico

Se propone tres fuentes principales para el almacenamiento hídrico, que inciden en la retención de la cuenca: acuíferos, lagunas-pantanos y nevados; para los cuales propone diferentes aportes específicos, en función del área de la cuenca, (SCHOLZ, L. 1980).

La determinación de la lámina "L" que almacena cada tipo de estos almacenes, está dado por:

✓ **Acuíferos**

Determinado mediante la siguiente expresión:

$$LA = -750 * I + 350 \quad (82)$$

Donde:

LA: almacenamiento de acuíferos (mm/año), (200-300 mm/año)

I: pendiente del cauce principal (I<=15%)

✓ **Lagunas y pantanos**

Determinado mediante la siguiente expresión:

$$LL = 500 \text{ (mm/año)} \quad (83)$$

Donde:

LL: almacenamiento de lagunas y pantanos (mm/año)

✓ **Nevados**

La siguiente expresión se utiliza para determinar este valor:

$$LN = 500 \text{ (mm/año)} \quad (84)$$

Donde:

LN: almacenamiento de nevados (mm/año)

Las respectivas extensiones o áreas son determinadas de los mapas o aerofotografías. El almacenamiento a corto plazo, intercepción, no se toma en consideración estacionaria de valores mensuales, sino que ya está incluido en la precipitación efectiva, (SCHOLZ, L. 1980).

h. Gasto de la retención “Gi”

Es el volumen de agua que almacena la cuenca en los meses lluviosos, bajo un determinado régimen de almacenamiento, y que entrega en los meses secos. Al régimen de entrega del gasto de la retención se le denomina: coeficientes de agotamiento “a”.

La contribución mensual de la retención durante la estación seca, se puede determinar por la siguiente expresión, (SCHOLZ, L. 1980).

$$b_o = e^{-a(t)} \quad (85)$$

$$G_i = \frac{b_o}{b_m} * R \quad (86)$$

Donde:

bo: es la relación entre el caudal del mes actual y anterior

bm: suma de factores mensuales durante la estación de estiaje $(\sum b_o i)$

boi: relación entre el caudal del mes “i” y el caudal inicial $(\frac{Q_i}{Q_o})$

Gi: es el gasto mensual de la retención (mm/mes)

R: retención de la cuenca (mm/mes)

i. Abastecimiento de la retención “Ai”

Es el volumen de agua que retiene la cuenca durante la época de lluvias, dicho volumen es almacenado de manera natural en: acuíferos, lagunas, pantanos y nevados, para luego alimentar a la escorrentía directa. El almacenamiento de este volumen se da bajo un determinado régimen de almacenamiento. Al régimen de almacenamiento del abastecimiento de la retención se le denomina: coeficientes de abastecimiento “Ai”.

Comparando cuencas vecinas, respecto a la lámina de agua que entra en la retención de la cuenca, se puede demostrar, que el abastecimiento durante la estación lluviosa es casi uniforme, para cuencas ubicadas en la misma región climática. En las regiones situadas más al norte, se muestra la influencia del clima ecuatorial de transición, allí el abastecimiento empieza en el mes de octubre con 10% hasta 20%.

La contribución de los meses de noviembre y diciembre es pequeña, y la restitución de los almacenes hídricos tiene lugar en enero hasta marzo. Los coeficientes mensuales del almacenamiento total anual se muestran en la tabla N° 09, (SCHOLZ, L. 1980).

Tabla 9. Coeficientes de abastecimiento durante época de lluvias (%).

Región	Meses del año (ai)%						
	Oct.	Nov.	Dic.	Ene.	Feb.	Mar.	Total
Cusco	0	5	35	40	20	0	100
Huancavelica	10	0	35	30	20	5	100
Junín	10	0	25	30	30	5	100
Cajamarca	25	-5	0	20	25	35	100

Fuente: SCHOLZ, L. (1980)

La lámina de agua A_i , que entra en la reserva de la cuenca, se muestra en forma de déficit mensual de la precipitación efectiva PE_i , y se calcula mediante la ecuación:

$$A_i = a_i * \left(\frac{R}{100}\right) \quad (87)$$

Donde:

A_i : abastecimiento mensual déficit de la precipitación efectiva (mm/mes)

a_i : coeficiente de abastecimiento (%)

R : retención de la cuenca (mm/año)

j. Determinación del caudal mensual para el año promedio

La lámina de agua que corresponde al caudal mensual para el año promedio, se calcula mediante la siguiente ecuación básica del balance hídrico, a partir de los componentes descritos anteriormente, (SCHOLZ, L. 1980).

$$CM_i = PE_i + G_i - A_i \quad (88)$$

Donde:

CM_i : caudal del mes "i" (mm/mes)

PE_i : precipitación efectiva del mes "i" (mm/mes)

G_i : gasto de la retención del mes "i" (mm/mes)

A_i : abastecimiento de la retención del mes "i" (mm/mes)

k. Generación de caudales para periodos extendidos

Un método apropiado para la generación de caudales para periodos extendidos, consiste en una combinación de un proceso markoviano de primer orden (ecuación 89) con una variable de impulso, que vendría a ser la precipitación efectiva (ecuación 90) (SCHOLZ, L. 1980).

Ecuación general del modelo markoviano:

$$Q_t = f(Q_{t-1}) \quad (89)$$

La variable de impulso, considerada la precipitación efectiva será:

$$Q = g(PE_t) \quad (90)$$

Con la finalidad de aumentar el rango de valores generados y obtener una óptima aproximación a la realidad, se utiliza otra variable aleatoria.

$$Z = (S) * \sqrt{(1 - r^2)} * z \quad (91)$$

Finalmente, la ecuación integral para la generación de caudales mensuales, combinando los componentes citados, se escribe a continuación:

$$Q_t = B_1 + B_2(Q_{t-1}) + B_3(PE_t) + (S) * \sqrt{(1 - r^2)} * z \quad (92)$$

Donde:

Q_t: caudal del mes “t”

Q_{t-1}: caudal del mes anterior

PE_t: precipitación efectiva del mes “t”

B₁: factor constante o caudal básico

B_{2,3}: parámetros del modelo para el año promedio

S: desviación estándar de los residuos

r: coeficiente de correlación múltiple

z: número aleatorio normalmente distribuido (0,1) del año “t”

El proceso de generación requiere de un valor inicial (Q_{t-1}), el cual puede ser obtenido por una de las siguientes formas:

- Empezar el cálculo en el mes para el cual se dispone de un aforo.
- Tomar como valor inicial el caudal promedio de cualquier mes.
- Empezar con un caudal cero, calcular un año y tomar el último resultado como valor. (Q₀), sin considerar estos valores en el cálculo de los parámetros estadísticos del período generado.

La precipitación efectiva de cada mes se ha calculado según la ecuación 92, los valores de los coeficientes B₁, B₂, B₃, S y r, se calculan al desarrollar la regresión múltiple con los datos de caudales mensuales para el año promedio.

Por motivos didácticos, se presenta la metodología del análisis de regresión múltiple:

1. Regresión múltiple

Se calculan los parámetros B1, B2, B3, S y r, sobre la base de los resultados del modelo para el año promedio, mediante el cálculo de regresión con “Qt”, como valor dependiente y “Qt-1, PEt”, como valores independientes (Scholz, L. 1980).

Ejemplo: sea “Qt”, los caudales generados por el modelo de Lutz Scholz, para el mes “t”, del año promedio, y “PEt”, la precipitación efectiva calculada para el mes “t”, del año promedio, (Scholz, L. 1980).

Entonces las series para la regresión múltiple se elaboran como se muestra en la tabla 10.

Las ecuaciones normales para estimar el cálculo de las variables B1, B2 y B3, Son:

$$\sum Q_t = 12 * B_1 + B_2 * \sum Q_{t-1} + B_3 * \sum PE_t \quad (93)$$

$$\sum(Q_t * Q_{t-1}) = B_1 * \sum Q_{t-1} + B_2 * \sum Q_{t-1}^2 + B_3 * \sum(Q_{t-1} * PE_t) \quad (94)$$

$$\sum(Q_t * PE_t) = B_1 * \sum PE_t + B_2 * \sum(Q_{t-1} * PE_t) + B_3 * \sum(PE_t)^2 \quad (95)$$

Tabla 10. Series para la regresión múltiple.

MES	Qt	Qt-1	PEt
ENERO	Q1	Q12	PE1
FEBRERO	Q2	Q1	PE2
MARZO	Q3	Q2	PE3
ABRIL	Q4	Q3	PE4
MAYO	Q5	Q4	PE5
JUNIO	Q6	Q5	PE6
JULIO	Q7	Q6	PE7
AGOSTO	Q8	Q7	PE8
SETIEMBRE	Q9	Q8	PE9
OCTUBRE	Q10	Q9	PE10
NOVIEMBRE	Q11	Q10	PE11
DICIEMBRE	Q12	Q11	PE12

Fuente: SCHOLZ, L. 1980.

Luego, el caudal estimado se determinará mediante la siguiente ecuación, a partir de los parámetros B1, B2 y B3.

$$\sum \hat{Q}_t = B_1 + B_2 * \sum Q_{t-1} + B_3 * \sum PE_t \quad (96)$$

$$\sum e = Q_t - \hat{Q}_t \quad (97)$$

Los 12 valores de \hat{Q}_t , se obtienen con los pares de valores de la tabla N° 10 y también se calculan los 12 valores del error “e”.

Donde:

Q_t : caudales muestrales (experimentales) del mes “t”

Q_{t-1} : caudales muestrales (experimentales) del mes anterior

\hat{Q}_t : caudales estimados del mes “t”

e : error entre los valores muestrales y estimados

El cálculo de la desviación estándar de los residuos, se hace mediante la siguiente ecuación:

$$S = \sqrt{\frac{\sum(e^2)}{n-p}} \quad (98)$$

Luego, el coeficiente de regresión múltiple “r”, se calcula haciendo uso de la siguiente ecuación:

$$r = \sqrt{1 - \frac{S^2}{S_{Q_t}^2}} \quad (99)$$

$$S_{Q_t}^2 = \frac{1}{n-1} [\sum(Q_t^2 - n * (\hat{Q}_t)^2)] \quad (100)$$

Dónde:

n : número de grupos de la muestra

p : número de parámetros a estimar

m. Restricciones del modelo

El modelo presenta ciertas restricciones de uso o aplicación tales como:

- Su uso es únicamente para el cálculo de caudales mensuales promedio.
- Los registros generados en el período de secas, presentan una mayor confiabilidad que los valores generados para la época lluviosa.
- La aplicación del modelo se restringe a las cuencas en las que se ha calibrado sus parámetros (sierra peruana: Cusco, Huancavelica, Junín, Cajamarca).

Mediciones Hidrológicas

En un diseño hidrológico, el acopio de datos históricos es de fundamental importancia a fin de conocer el comportamiento local y regional de los procesos hidrometeorológicos. Toda la información disponible, ayuda a realizar extrapolaciones estadísticas y a calibrar y verificar modelos matemáticos. La información hidrológica de carácter histórico son datos “reales”, de eventos ocurridos y su importancia no se puede dejar de considerar en todo estudio serio, de análisis y diseño hidrológico, (FATTORELLI S. Y FERNÁNDEZ P. 2011).

a. Aforos

La medición de la velocidad en una corriente, la información geométrica de la sección donde se mide y el registro de los valores de nivel del agua, proporcionan la base para determinar el volumen que pasa por el cauce en la unidad de tiempo; a este proceso de cuantificación se le da el nombre de aforo y se puede aplicar, tanto en ríos como en canales, (BREÑA, A. y JACOBO, M. 2006).

Haciendo referencia a los trabajos de aforo realizados, en el punto emisor de la cuenca hidrográfica en estudio, hemos hecho primar dos métodos, uno por medio del tubo de PITOT y el segundo por el método del flotador, debido a que, en época de lluvias, se presenciaron caudales muy importantes y peligrosos a la vez.

b. Método del flotador

Una forma muy simple de estimar la velocidad en una corriente pequeña, es colocar en la superficie objetos que floten. Primero se define la distancia que recorrerá el flotador; en el extremo aguas arriba, se suelta y se mide el tiempo transcurrido en alcanzar el extremo que corresponde a aguas abajo, (BREÑA, A. y JACOBO, M. 2006).

La relación que nos ayuda a determinar la velocidad media es:

$$V_{med} = 0.85 * V_{medida} \quad (101)$$

Donde:

V_{med}: velocidad media (m/s)

V_{medida}: velocidad calculada mediante el método (m/s)

c. Método de Henri Pitot

El tubo de Pitot fue creado en el siglo XVIII por quien lo bautizara, Henri Pitot, con la finalidad de conseguir un artefacto capaz de medir la velocidad total de un fluido, más precisamente del curso de agua del río Sena. Más adelante fue adaptado por Henry Darcy, un hidráulico nacido en Francia.

El tubo de Pitot es un dispositivo de fácil manipulación al momento de medir la presión cinética. Consta, básicamente de dos sondas de presión, una que es la toma de presión, cuya superficie se coloca perpendicular a la dirección de la corriente (justo en el punto donde se desea conocer la velocidad), y de otra toma de presión con superficie paralela a la dirección de la corriente. Con la primera toma se mide la presión de impacto, mientras que la segunda nos permite medir la presión estática, de forma que la diferencia entre ambas (medidas con un manómetro diferencial), es la presión cinética.

La presión cinética es la base para el cálculo de la velocidad local en el punto donde se colocó la sonda de la presión de impacto, (MARTÍN I, SALCEDO R, FONT R. 2011). Para determinar la velocidad por medio del método de Pitot, se utiliza la siguiente expresión matemática:

$$V = \sqrt{2 * g * h} \quad (102)$$

Donde:

V: velocidad (m/s)

g: aceleración de la gravedad (m/s²)

h: altura o desnivel (m)

CAPITULO III: MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. METODOLOGÍA

3.1.1. Información Geográfica

La cuenca hidrográfica del río El Tingo, se extiende al sur del continente americano, al norte del país incaico.

a. Área de estudio

El área pertenece a la región Cajamarca, provincia y distrito de San Pablo; forma parte de la vertiente del pacifico.



Figura 11. Ubicación departamental - cuenca hidrográfica del río El Tingo.

Fuente: <http://hugosiescajamarcaperu.blogspot.com/2012/08/ubicacion-de-cajamarca.html>.

b. Demarcación política

Políticamente la cuenca hidrográfica del río El Tingo se encuentra en el distrito y provincia de San Pablo y departamento de Cajamarca (Ver figuras N° 11 y N° 12).



Figura 12. Ubicación provincial – cuenca hidrográfica del río El Tingo.

Fuente: [https://es.wikipedia.org/wiki/Distrito_de_San_Pablo_\(San_Pablo\)](https://es.wikipedia.org/wiki/Distrito_de_San_Pablo_(San_Pablo))

c. Accesibilidad del lugar de estudio

Para llegar a las inmediaciones del punto emisor de la cuenca hidrográfica del río El Tingo (lugar donde se realizó los aforos), partiendo de la ciudad de Cajamarca, nos

trasladaremos al terminal de combis, de transporte de pasajeros a la provincia de San Pablo; dicho terminal se encuentra a la altura del GRIFO CONTINENTAL, siendo la vía KUNTUR WASI, la que une a estos lugares; el transporte público de pasajeros está a cargo de las empresas: JOYA EXPRESS SRL, SUPERMOVIL SRL, CIELITO SAN PABLINO, y otras que cubren la ruta; ya embarcados, nuestro próximo destino será el paradero: “La Cruz de Cardón”. En este lugar, debemos tomar el servicio de moto taxi con destino al Centro Poblado Capilla de Unanca, por una trocha carrozable.



Figura 13. Ubicación Distrital de la cuenca hidrográfica del río El Tingo.

Fuente. https://www.familysearch.org/wiki/es/San_Pablo,_Cajamarca,_Per%C3%BA_-_Genealog%C3%ADa

Para llegar al punto emisor de la cuenca en estudio, nos queda un último tramo, el cual lo debemos recorrer a pie, por un lapso de tiempo de unos veinte minutos.

Todo el desplazamiento, desde la ciudad de Cajamarca hasta el punto de aforo de la cuenca hidrográfica en estudio, nos ocupará un tiempo de dos horas aproximadamente,

lo que equivale a recorrer una distancia de poco más de 78 kilómetros; no está demás mencionar que geográficamente, el Centro Poblado Capilla de Unanca, se encuentra al noroeste de la ciudad de Cajamarca.

d. Demarcación hidrográfica

El área de estudio, comprende el ámbito de la cuenca hidrográfica del río El Tingo, esta a su vez tiene como cuencas hidrográficas limítrofes a las siguientes:

- Por el noroeste: Cuenca hidrográfica del río San Miguel o Puclush.
- Por el sur : Cuenca hidrográfica del río LLaminchan.
- Por el este : Cuenca hidrográfica del río Callancas.
- Por el oeste : Cuenca hidrográfica del río San Miguel o Puclush.

e. Referencia geográfica

Mediante la utilización del software Google Earth Pro, hemos podido determinar el área donde se realizó el estudio.

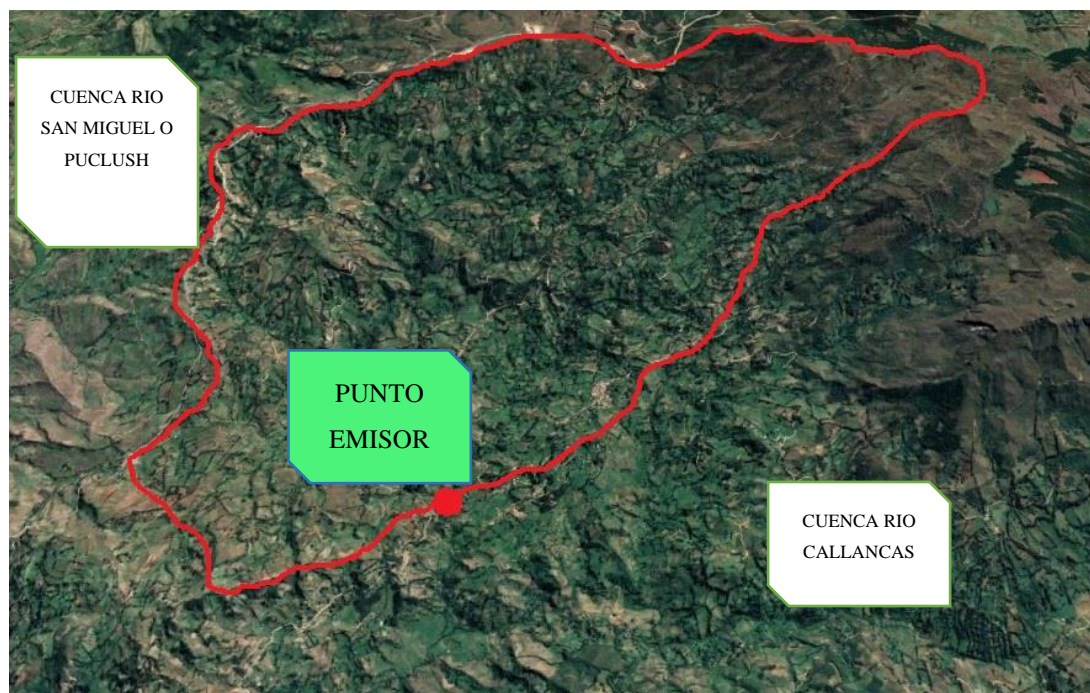


Figura 14. Ubicación geográfica de la cuenca hidrográfica del río el Tingo.

Nota: La similitud geográfica en cuanto a forma, que guarda la cuenca hidrográfica del río El Tingo y el mapa político de la provincia de San Pablo; nos anima en bautizar a este lugar, con el nombre de: “Retama sampablina”.

f. Coordenadas UTM

Las coordenadas UTM del punto emisor de la cuenca hidrográfica del Río “El tingo”, son:

Este : 743787.95 m E.

Norte : 9215501.96 m S.

Altitud : 2651.12 m.s.n.m.

3.1.2. Características De La Cuenca Hidrográfica Del Río El Tingo Comunidad Campesina De Unanca

Temperatura:

En San Pablo, los veranos cómodos y en su mayoría con mucha radiación solar; y los inviernos son cortos, frescos, secos y parcialmente nublados. En el transcurso del año, la temperatura generalmente varía de 8 °C a 21 °C y rara vez baja a menos de 7 °C o sube a más de 24 °C.

Cubierta vegetal

La cubierta vegetal, está distribuida de la siguiente manera: un 60 % corresponde a terrenos cubiertos de pastos cultivados como el heno, el trébol y la grama, un 28 % representa a terrenos con cultivos de maíz, papa, trigo, cebada, alverja, oca, olluco, mashua y entre otros más.

El 12 % restante está cubierto por bosques naturales o silvestres, tales como: sauco, zarza, huaylulo, salvia, salvia real, mogomogo, coñor, suro, penca, mutuy, andanga, coñor, etc. Y también por bosques cultivados con plantaciones de: el eucalipto, el aliso, el pino y el ciprés.

Nubes

Por su parte, el promedio del porcentaje del cielo cubierto con nubes varía extremadamente en el transcurso del año. La parte más despejada del año en San Pablo comienza aproximadamente el 30 de abril; dura 5.0 meses y se termina aproximadamente el 29 de setiembre. El mes más despejado del año en San Pablo es Julio, durante el cual en promedio el cielo está despejado, durante el día, un 65 % del tiempo. La parte más nublada del año comienza aproximadamente el 29 de setiembre;

dura 7.0 meses y se termina aproximadamente el 30 de abril. El mes más nublado del año en San Pablo es febrero, durante el cual en promedio el cielo está nublado o mayormente nublado el 85 % del tiempo.

Sol

La duración del día en San Pablo, no varía considerablemente durante el año, solamente varía 32 minutos de las 12 horas en todo el año. En 2022, el día más corto es el 21 de junio, con 11 horas y 43 minutos de luz natural; el día más largo es el 21 de diciembre, con 12 horas y 32 minutos de luz natural.

Precipitación

Un día mojado es un día con por lo menos 1 milímetro de líquido o precipitación equivalente a líquido. La probabilidad de días mojados en San Pablo varía durante el año. La temporada más mojada dura 6.6 meses, desde el 9 de octubre al 29 de abril, con una probabilidad de más del 15 % de que cierto día será un día mojado. El mes con más días mojados en San Pablo es marzo, con un promedio de 8.8 días con por lo menos 1 milímetro de precipitación.

La temporada más seca dura 5.4 meses, del 29 de abril al 9 de octubre. El mes con menos días mojados en San Pablo es Julio, con un promedio de 0.3 días con por lo menos 1 milímetro de precipitación. Entre los días mojados, distinguimos entre los que tienen solamente lluvia, solamente nieve o una combinación de las dos. El mes con más días con solo lluvia en San Pablo es marzo, con un promedio de 8.8 días. En base a esta categorización, el tipo más común de precipitación durante el año es solo lluvia, con una probabilidad máxima del 29 % el 19 de marzo.

Lluvia

Para mostrar la variación durante un mes y no solamente los totales mensuales, mostramos la precipitación de lluvia acumulada durante un período de 31 días en una escala móvil centrada alrededor de cada día del año. San Pablo tiene una variación ligera de lluvia mensual por estación.

La temporada de lluvia dura 7.7 meses, del 25 de setiembre al 16 de mayo, con un intervalo móvil de 31 días de lluvia de por lo menos 13 milímetros. El mes con más lluvia en San Pablo es marzo, con un promedio de 45 milímetros de lluvia.

El periodo del año sin lluvia dura 4.3 meses, del 16 de mayo al 25 de setiembre. El mes con menos lluvia en San Pablo es julio, con un promedio de 1 milímetros de lluvia.

Actividades económicas

Los pobladores unanquinos, en su mayoría practican dos actividades principales: la ganadería y la agricultura, siendo la primera la que hace circular la moneda nacional con mayor frecuencia, en tal sentido, es un honor mencionar que, de esta cuenca hidrográfica, la empresa Nestlé Perú, compra 1800 litros diarios, mientras que la empresa “El Bambacho E.I.R.L.”, compra 600 litros diarios para producir queso industrial en el Centro Poblado Santa Rosa de Unanca, por su parte la empresa Gloria S.A., se beneficia de unos 1000 litros al día; finalmente la empresa HOMERO MEDINA, transforma queso industrial, en el Centro Poblado Capilla de Unanca, con 800 litros diarios.

La agricultura y la ganadería son desarrolladas por un 80 %, de las familias de dicha cuenca, mientras que el resto subsiste gracias a actividades económicas tales como: la carpintería, el magisterio, el transporte, entre otros.

Esto concluye, a que la cuenca hidrográfica del río El Tingo produce 4200 litros de leche por día en promedio. Debemos resaltar que en época de lluvias (Octubre – Abril), la producción de leche alcanza cifras muy elevadas, con respecto a las cifras que se alcanza en época de estiaje, indicador que responde a una deficiente gestión respecto a la disponibilidad hídrica.

Un 85%, del área de esta cuenca hidrográfica, goza de condiciones topográficas que pueden acceder a cualquiera de los sistemas de riego presurizados, en los doce meses del año, solo que la mala gestión del recurso hídrico, reduce ese porcentaje a un 42%, en meses de estiaje, puesto que los riegos por gravedad siguen siendo de prioridad para los lugareños.



Figura 15. La minga en la cosecha de papa, es una característica común en las familias unanquinas – Capilla Alta.



Figura 16. Siembra de Alverja, con yunta, en la cuenca hidrográfica del río El Tingo – Anexo “El Rejo”.

Hidrología Y Geografía

El río Tingo es un lecho natural de drenaje, que recorre 8.0934 kilómetros, hasta llegar al punto emisor de la cuenca hidrográfica, este a su vez, hace descansar las aguas de su principal aportante que es la quebrada de nombre “La Piriana”, la cual hace un recorrido de 5.7266 kilómetros; tanto el río como la quebrada, en su trayecto alimentan a canales de regadío, por medio de bocatomas provisionales construidas en base a rocas, piedras, barro, arena, madera, y plástico; producto de construcciones temporales y anuales; es sabido que en épocas de lluvias, el caudal que se desperdicia es considerable, no pudiéndose planificar mediante programas de cosecha de agua por ejemplo, puesto que en épocas de estiaje, las familias sufren un déficit importante de este recurso; demostrando que, en esta cuenca se ha venido postergando la gestión y planificación de los recursos hídricos y no hay duda que este trabajo, aportaría parte del material necesario para impulsar el sector socioeconómico, de este pueblo.



Figura 17. Bocatoma del canal de regadío “Horno Pata”, lecho del río “El Tingo”.

Describiendo mejor la red de drenaje de la cuenca hidrográfica del río “El Tingo”, empezaremos con mencionar que, la quebrada “La Piriana”, es alimentada por dos riachuelos denominados Santa Rosa y Los Alisos. Por su parte, el río “El Tingo”, en su trayecto hace descansar las aguas de seis riachuelos cuyos nombres son: Capilla Alta, La Florida, El Rejo, El escribano, El Cielito lindo y El Ingenio Alto.



Figura 18. Vista panorámica, de la parte derecha de la cuenca hidrográfica del río El Tingo, vertiente de la quebrada “La Piriana”.

El riachuelo el Rejo, es el encargado de hacer descansar las aguas de otro riachuelo de orden menor, cuyo nombre es “Dos de Mayo”; con respecto al riachuelo Cielito Lindo, es el encargado de transportar las aguas de un importante riachuelo de nombre “Totorá”, que, dicho sea de paso, es el riachuelo que resulta de la infiltración y acumulación de aguas de terrenos de alverja, de allí talvez su alta concentración de abonos, para terrenos aguas abajo. Es importante mencionar que, el ultimo riachuelo mencionado líneas arriba, no forman parte del territorio geográfico de la comunidad campesina de Unanca.

Adicionando a la información mostrada líneas arriba, podemos afirmar también, que en la quebrada “El tingo” se lleva a cabo una de las actividades deportivas más lindas para los lugareños, y nos referimos a la pesca, puesto que la crianza de la trucha, en condiciones naturales, hace de este lugar un espacio donde se cría este pez, que en términos de alimentación es muy rico y nutritivo.



Figura 19. Vista panorámica, de la parte izquierda de la cuenca hidrográfica del río El Tingo, vertiente del cauce principal “El Tingo”, Anexos Dos de Mayo y El Rejo, Comunidad de Unanca.



Figura 20. Pesca de truchas, aguas abajo del punto emisor de la cuenca hidrográfica del río “El Tingo”, en las inmediaciones de la intersección del río Callancas y Río El Tingo o Unanquino.

3.1.3. Procedimiento

a. Recopilación de la información

Para realizar nuestro trabajo de investigación, con respecto al estudio hidrológico de la cuenca hidrográfica del río El Tingo, primero realizamos una delimitación de la cuenca hidrográfica, con el programa de GOOGLE EARTH, luego con una imagen, de formato correspondiente, se arrastró al software de ARC GIS, en su versión 10.8; este procedimiento nos llevó a realizar la delimitación de la cuenca hidrográfica, a partir del montaje de las cartas geográficas, descargadas de la página web del MINEDU. Cabe precisar que, en el transcurso de nuestro trabajo, en la interacción con Arc Map, hemos utilizado formatos ráster o imágenes ráster, TIN, entre otros, hasta llegar a la delimitación total de nuestra cuenca hidrográfica, el cuál es exportado en formato pdf (plano) y luego adjuntado a nuestro trabajo.

La recopilación de información, se hizo en la página web del SENAMHI (Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú), y que mediante correo electrónico nos han facilitado el acceso a la data histórica de las estaciones meteorológicas más cercanas e importantes para nuestro trabajo, a fin de disponer de información, que nos permita la generación de caudales medios mensuales. Por ello, nuestro especial reconocimiento a esta importante entidad del estado peruano, por contar con una página web muy familiar e interactiva para cualquier ciudadano peruano; y por habernos otorgado el permiso, en el menor tiempo posible. Las estaciones meteorológicas seleccionadas para la presente investigación, se detallan a continuación:

Las estaciones meteorológicas con las que trabajaremos, han sido elegidas debido a que son las más cercanas al punto emisor de la cuenca hidrográfica del río El Tingo y que a su vez se dispone de la data correspondiente. Además se consideró la estación de Chilete ya que cuenta con información meteorológica e información hidrométrica, la cual servirá para realizar la validación de la información que lleguemos a producir en nuestro trabajo de investigación, considerando variaciones de aumento o disminución de caudales.

Tabla 11. Estaciones meteorológicas aledañas a la cuenca hidrográfica del río El Tingo.

ESTACIÓN METEOROLÓGICA	COORDENADAS		ALTITUD m.s.n.m.
	ESTE	NORTE	
LIVES	716438.03	9216929.26	1931.00
CHILETE	737185.28	9226058.46	2666.00
LLAPA	741825.35	9228085.22	2951.00
SAN PABLO	739581.98	9212672.4	2325.00
GRANJA PORCÓN	761445.68	9221440.43	3149.00
MAGDALENA	759199.78	9197561.06	1307.00
LLAGADÉN - MAGDALENA	766815.00	9196029.00	2150.00
AUGUSTO WEBERBAUER	776876.57	9206979.02	2673.00
CONTUMAZÁ	740346.46	9185292.06	2542.00

Fuente.- Servicio nacional de hidrología y meteorología (2021).

No estaría demás, reconocer la importancia que implica el contar con una estación meteorológica, puesto que contar con una información medida en tiempo real y confiable, facilitaría la gestión integral de los recursos hídricos, en esta cuenca.



Figura 21. Vista satelital de las estaciones meteorológicas aledañas a la cuenca hidrográfica del río El Tingo, utilizando el software Google Earth.



Figura 22. Ubicación geográfica de las estaciones meteorológicas aledañas a la cuenca hidrográfica del río El Tingo.

b. Tratamiento cartográfico

El tratamiento de la información cartográfica consiste en:

- Descargar los archivos del tipo SHAPEFILE, desde la página web del MINEDU de nuestro país, el cual es de libre acceso y descarga gratuita, estos archivos son comúnmente conocidas como cartas nacionales.
- A partir de las curvas de nivel contenidas en la carta nacional 15-f, en formato SHAPEFILE, procederemos con la conversión a un formato TIN (modelo digital del terreno) y este a un formato RASTER. Toda esta actividad se hace con la ayuda del software ARC GIS 10.8.
- Para una mejor precisión en la delimitación de nuestra cuenca, se ha tenido que realizar de forma preliminar, un trazo de la línea divisoria de aguas, a este procedimiento se le conoce como la georreferenciación, esto se hace gracias al software de GOOGLE EARTH, el cual nos brinda una imagen, que luego es usada en

Arc Gis, mediante un procedimiento denominado “georreferenciación por puntos de control”.

- Delimitación y estimación de parámetros geomorfológicos de la cuenca hidrográfica del río El Tingo (área, perímetro, número de orden), utilizando el software Arc Gis 10.8.
- Determinación de los demás parámetros geomorfológicos, tales como longitud del máximo recorrido, coeficiente de compacidad, factor de forma, pendiente de la cuenca, entre otros, los cuales se muestran en las tablas 12 y 13.

c. Tratamiento de información meteorológica

La información meteorológica recopilada, perteneciente a nueve estaciones meteorológicas, fue solicitada formalmente a SENAMHI, quienes amablemente nos dieron las facilidades, para la descarga de información meteorológica, mediante la emisión de una clave enviada a nuestro correo electrónico, y consecuentemente:

- Se recopiló información de nueve (09) estaciones meteorológicas (Tablas 32 y 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39 y 40), cabe precisar que el criterio para esta elección ha sido la proximidad a nuestra cuenca (cuencas vecinas), con respecto al punto emisor de la cuenca hidrográfica en estudio.
- Seguidamente se organizó la información recopilada (precipitaciones diarias), en precipitaciones mensuales, esto se hizo mediante la suma total de las precipitaciones diarias, resultando una precipitación para cada mes, también se calculó el promedio mensual de cada estación; ya que ese es el objetivo de nuestro trabajo, “generación de caudales mensuales”.
- Luego se realizó el análisis visual gráfico y el análisis doble masa, este último nos permitió elegir las estaciones base, o principales; y las restantes serían “estaciones secundarias”; cabe precisar que, para realizar el análisis doble masa, tuvimos que hacer una completación preliminar con el promedio mensual, para cada una de las estaciones; y, a partir de ello, se pudo verificar la estación con el menor número de quiebres, para ser elegida como estación base; luego de ello, se procedió a completar información, en las estaciones con data incompleta, mediante el método de **regresión normalizada**, logrando información para un periodo de treinta y cuatro (34) años (ver tablas 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48 y 49); cabe precisar, que este método permite rellenar series diarias, mensuales y anuales, solo que uno de los requisitos principales

para la aplicación de este método, es que se debe contar con un mínimo de dos estaciones base, para nuestro caso las estaciones de Chilete y San Pablo fueron las que presentaron el menor número de quiebres (dos quiebres cada una).

- Seguidamente, se realizó el análisis estadístico, considerando para cada estación secundaria, las dos estaciones base, donde pudimos efectuar el análisis de saltos, cabe precisar que se procederá con el análisis de tendencias, luego de haber desarrollado el análisis de saltos y verificando que la información se encuentre libre de saltos (ver tablas 50 - 58); además de la corrección de datos, si el caso lo amerita; obtendremos una nueva data; finalmente se resumió toda la información en un cuadro de precipitaciones promedios mensuales para cada estación, necesaria para la obtención de las precipitaciones promedios de la cuenca hidrográfica del río El Tingo, a partir de las curvas isoyetas, y luego para la inserción en el modelo propuesto por el hidrólogo Lutz Scholz.
- Antes de pasar al siguiente apartado, es menester indicar que, en la construcción de las líneas isoyetas, se consideró las precipitaciones de las nueve estaciones involucradas, además de que se tuvo que crear un archivo de **Excel CCV, delimitado por comas**, el mismo que fue cargado en el software ARC GIS, con fines de georreferenciación. Todo este procedimiento se hizo con la finalidad de obtener un plano de isoyetas, (ver anexos).

3.1.4. Cálculos para la aplicación del modelo de Lutz Scholz

El modelo estocástico determinístico Lutz Scholz, requiere de estimación de variables previas para su desarrollo, a partir de los cuales, se busca determinar los caudales medios mensuales de la cuenca en estudio.

Con la data completa, se llevará a cabo la estimación de tales variables, respetando el siguiente orden:

✓ Precipitación media mensual de la cuenca

Previo al cálculo de generación de caudales por el método de Lutz Scholz, se hizo el cálculo de la precipitación media mensual por el método de las curvas isoyetas, mediante la ecuación (39); usando los datos disponibles.

La obtención de los mapas con las curvas isoyetas se realizó con el software Arc Gis 10.8.

✓ **Coeficiente de escurrimiento (C)**

Para determinar el coeficiente de escurrimiento (C), primeramente debemos determinar la temperatura media anual, seguidamente reemplazamos la altitud media de la cuenca en la ecuación (69), luego se calcula el coeficiente de temperatura “L”, en la ecuación 70, una vez hallado el “L” más la precipitación total anual, procederemos con la determinación del déficit de escurrimiento “D”, en la ecuación (71); este último resultado se aplica en el método de L. Turc (ecuación 72), hallando el coeficiente de escurrimiento.

✓ **Precipitación efectiva**

Para el cálculo de la precipitación efectiva, se supone que los caudales promedios observados en la cuenca, pertenecen a un estado de equilibrio entre gasto y abastecimiento de la retención, por tanto, buscaremos sólo la fracción de la precipitación total, que da origen a la suma de componentes de flujo base y escurrimiento directa.

El registro de precipitación media mensual es afectado por el coeficiente de escurrimiento, según la ecuación (73); obteniéndose de esta forma, el registro de precipitación efectiva para los 11 periodos y para todos los meses (de enero a diciembre), de la cuenca en estudio. (Ver anexos)

✓ **Retención de la cuenca (R)**

La retención de la cuenca (R), se produce en reservas hídricas naturales, como los acuíferos, lagunas, pantanos y nevados. Esta se estimó utilizando los parámetros geomorfológicos (ver tabla N°10), los cuales se reemplazan en la ecuación (76).

La retención de la cuenca en estudio, se asemeja a una cuenca con agotamiento muy rápido, por lo cual utilizamos la ecuación (78).

Luego se halla el gasto de la retención “G” de la cuenca, que viene a ser el aporte a la escurrimiento directa, de las aguas subterráneas en los meses de estiaje. Su cálculo se realizó mediante la ecuación (86), (ver tabla 15).

Abastecimiento de la retención (A_i)

El abastecimiento de la retención durante la estación lluviosa, es uniforme para cuencas ubicadas en la misma región climática. De la tabla N° 09, descrita anteriormente, obtenemos los coeficientes de abastecimiento que corresponden a la región de Cajamarca. Recordemos que la lámina de agua (A_i), que entra en la reserva de la cuenca, se muestra en forma de déficit mensual de la precipitación efectiva (PE_i). Se calcula mediante la ecuación (87).

a. Generación de caudales

Los parámetros determinados en esta fase son:

Caudales mensuales para el año promedio

Estos caudales se estiman mediante el balance hídrico, según la ecuación (89).

Los caudales generados están en unidades de (mm/mes) tal como se muestran en los anexos, y para convertirlos a (m^3/s), se multiplica por el área de la cuenca, dividido entre el número de días del mes (28, 29, 30 o 31 días, 24h, 60 min y 60 seg.).

Caudales mensuales para un periodo extendido

En este apartado utilizamos un proceso Markoviano de primer orden, tomando como variable de impulso a la precipitación efectiva.

El protocolo establecido para la generación de caudales para un periodo extendido, se resume en las siguientes actividades:

- Ya generados los caudales para el año promedio, se calcula los parámetros de regresión lineal múltiple, mediante un cálculo de regresión con “ Q_t ” como valor dependiente y “ Q_{t-1} y PE_t ”, como valores independientes.
- Los caudales estimados (Q_t), el error (e) y los coeficientes estadísticos de la correlación múltiple; además, se generó números aleatorios, para luego calcular (Q_m), con unidades (mm/mes).
- Se calculó la precipitación efectiva a partir de la precipitación media, para los 34 años, agrupados en 11 periodos de 3 años.

- Se generó números aleatorios normalmente distribuidos, para un periodo igual a la precipitación efectiva, con distribución normal de media igual a “0” y desviación estándar igual a “1”.
- Se calculó los caudales generados para el periodo extendido, con la ayuda de la ecuación (89).

Caudales aforados por el método de flotadores

En nuestro trabajo de investigación, podemos afirmar que en muy pocas ocasiones se hizo uso de este método, es decir solo se acudió a esta metodología, los días con presencia de fuertes precipitaciones en la cuenca hidrográfica, donde se verificó, tirantes muy considerables, ocurridos regularmente durante los meses de diciembre, enero, febrero y marzo, de los años 2019 y 2020.

La secuencia del aforo se detalla a continuación:

✓ Primero

Se escogió el tramo recto y adecuado más próximo a la intersección de las quebradas, la dimensión del tramo fue de 6.00 metros entre las secciones: A (punto inicial) y B (punto final), sin alterar el flujo natural del agua.

✓ Segundo

Con la ayuda de cinco pelotas plásticas, se lanzó cinco veces como mínimo, a una distancia considerable aguas arriba del punto A, registrando el tiempo que tarda la pelota en atravesar dichas secciones referenciales. Cabe precisar que en dicho aforo se despreció la presencia de vientos.

✓ Tercero

Considerando que una crecida de aguas tarda de 20 a 25 horas, en ese periodo de tiempo, nuestro equipo técnico tuvo que recurrir hasta el punto emisor, para poder realizar las mediciones del área que mantuvo esa crecida, haciendo referencia de una estaca plantada en el nivel que alcanzó dicha crecida, se hizo mediciones para la determinación de las secciones ficticias, y se pudo determinar el caudal emitido; cabe precisar que, la sección transversal del río se asienta sobre roca firme, por lo que

dejamos de lado cualquier suposición, en cuanto a modificación se refiera, producto de la crecida de aguas.

b. Oferta hídrica de la cuenca

Los caudales medios mensuales generados por el modelo determinístico estocástico de Lutz Scholz, se ajustaron a una distribución normal, utilizando la prueba estadística de Smirnov – Kolmogorov; ésta prueba, ha permitido tomar las decisiones totalmente criteriosas para aceptar o rechazar tal función.

3.1.5. Equipos y materiales

a. Equipos

- GPS.
- Cámara fotográfica CANON.
- Cronómetro.
- Laptop Hp core i5.
- Impresora multifuncional CANON G3110.
- Celular Galaxy A21s50D8.

b. Materiales

- Software: Civil 3D, Arc Gis 10.8, Microsoft Office 2013, Google Earth Pro, Civil 3D.
- Información meteorológica.
- Libros, papel bond A4 de 80 gr, libreta de campo, lapicero y wincha.
- Modelos digitales, fotografías satelitales, cartas geográficas y videos You Tube.

CAPITULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 RESULTADOS

4.1.1. Análisis Cartográfico De La Cuenca

a. Parámetros geomorfológicos de la cuenca hidrográfica del rio El Tingo

Los parámetros que se muestran en la tabla 12, han sido obtenidos del Software Arc gis 10.8; aunque algunos de ellos fueron calculados manualmente.

Tabla 12. Parámetros geomorfológicos de la cuenca del rio El Tingo.

PARÁMETROS FÍSICOS			
DESCRIPCIÓN	VALOR NUMÉRICO/DESCRIPTIVO	UNIDAD DE MEDIDA	OBSERVACIÓN
Área (A)	21.6369	Km ²	Sería una microcuenca
Perímetro de la cuenca (P)	21.2443	Km	Litología y edad
Longitud de la cuenca (L)	8.4643	Km	Determinado para fines de Comportamiento hidrológico
Ancho de la cuenca (B)	2.5242	Km	Alargada
Orientación	47° 28' 55.59"	SGS	NORESTE
PARÁMETROS DE FORMA			
DESCRIPCIÓN	VALOR NUMÉRICO/DESCRIPTIVO	UNIDAD DE MEDIDA	OBSERVACIÓN
Factor de forma de Horton (Kf)	0.2982	Adimensional	Crecidas lentas y sostenidas, ya que no supera la unidad
Coefficiente de compacidad (Kc)	1.2965	Adimensional	Ov. Redonda a Ov. oblonga
Razón de elongación (Re)	0.6162	Adimensional	Forma alargada
Índice de alargamiento (Ia)	3.3532	Adimensional	Poco alargada
Índice asimétrico (Ias)	1.6121	Adimensional	Recargado a una de las vertientes
PARÁMETROS DE RELIEVE			
DESCRIPCIÓN	VALOR NUMÉRICO/DESCRIPTIVO	UNIDAD DE MEDIDA	OBSERVACIÓN
Cota más baja de la cuenca	2651.12	m.s.n.m	Punto emisor
Cota más alta de la cuenca	3552.32	m.s.n.m	Divortio Acua.
Altitud media de la cuenca (H)	2954.26	m.s.n.m	Promedio pond.
Altitud más frecuente (Hfr)	2757.14 - 2810.16	m.s.n.m	Áreas parciales
Pendiente media de la cuenca (Sm)	33.64	%	C. Alvord (muy fuertemente accidentado)

Tabla 13. Parámetros relacionados a la red de drenaje de la cuenca hidrográfica del río El Tingo.

CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA DE DRENAJE			
PÁRAMETRO	VALOR NUMÉRICO/DESCRIPTIVO	UNIDAD DE MEDIDA	OBSERVACIÓN
Orden de los cauces	3	Adimensional	Ver plano corresp.
Longitud del cauce principal (Lcp)	8.0989	Km	Cauce principal natural
Longitud de máximo recorrido (Lmr)	8.4643	Km	Incluye tramo fict.
Densidad de drenaje (Dd)	1.2920	Km/Km2	Drenaje pobre
Coefficiente de tonrencialidad (Ct)	0.6552	Adimensional	Poco delicado
Coefficiente de masividad (Cm)	138.27	(m.s.n.m)/Km2	Relativamente plana
Coefficiente orográfico (Co)	40.85%	Adimensional	Potencial de erosión hídrica muy alta
Relación de bifurcación o confluencia (Rb)	2.33	1°/2°	Ramificación poco constante o cuenca no bien organizada
	1.20	2°/3°	
	1.77	Adimensional	Torrencialidad baja
Relación de longitudes (Rl)	0.49	3°/2°	Energía concentrada bruscamente
	0.96	2°/1°	
	0.73	Adimensional	Concentración de energía en eventos de grandes avenidas
Pendiente del cauce principal (S)	5.84	%	Pendiente mucho menor que la pendiente de la cuenca - moderada
Sinuosidad del cauce	1.64	Adimensional	Canal regular (llanura aluvial amplitud con importante amplitud)
Frecuencia de ríos (Fr)	1.22	Río/Km2	Cercano a un canal fluvial por 2 km2
Rectángulo equivalente	7.93	Km	a (lado mayor)
	2.70	Km	b (lado menor)
TIEMPO DE CONCENTRACIÓN (EQUILIBRIO O DE VIAJE)			
PÁRAMETRO	VALOR NUMÉRICO/DESCRIPTIVO	UNIDAD DE MEDIDA	OBSERVACIÓN
Método de california (Tc)	0.7736	Horas	Cuenca pequeña

b. Parámetros de relieve de la cuenca hidrográfica del río El Tingo

En este apartado especificaremos el haber determinado un parámetro de relieve, denominado altitud más frecuente (H_{fr}), de la cuenca hidrográfica del río El Tingo.

Nuestro trabajo consistió en determinar la curva hipsométrica y el polígono de frecuencia de altitudes, que se muestra a continuación.

Tabla 14. Áreas parciales, acumuladas y frecuencia acumulada utilizada para graficar la curva hipsométrica.

N°	COTA (m.s.n.m.)			ÁREA (m2)	ÁREA (km2)		
	C.MÍN	C.MÁX	PROM.		ARC GIS	INTERV.	ACUMULADO
1	2651.12	2704.13	2677.63	1171192.1073	1.1712	21.3659	100.00%
2	2704.13	2757.14	2730.64	2614759.4300	2.6148	20.1947	94.52%
3	2757.14	2810.16	2783.65	2911362.8185	2.9114	17.5800	82.28%
4	2810.16	2863.17	2836.66	2011700.1611	2.0117	14.6686	68.65%
5	2863.17	2916.18	2889.67	2115644.8829	2.1156	12.6569	59.24%
6	2916.18	2969.19	2942.68	2201140.9070	2.2011	10.5413	49.34%
7	2969.19	3022.20	2995.70	1197080.0893	1.1971	8.3401	39.03%
8	3022.20	3075.21	3048.71	1372059.3179	1.3721	7.1431	33.43%
9	3075.21	3128.23	3101.72	1308117.9521	1.3081	5.7710	27.01%
10	3128.23	3181.24	3154.73	1176421.1120	1.1764	4.4629	20.89%
11	3181.24	3234.25	3207.74	995375.9767	0.9954	3.2865	15.38%
12	3234.25	3287.26	3260.76	539921.6836	0.5399	2.2911	10.72%
13	3287.26	3340.27	3313.77	431388.4623	0.4314	1.7512	8.20%
14	3340.27	3393.28	3366.78	392235.5368	0.3922	1.3198	6.18%
15	3393.28	3446.30	3419.79	471250.9351	0.4713	0.9275	4.34%
16	3446.30	3499.31	3472.80	353861.6672	0.3539	0.4563	2.14%
17	3499.31	3552.32	3525.81	102420.1979	0.1024	0.1024	0.48%
TOTAL				21365933.24	21.3659		

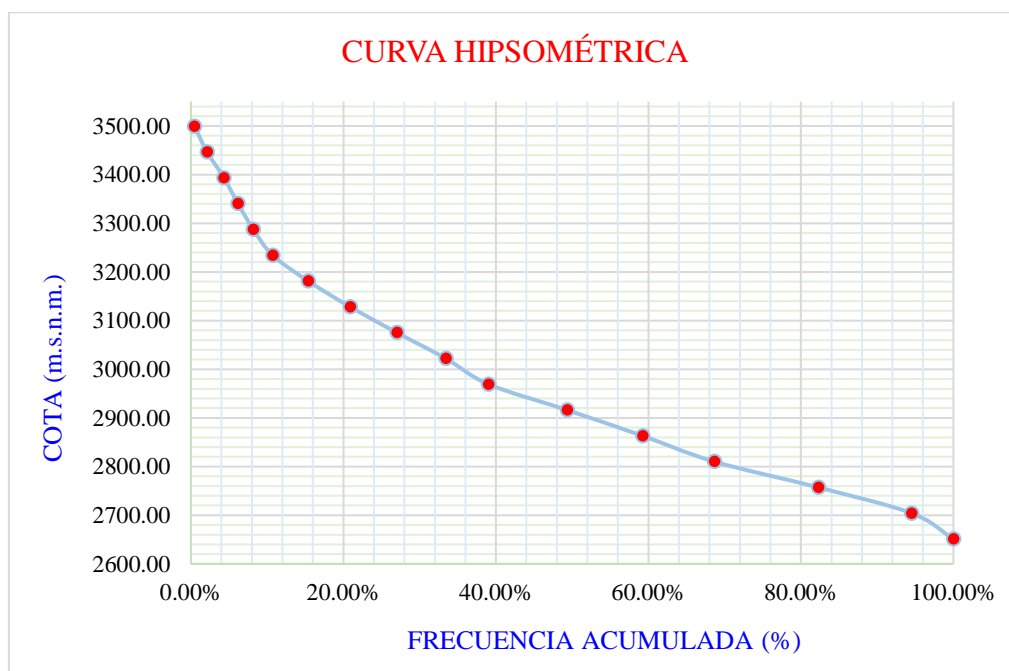


Figura 23. Curva hipsométrica de la cuenca hidrográfica del río El Tingo.

Tabla 15. Frecuencia absoluta y cotas promedio, que permiten graficar el polígono de frecuencia de altitudes.

Ai	F. ABSOL.	C. PROM.	Ai*Hi
1.1712	5.48%	2677.63	3136.01
2.6148	12.24%	2730.64	7139.96
2.9114	13.63%	2783.65	8104.21
2.0117	9.42%	2836.66	5706.51
2.1156	9.90%	2889.67	6113.52
2.2011	10.30%	2942.68	6477.26
1.1971	5.60%	2995.70	3586.09
1.3721	6.42%	3048.71	4183.01
1.3081	6.12%	3101.72	4057.42
1.1764	5.51%	3154.73	3711.29
0.9954	4.66%	3207.74	3192.91
0.5399	2.53%	3260.76	1760.55
0.4314	2.02%	3313.77	1429.52
0.3922	1.84%	3366.78	1320.57
0.4713	2.21%	3419.79	1611.58
0.3539	1.66%	3472.80	1228.89
0.1024	0.48%	3525.81	361.11
21.3659		TOTAL	63120.43

Altitud media:	2954.26	m.s.n.m.
----------------	----------------	-----------------

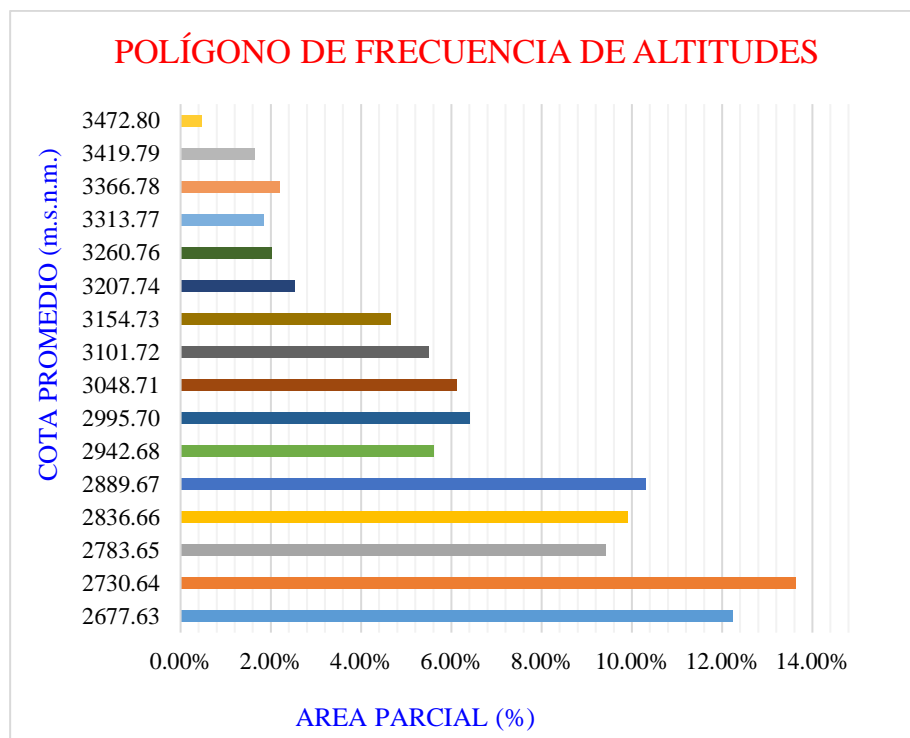


Figura 24. Cuenca hidrográfica del río El Tingo.

4.1.2. Tratamiento de datos

a. Diagrama visual gráfico de las estaciones involucradas.

Considerando el procedimiento descrito por Máximo Villón, graficaremos las nueve (9) estaciones consultadas, como parte del análisis de consistencia, a fin de identificar lo confiabilidad de la misma, elegidas por tener información casi completa.

Estación meteorológica Granja Porcón

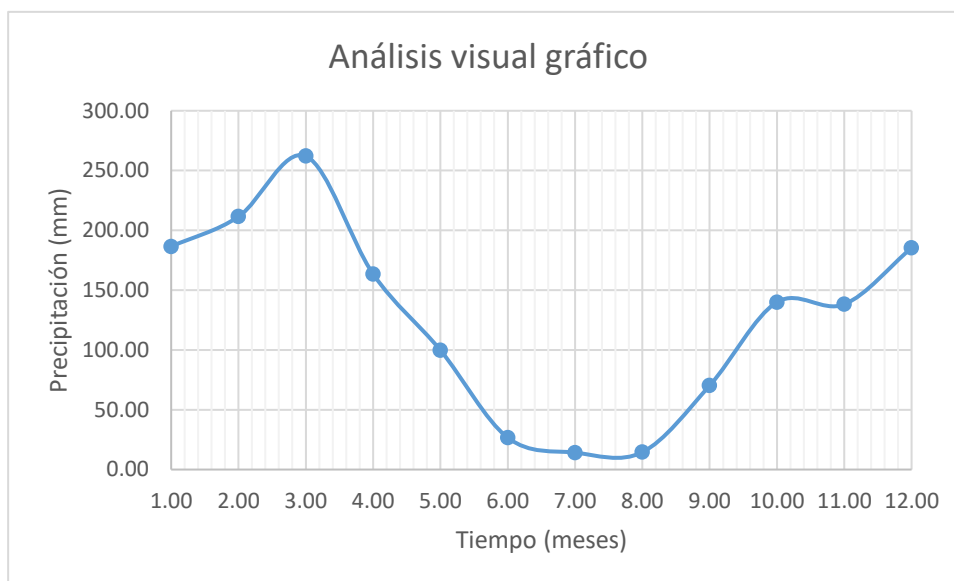


Figura 25. Serie histórica de precipitaciones promedios mensuales.

Estación meteorológica Contumazá

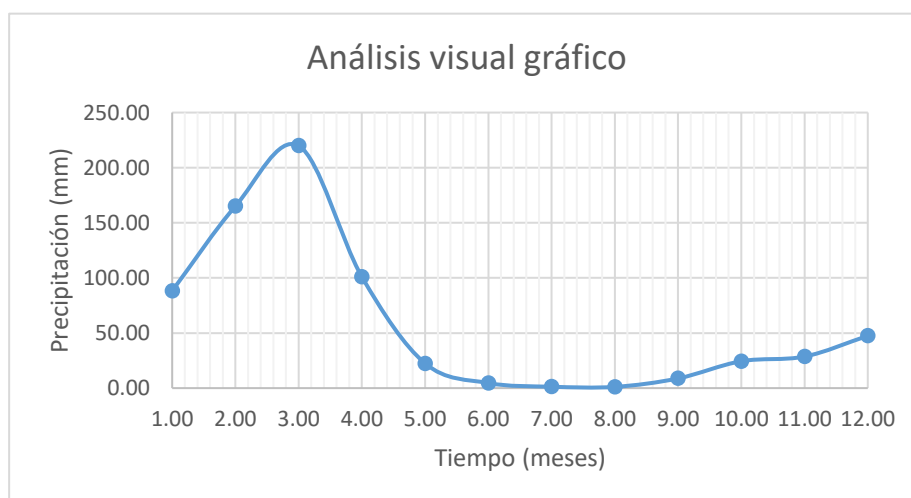


Figura 26. Serie histórica de precipitaciones promedios mensuales.

Estación meteorológica Lives

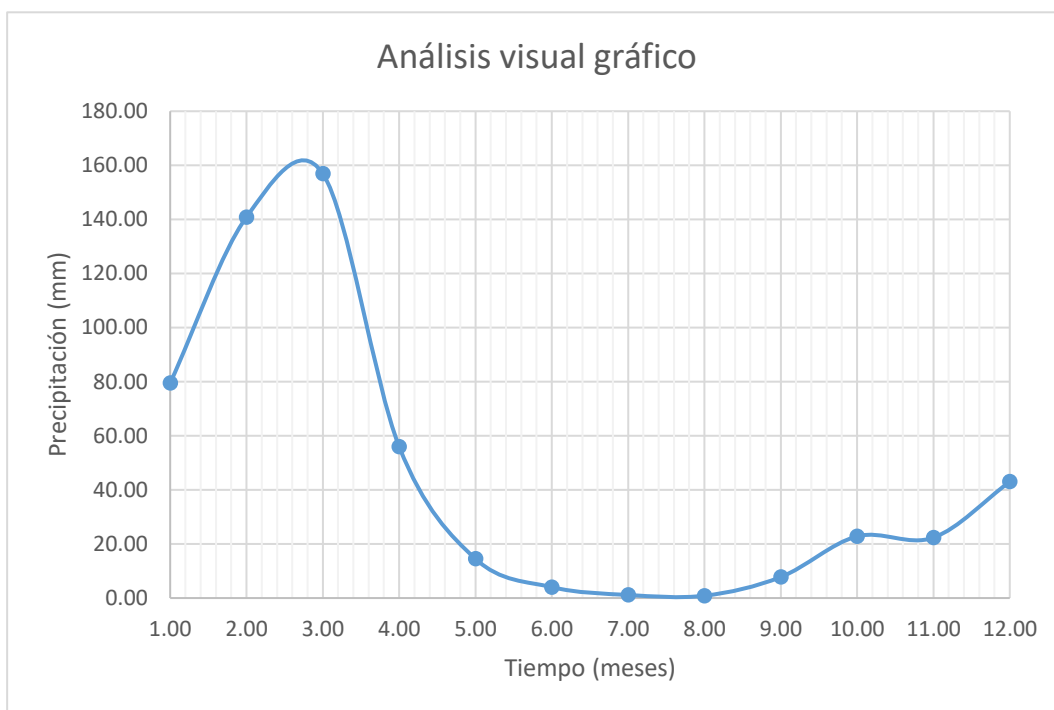


Figura 27. Serie histórica de precipitaciones promedios mensuales.

Estación meteorológica Chilete

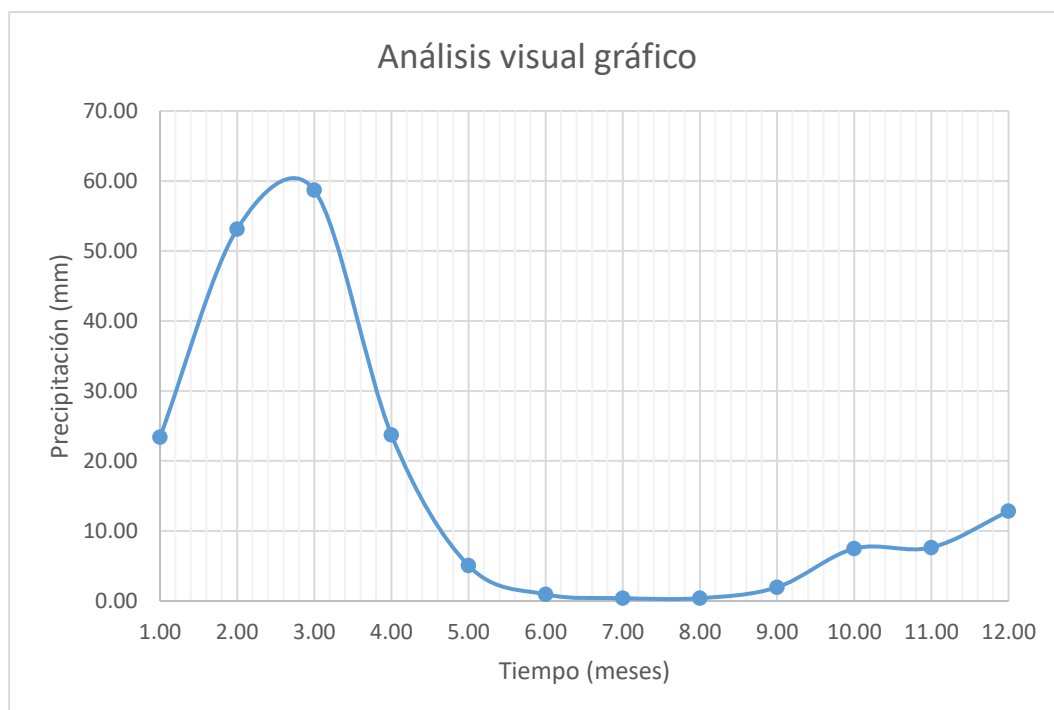


Figura 28. Serie histórica de precipitaciones promedios mensuales.

Estación meteorológica LLapa

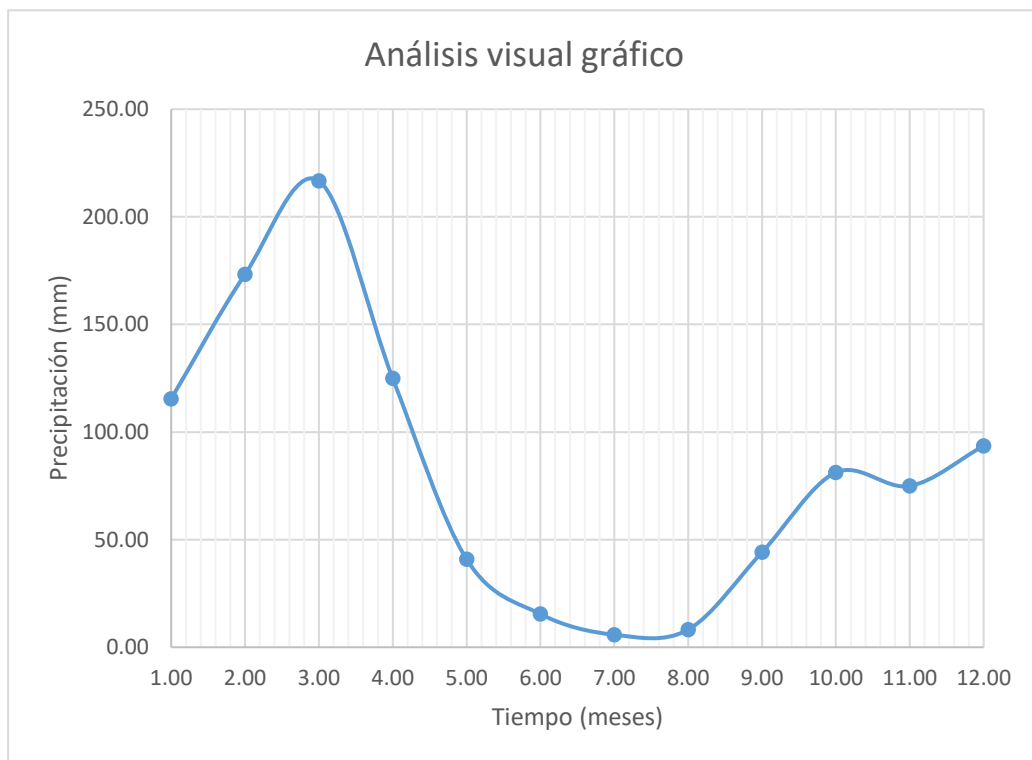


Figura 29. Serie histórica de precipitaciones promedios mensuales.

Estación meteorológica San Pablo

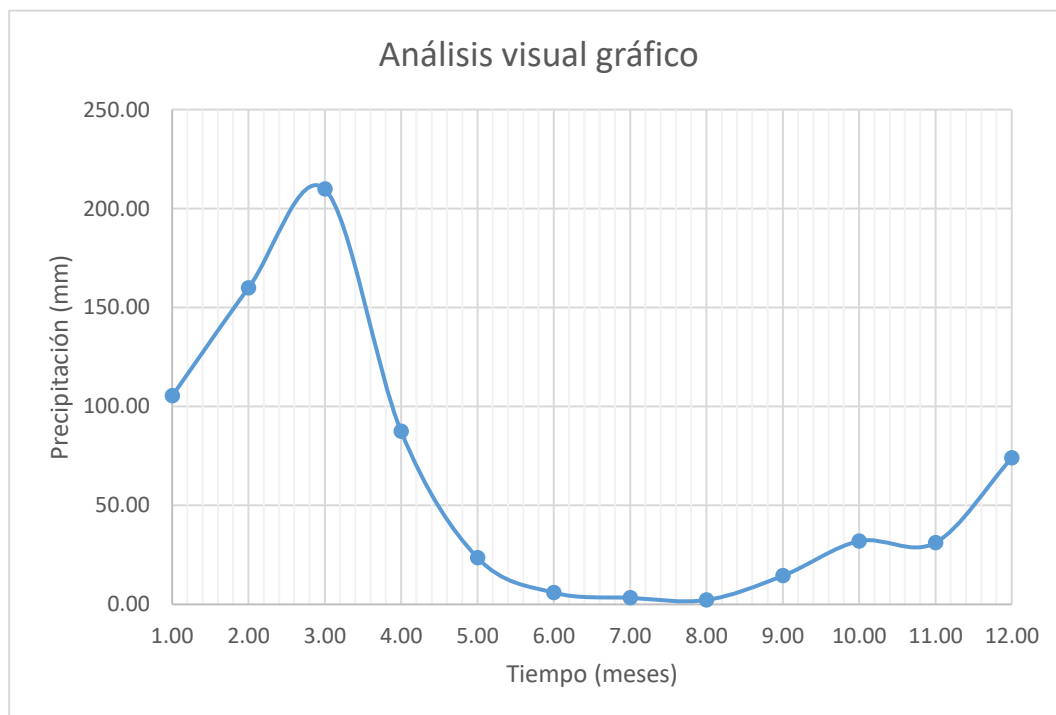


Figura 30. Serie histórica de precipitaciones promedios mensuales.

Estación meteorológica Magdalena

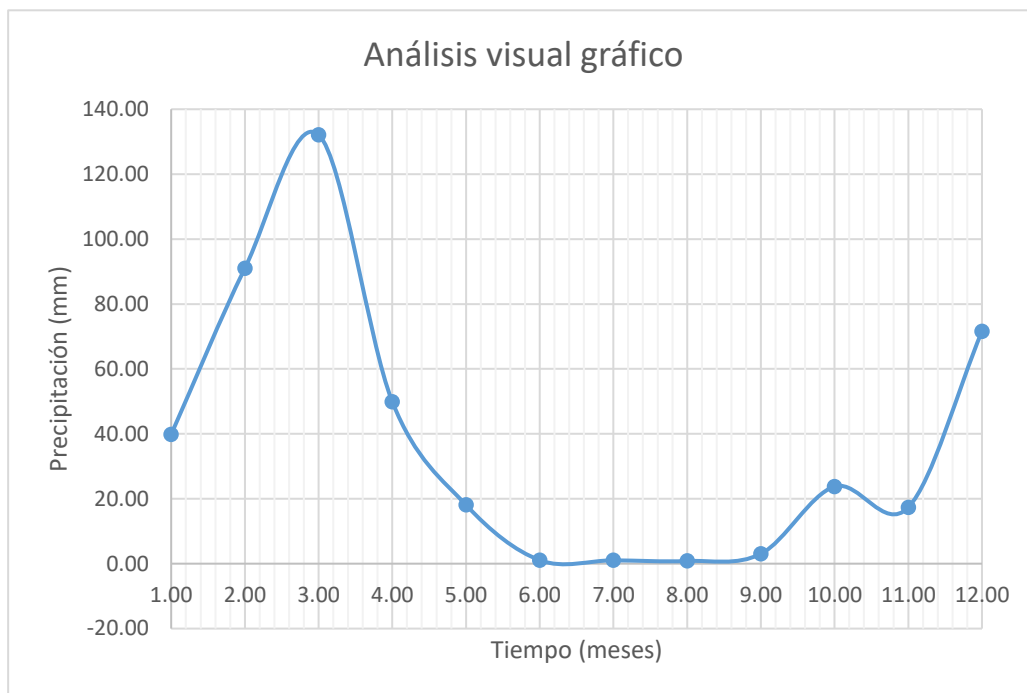


Figura 3327. Serie histórica de precipitaciones promedios mensuales.

Estación meteorológica Hacienda LLaGadén – Magdalena.

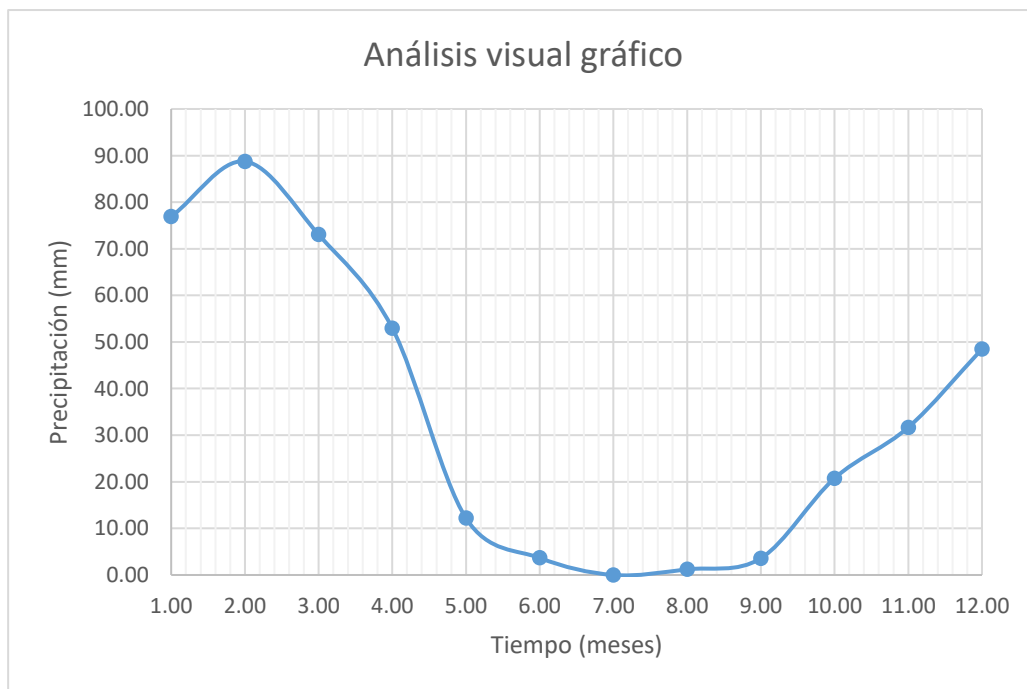


Figura 3428. Serie histórica de precipitaciones promedios mensuales.

Estación meteorológica Weberbauer

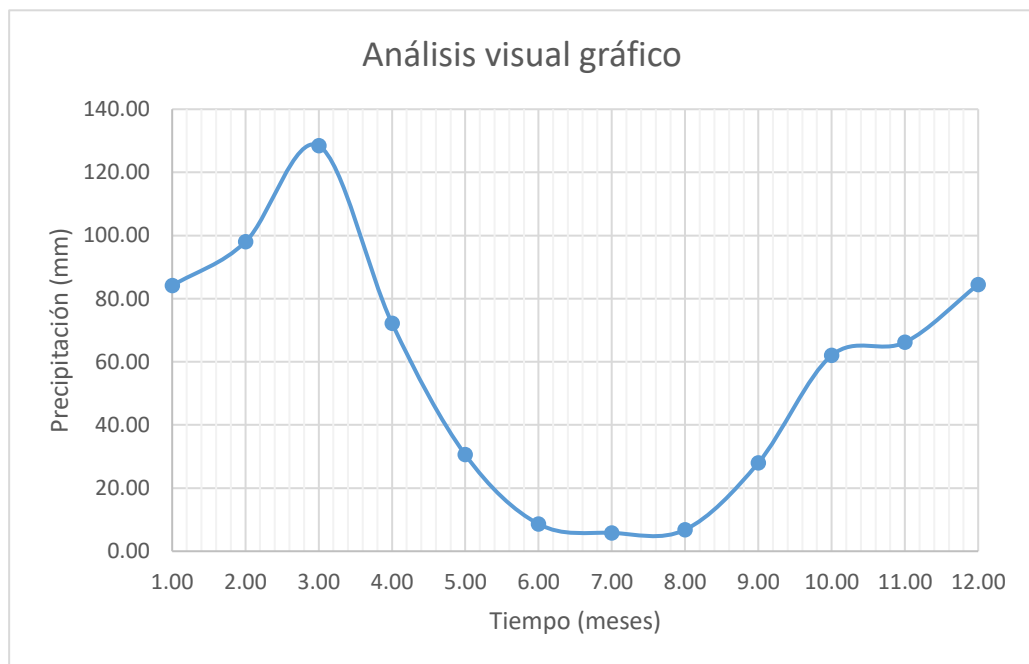


Figura 3529. Serie histórica de precipitaciones promedios mensuales.

b. Análisis doble masa de las estaciones meteorológicas.

Mediante este análisis, determinaremos las estaciones base o principales, en función al número de quiebres, tal como hemos referido en el marco teórico, (ver anexos).

Luego de haber realizado el análisis doble masa de todas las estaciones, observando al gráfico concluimos lo siguiente:

- ✓ *Granja Porcón = 5 quiebres.*
- ✓ *Contumazá = 2 quiebres.*
- ✓ *Lives = 6 quiebres.*
- ✓ *Chilite = 2 quiebres.*
- ✓ *Llapa = 4 quiebres.*
- ✓ *San Pablo = 5 quiebres.*
- ✓ *Magdalena = 7 quiebres.*
- ✓ *Hacienda Llagadén – Magdalena = 8 quiebres.*
- ✓ *Weberbauer = 2 quiebres.*

En función a los resultados obtenidos, elegimos a las estaciones que tiene el menor número de quiebres, siendo para nuestro caso tres de ellas: la estación de Contumazá,

Chilete y Weberbauer, y en base a ello realizaremos el análisis de consistencia de las estaciones secundarias.

Selección de la estación base.

Para analizar la homogeneidad y consistencia, es necesario esta evaluación, ya que, haciendo referencia a lo escrito por VILLON, M. (2016); donde una vez revisados los gráficos de análisis doble masa de todas las estaciones, se puede evidenciar que las estaciones de Chilete, Weberbauer y Contumazá, presentan solo dos quiebres bien definidos. Cabe precisar que, como punto de partida de esta evaluación, todas las estaciones, fueron completadas con el dato promedio mensual (no hubo alteración en el promedio); también se cumple con el requisito recomendado para la utilización del método de regresión normalizada, que requiere de dos estaciones base como mínimo

4.1.3. Completación de datos faltantes

La completación de datos en nuestro trabajo, lo realizaremos con el método de la regresión normalizada, estos se presentan en las tablas (40 - 48); Pero antes de ello, vamos a completar la información faltante en las estaciones base, reemplazando valores promedios mensuales de las mismas, puesto que no provocaría ninguna alteración numérica o estadística. Es importante recordar que, para aplicar el método de la regresión normalizada, es requisito indispensable que la *media anual de las precipitaciones de las estaciones por completar*, superen en un 10%, para considerar a este método como el más adecuado y pertinente; ahora, como podemos ver en la tabla (25), si se cumple con tal condición, por lo que, el método de regresión normalizada, es viable, además, se cumple con el requerimiento de contar con dos estaciones base, estaciones índice o estaciones patrón como mínimo.

Finalmente, y antes de aplicar el método de LUTZ SCHOLZ, procederemos con el análisis de consistencia de las estaciones secundarias, con respecto a la estación base, a fin de obtener una data confiable, homogénea y consistente, lista para servir de recurso de ingreso en el desarrollo del modelo de LUTZ SCHOLZ.

Determinación del número de periodos.

Como ya contamos con la estación base, lo que prosigue es graficar la estación base (eje X) vs la estación en estudio (eje Y).

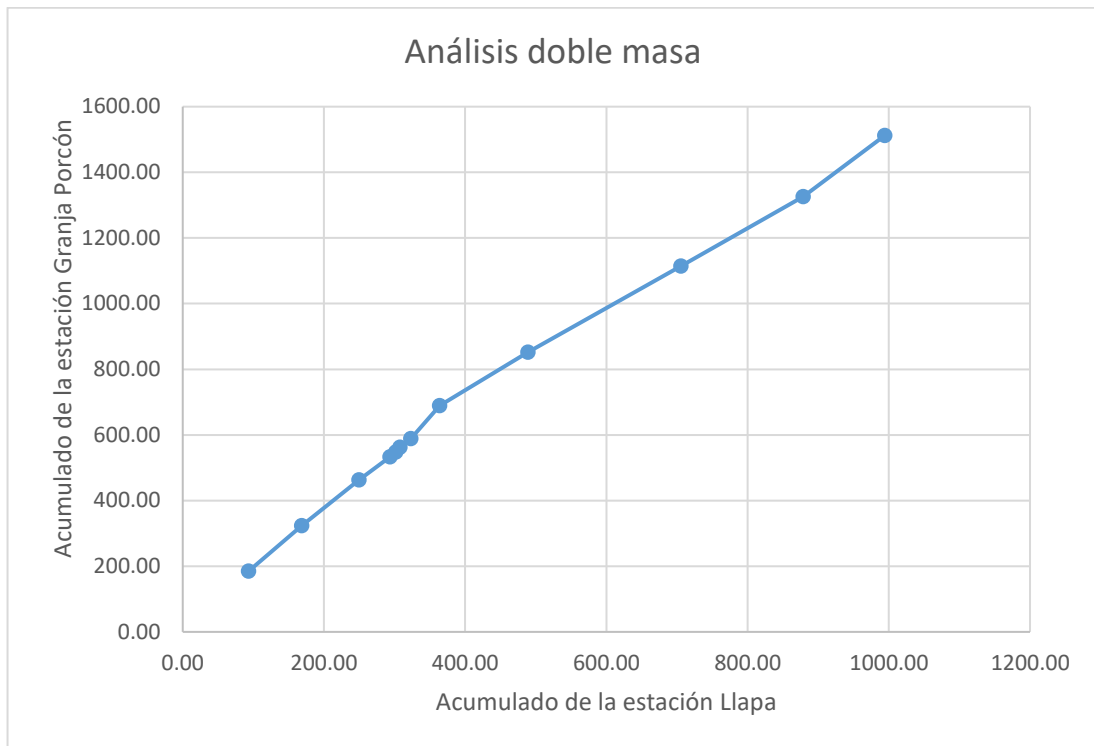


Figura 3430. Análisis doble masa, para obtener los periodos de estudio.

Observación: El gráfico correspondiente *al análisis doble masa, para determinar los periodos de estudio*, nos muestra la presencia de tres quiebres bien definidos, por lo que podríamos decir que las causas provienen de fenómenos naturales; aunque no está demás recalcar que también se puede tratar de errores sistemáticos.

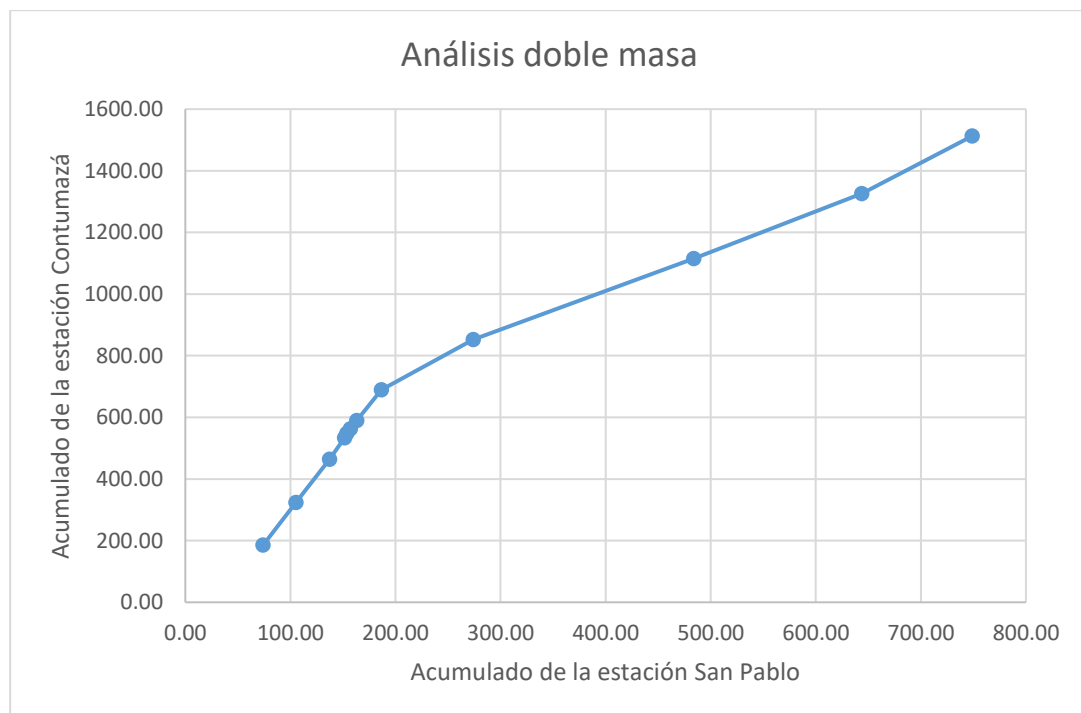


Figura 3431. Análisis doble masa, para obtener los periodos de estudio.

Es para este último caso (errores sistemáticos), donde determinaremos el rango de periodos que en su totalidad estos son: n_1 , n_2 y n_3 ; los mismos que deben estudiarse con el análisis estadístico. Todo este proceso es repetitivo, para cada una de las estaciones en estudio. Seguidamente, como parte del protocolo de tratamiento de información hidrológicas, procederemos a determinar el análisis estadístico, para cada una de las estaciones secundarias con respecto a cada una de las estaciones base.

c. Análisis estadístico

Análisis de saltos

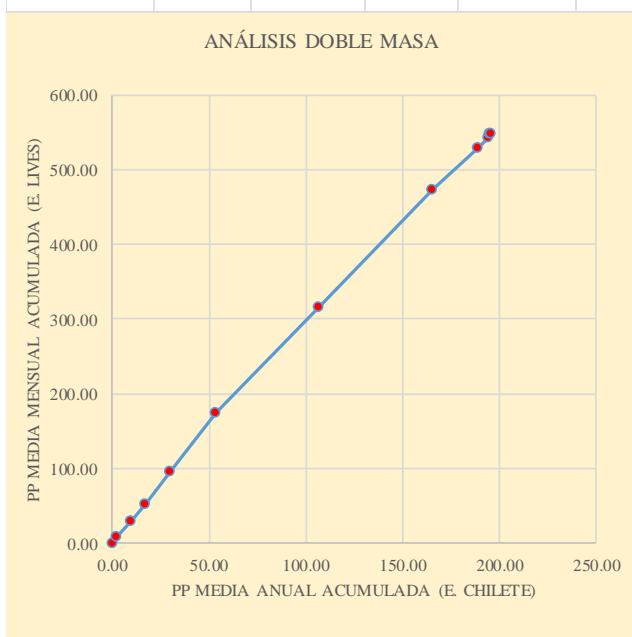
- Consistencia de la media

En este espacio, calculamos la media, la desviación estándar y las varianzas para las submuestras según las fórmulas correspondientes, luego de ello procederemos, primeramente con evaluar la consistencia de la media, es decir con determinar el t_c , el cual se calcula mediante su respectiva fórmula matemática y luego por tabla, determinaremos el t_t , en la tabla que mostramos a continuación, detallamos cada uno de los procedimientos que nos llevan a corregir o no nuestra información hidrológica de la cuenca con datos completados, respecto de la cuenca base.

Finalmente procederemos con evaluar la consistencia de la varianza, para ello, evaluaremos cuál de las varianzas es mayor, además de determinar los grados de libertad, valores que serán utilizados para entrar en la tabla F, cabe recordar que se debe determinar el F_c y el F_t .

Tabla 16. Análisis estadístico.

AÑO HIDROLÓGICO CONSIDERADO	CHILETE (E. BASE)		LIVES (EN ESTUDIO)		Análisis de saltos y tendencias con respecto a la estación base correspondiente			
	PP MEDIA MENSUAL (mm)	PP MEDIA MENSUAL ACUMULADA (amm)	PP MEDIA MENSUAL (mm)	PP MEDIA MENSUAL ACUMULADA (mm)				
AGOSTO	0.40	0.40	0.86	0.86	Parámetros estadísticos	Periodo mensual 1	Enero - Mayo	
SEPTIEMBRE	1.96	2.37	7.88	8.74		Periodo mensual 2	Junio - Diciembre	
OCTUBRE	7.50	9.86	22.25	30.99		Tamaño	n1	6
NOVIEMBRE	7.64	17.50	22.10	53.09			n2	6
DICIEMBRE	12.82	30.32	42.98	96.07			n	12
ENERO	23.40	53.73	79.82	175.89		Media	X1	29.31
FEBRERO	53.12	106.85	139.80	315.69			X2	62.21
MARZO	58.69	165.54	157.66	473.35		Desviación estándar	S1	28.67
ABRIL	23.74	189.28	55.98	529.33			S2	70.06
MAYO	5.06	194.34	14.75	544.07		Varianza	Var1	821.77
JUNIO	0.95	195.29	3.98	548.05			Var2	4908.96
JULIO	0.41	195.69	1.12	549.17		Consistencia de la media	Grados de libertad	GDL
					Desv. Estand. ponderada		Sp	53.53
					Desv. diferencia promedios		Sd	30.91
					"T" calculado		Tc	1.065
					"T" Tabulado (tabla)		Tt	2.2281
					Criterio de decisión: Como $T_c < T_t$:		No salto	
					Consistencia de la varianza	Var1 > Var2	SI/NO	NO
						Si resulta ser No: Entonces intercambiamos la posición del numerador y denominador.		
						G.L. Numerador	G.L.N.	5
						G.L. Denominador	G.L.D.	5
						"F" Calculado	Fc	5.9736
						"F" Tabulado	Ft	5.050
					Criterio de decisión: como: ($F_c < F_t$):	Tiene salto		
					Observación final: Como podemos apreciar, existe salto, por lo que estadísticamente afirmamos que necesitamos corregir el dato promedio mensual de las muestras n1 y n2 de la estación de Lives .			



Haciendo un paréntesis, es necesario calcular el sd , y adicionalmente a ellos el sp , puesto que será de utilidad en la ecuación para el cálculo de tc .

A continuación, realizamos el cálculo del t tabular t_t :

El valor t_t , se obtiene de la tabla T de STUDENT de la tabla (tabla 45), con una probabilidad al 95%, o con un nivel de significación del 5%, es decir con $\alpha/2 = 0.025$ y con grados de libertad de $34 - 4$.

De la tabla se obtiene un valor de $t_t = 2.0322$.

Evaluando tendremos: $t_c < t_t$, por lo tanto, la información contiene medias estadísticamente iguales, lo que significa que no se debe realizar ningún tipo de corrección.

Conclusión: como hemos podido determinar por medio de la consistencia de la media que no se necesita de ningún proceso de corrección. Por ende, ya no es necesario avanzar con otras acciones tales como la consistencia de la desviación estándar; por lo tanto, aceptamos sin ninguna duda que la información registrada en la estación de Contumazá es confiable; con ello confirmamos que contamos con dos estaciones base, que cuentan con información confiable, para iniciar con el proceso de completación de datos faltantes en las otras siete estaciones meteorológicas, y ello lo veremos a continuación.

4.1.4. Modelos Determinísticos Parciales

a. Precipitación media mensual de la cuenca hidrográfica del río El tingo.

En este apartado, calculamos las precipitaciones medias mensuales, de las nueve estaciones meteorológicas, las cuales ya han sido completadas de manera preliminar mediante el método de regresión normalizada. Seguidamente, determinamos las curvas isoyetas con el software Arc Gis, (ver anexo correspondiente al mes de marzo); cabe precisar que consideramos al mes de marzo como el mayor registro histórico posible. Los cálculos y la tabla correspondiente a la precipitación media mensual de la cuenca en estudio, lo mostramos en los apartados posteriores al cálculo del coeficiente de escorrentía.

b. Coeficiente de escorrentía.

Este coeficiente se determinó con la fórmula de TURC, Incluyendo otras ecuaciones tal como se muestra a continuación, además de considerar el rango de 0.15 – 0.45.

$$T = 197 - 23.1 * \ln(H) \quad (103)$$

Primeramente, determinamos el Valor de la temperatura media anual (T).

H =	2954.26
T =	12.40782

A continuación, calculamos el coeficiente de temperatura (L), mediante la siguiente ecuación, recuerde que H viene a ser la altitud media de la cuenca y T, la temperatura media de la cuenca:

$$L = 300 + 25 * T + 0.05 * T^3 \quad (104)$$

T =	12.41
L =	705.70716

Ahora, presentamos el siguiente cuadro, en el cual mostramos las precipitaciones medias mensuales, además del procedimiento realizado para su cálculo, por isoyetas y áreas parciales generadas por estas curvas. Y como parte del procedimiento, también calcularemos el déficit de escurrimiento.

Tabla 17. Determinación de las precipitaciones medias totales mensuales, cuenca hidrográfica del río El Tingo.

ÁREA TOTAL:			21.6262	km2							
AREA PARCIAL	ENERO	AREA PARCIAL	FEBRERO	AREA PARCIAL	MARZO	AREA PARCIAL	ABRIL	AREA PARCIAL	MAYO	AREA PARCIAL	JUNIO
12.692806	123.0175	6.1989	154.9702	2.78766	191.040451	0.8219031	84.25162	3.40253	31.12446	2.7002737	7.725814
8.933394	155.1205	15.4273	199.1853	17.42793	252.058975	13.427243	116.8057	13.703971	47.34834	12.715249	12.51274
				1.41061	313.077499	7.3770535	149.3598	4.5196987	63.57221	6.2106769	17.29967
PP (mm)	136.279		186.512		248.17362		126.673		48.1864		13.29
RANGO PRECIPITACIONES	ENERO		FEBRERO		MARZO		ABRIL		MAYO		JUNIO
	106.966		132.8626		160.531189		67.97456		23.01252		5.332351
	139.069		177.0777		221.549713		100.5287		39.2364		10.11928
	171.172		221.2929		282.568237		133.0828		55.46028		14.9062
					343.586762		165.6369		71.68415		19.69313
AREA PARCIAL	JULIO	AREA PARCIAL	AGOSTO	AREA PARCIAL	SEPTIEMBRE	AREA PARCIAL	OCTUBRE	AREA PARCIAL	NOVIEMBRE	AREA PARCIAL	DICIEMBRE
7.50352534	4.3538306	5.8908756	4.31207	0.775591	18.9544666	0.8825932	117.2121	1.8552813	42.21677	8.1996713	86.89962
11.9227798	6.7795012	11.917238	7.059171	12.19981	32.2175894	11.00044	91.88386	13.154822	66.44225	11.800504	119.2896
2.19989487	9.2051718	3.8180867	9.806273	8.3042721	45.4807122	8.0284325	66.55565	6.6160964	90.66773	1.6260248	151.6797
				0.3465273	58.7438349	1.7147348	41.22744				
PP (mm)	6.18463		6.79587		39.050963		78.215		71.7753		109.44
RANGO PRECIPITACIONES	JULIO		AGOSTO		SEPTIEMBRE		OCTUBRE		NOVIEMBRE		DICIEMBRE
	3.1409953		2.938519		12.3229052		28.56334		30.10403		70.70461
	5.5666659		5.685621		25.5860280		53.89155		54.32951		103.0946
	7.9923365		8.432722		38.8491508		79.21976		78.55499		135.4846
	10.418007		11.17982		52.1122735		104.548		102.7805		167.8747
				65.3753963		129.8762					

Por lo tanto, el cuadro resumen será:

Tabla 18. Precipitación media total mensual, sobre la cuenca del río El tingo.

ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	TOTAL
136.28	186.512	248.173	126.673	48.186	13.290	6.1846	6.7959	39.051	78.21	71.78	109.44	1070.58

$$D = \frac{P}{(0.9 + (\frac{P}{L})^2)^{0.5}} \quad (105)$$

Luego el valor de “D”, será:

$$D = 598.3$$

Luego calculamos el valor de “C”, obteniendo como resultado:

$$C = \frac{P - D}{P}$$

$$C = 0.441$$

En resumen:

Tabla 19. Cuadro resumen, de los valores calculados, en el proceso de determinar el coeficiente de escurrimiento de la cuenca El Tingo.

Altitud media de la cuenca	H	2954.26
Temperatura media anual (°C)	T	12.40782
Coeficiente de temperatura	L	705.70716
Déficit de escurrimiento	D	598.3
Coeficiente de escurrimiento	C	0.441

c. Precipitación efectiva

El término precipitación efectiva se refiere a tomar la fracción de la precipitación total que se infiltra en el suelo, sin llegar a perderse por escorrentía o por filtración profunda. El valor de la precipitación efectiva, se obtiene al multiplicar el coeficiente de escorrentía, con los datos de la precipitación media total mensual.

Tabla 19 - B.- Precipitación media efectiva de la cuenca del río El tingo.

ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	TOTAL
60.113	82.2706	109.47	55.8758	21.255	5.86214	2.7281	2.9977	17.225	34.5	31.66	48.276	472.235

El coeficiente de escurrimiento medio anual es: $C = \frac{472.24}{1070.58} = 0.4411$

En nuestro trabajo consideramos el periodo de estiaje de mayo a setiembre, considerado a nuestro criterio.

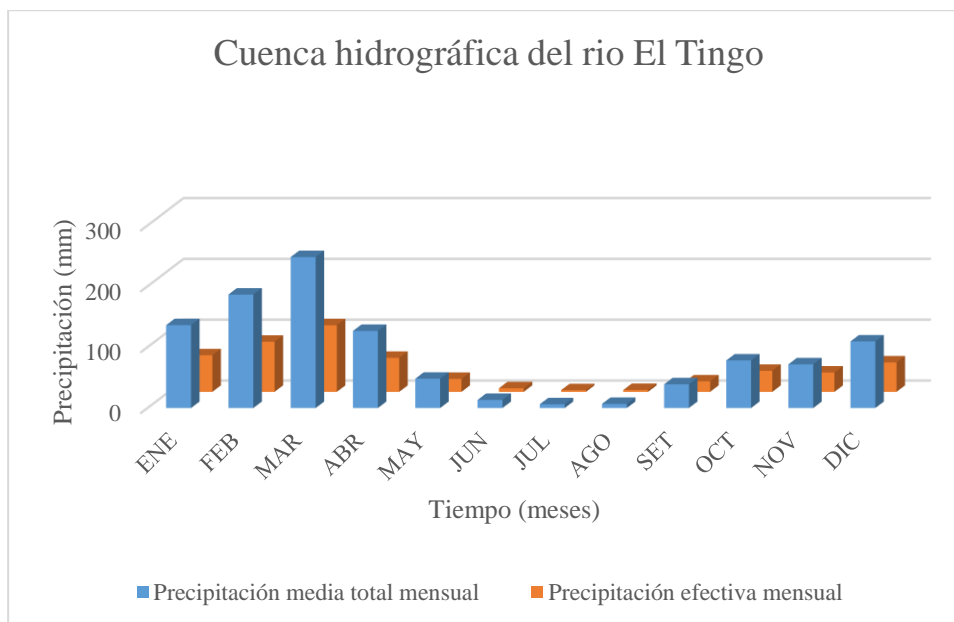


Figura 32. Precipitaciones medias y efectivas mensuales de la cuenca hidrográfica del río El Tingo.

d. Retención de la cuenca del río El Tingo (R)

Del cuadro adjunto, realizaremos el cálculo de R.

Tabla 20. Parámetros para calcular la retención - cuenca El Tingo.

Parámetro	Símbolo	Valor	Unidad
Coefficiente (geología = promed)	Ca	15 - 30	%
Área de la cuenca	A	21.63	km ²
Almacenamiento de acuíferos	LA	305.00	mm/año
Pendiente del cauce principal	I	0.06	m/m
Área de las lagunas	AL	0.00	km ²
Almacenamiento de lag. y pant.	LL	500.00	mm/año
Área de nevados	AN	0.00	km ²
Almacenamiento de nevados	LN	500.00	mm/año

$$LA = -750(0.06) + 350 = 305 \text{ mm/año}$$

$$R = \frac{(0.225) * (21.63) * (305.00)}{21.63}$$

$$R = 68.625 \text{ mm/año}$$

Con el valor calculado de R, deducimos que se trata de una cuenca con agotamiento rápido, por lo cual utilizamos la ecuación (79).

$$a = -0.00252 * LN (AR) + 0.030$$

$$a = -0.00252 * LN (21.6369 \text{ Km}^2) + 0.030$$

Finalmente, el coeficiente de agotamiento será:

$$a = 0.022253 \text{ días con potencia al (-1)}$$

e. Gasto de la retención G_i

Es la contribución mensual de la retención durante los meses secos (mayo –setiembre), está en relación a la retención “R”, la relación de caudales del flujo base (b_0) y la suma de factores durante el periodo de estiaje (b_m). Su cálculo se realiza utilizando la ecuación (86).

Tabla 21. Coeficientes de abastecimiento para la región de Cajamarca.

Región	Meses del año (ai)%						
	Oct.	Nov.	Dic.	Ene.	Feb.	Mar.	Total
Cajamarca	25	-5	0	20	25	35	100

Fuente: (SCHOLZ, L. 1980)

Mediante la ecuación (85), calcularemos los valores de la relación de caudales de flujo base “ b_0 ”.

$$b_0 = e^{-a(t)}$$

Mes	t (días)	b_0
Mayo	31	0.502
Junio	30	0.286
Julio	31	0.152
Agosto	31	0.086
Setiembre	30	0.389
Suma	bm	1.4147

Tabla 22. Valores del gasto de la retención (meses de estiaje) –cuenca El Tingo.

Mes	bo	R	Gi
Mayo	0.502	68.625	24.335
Junio	0.286	68.625	13.874
Julio	0.152	68.625	7.374
Agosto	0.086	68.625	4.172
Setiembre	0.389	68.625	18.870
Suma	1.4147		

Tabla 23. Valores del abastecimiento de retención “Ai” de la cuenca hidrográfica del río el Tingo.

Mes	Días (t)	ai	Ai (mm/mes)
Octubre	31	0.25	13.81
Noviembre	30	-0.05	-2.76
Diciembre	31	0	0.00
Enero	31	0.2	11.05
Febrero	28	0.25	13.81
Marzo	31	0.35	19.34
Abril	30	0	0.00

4.2. GENERACIÓN DE CAUDALES:

Tabla 24. Caudales generados para el año promedio en la cuenca hidrográfica del río el Tingo.

Mes	Nº días del mes	PP (mm)	PE (mm)	G (mm)	A (mm)	Qm (mm/mes)	Qm (m ³ /s)
Enero	31	104.47	50.47		11.05	39.42	1.07
Febrero	28	104.53	50.50		13.81	36.69	1.11
Marzo	31	161.27	77.92		19.34	58.58	1.60
Abril	30	111.70	53.97		0.00	53.97	1.52
Mayo	31	57.63	27.84	25.82		53.66	1.46
Junio	30	18.50	8.94	14.52		23.46	0.66
Julio	31	9.91	4.79	8.01		12.79	0.35
Agosto	31	14.99	7.24	4.42		11.66	0.32
Septiembre	30	46.26	22.35	2.48		24.84	0.70
Octubre	31	110.15	53.22		13.81	39.40	1.07
Noviembre	30	101.62	49.09		-2.76	51.86	1.46
Diciembre	31	96.56	46.65		0.00	46.65	1.27

Los caudales generados muestran una relación directa con la precipitación, siendo mayores en los meses lluviosos: marzo con 1.60 m³/s y abril con 1.52 m³/s, y menores en los meses de estiaje: julio con 0.35 m³/s y agosto con 0.32 m³/s. La distribución de dichos caudales se presenta a continuación, en la figura 33. Considerar 5 tablas más.

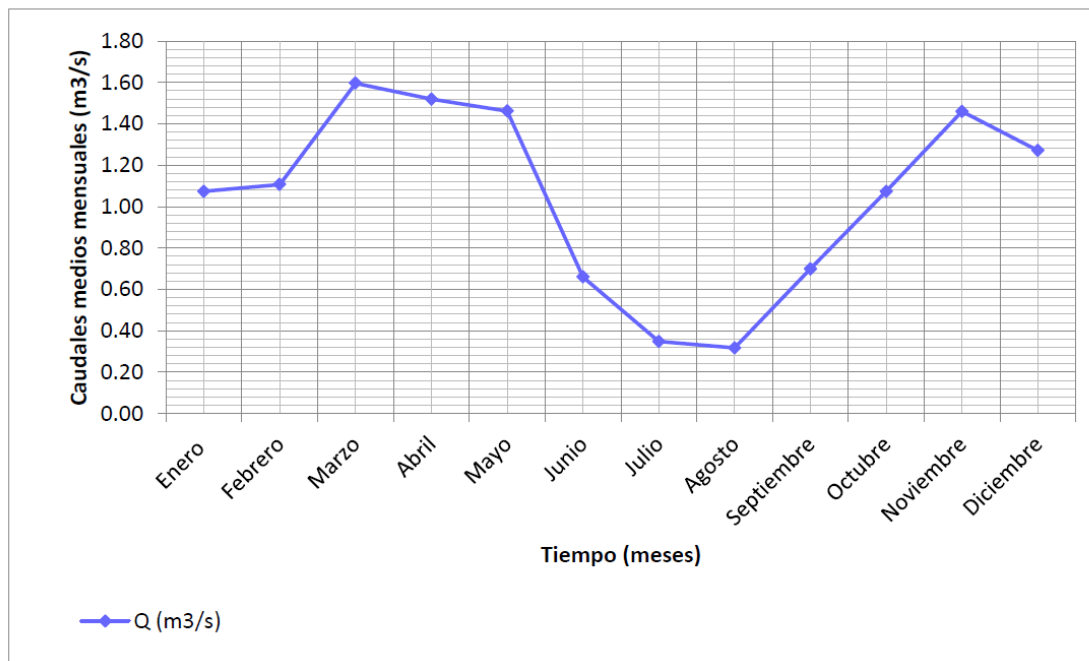


Figura 33. Caudales generados para el año promedio para la cuenca el Tingo.

Caudales mensuales para un periodo extendido.

Los coeficientes estadísticos que se mencionan en la tabla 24, es el resultado de la regresión múltiple, de los caudales promedios mensuales generados (Q y Q_{t-1}) y la precipitación efectiva promedio mensual (PE), generadas en la aplicación del modelo.

Tabla 25. Series y coeficientes estadísticos para regresión múltiple.

Mes	Qt	Qt-1	P Et
Enero	33.01	22.82	41.52
Febrero	51.26	33.01	61.90
Marzo	69.86	51.26	84.75
Abril	40.39	69.86	40.39
Mayo	30.74	40.39	9.01
Junio	13.47	30.74	2.37
Julio	6.64	13.47	1.10
Agosto	3.45	6.64	0.68
Setiembre	6.13	3.45	4.71
Octubre	0.74	6.13	11.38
Noviembre	15.16	0.74	13.03
Diciembre	22.82	15.16	22.82
$\Sigma =$	293.67	293.67	293.67
	ΣQt	$\Sigma Qt-1$	ΣPEt

Tabla 26. Series y coeficientes estadísticos para regresión múltiple.

Mes	Qt	Qt-1	P Et	\hat{Q}	Coeficientes Estadísticos (Regresión múltiple)	
Enero	39.42	46.65	50.47	47.57	B1	4.18
Febrero	36.69	39.42	50.50	44.75	B2	0.39
Marzo	58.58	36.69	77.92	57.31	B3	0.50
Abril	53.97	58.58	53.97	53.98	S^2_{Qt}	264.50
Mayo	53.66	53.97	27.84	39.18	S	7.29
Junio	23.46	53.66	8.94	29.66	r	0.89
Julio	12.79	23.46	4.79	15.76	$(s)*\sqrt{1-r^2}$	3.27
Agosto	11.66	12.79	7.24	12.80	n	12.00
Setiembre	24.84	11.66	22.35	19.86	p	3.00
Octubre	39.40	24.84	53.22	40.38		
Noviembre	51.86	39.40	49.09	44.04		
Diciembre	46.65	51.86	46.65	47.71		

De la tabla se deduce que las series entre los caudales del mes anterior, los caudales actuales y la precipitación efectiva actual utilizando la regresión múltiple, alcanzan una buena correlación ($r = 0.89$).

4.3. AFORO DE CAUDALES EN LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RIO EL TINGO

Los aforos se realizaron tomando un punto emisor ubicado a 5 metros aguas abajo, con respecto de la intersección del río el Tingo, con la quebrada la Piriana. La metodología empleada ya fue descrita líneas arriba.

El modelo de planillas empleadas para calcular los caudales aforados, se encuentra anexada en la tabla N° 55.

CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.3.1. CONCLUSIONES

- La cuenca hidrográfica del río El Tingo, forma parte de la vertiente del pacífico, está insertada en la cuenca del río JEQUETEPEQUE. Se trata de una pequeña cuenca, de forma oval redonda a oval oblonga, según el coeficiente Gravelius o de compacidad (K_c), el mismo que alcanza un valor de 1.2965; aunque un poco alargada, según el índice de alargamiento (I_a), el cual tiene un valor de 3.3532; por otro lado, su índice asimétrico (I_{as}), es de 1.6121, por lo que es una cuenca recargada a una de las vertientes; finalmente el factor de forma de Horton (K_f), alcanzó un valor de 0.2982, al no superar la unidad, es una cuenca con un intervalo, donde las crecidas en una cuenca son lentas y sostenidas.
- La cuenca hidrográfica del río El Tingo tiene un área de 21.6259 km², una altitud media de 2954.26 m.s.n.m., su pendiente media es de 33.64 %. Mediante criterios teóricos concluimos que, se trata de una microcuenca fuertemente accidentada y que su cauce principal (El tingo), posee una pendiente de 5.84 %. Este último valor es muy menor con respecto a la pendiente media de la cuenca, por lo que la pendiente del cauce principal es moderada, debido a la presencia de pequeños meandros en el valle de la cuenca, o se trata de una llanura aluvial expuesta a modificaciones constantes y progresivas de los cauces.
- Con la estimación de los parámetros físicos y meteorológicos de la cuenca, y aplicando el modelo determinístico estocástico de Lutz Scholz, se logró determinar los caudales medios mensuales generados por la cuenca, tomando como punto de descarga una sección ubicada a 5 metros aguas debajo de la intersección del río el Tingo, con la quebrada La Piriana. Estos caudales varían en relación al régimen de precipitación pluvial de la cuenca; de tal forma que en los meses lluviosos varía de 1.54 m³/s a 1.12 m³/s y en los meses de estiaje de 0.85 m³/s a 0.76 m³/s.; estos caudales incluyen la escorrentía directa y el

flujo base. Aunque es sabido que en épocas de lluvia hay ciertos padecimientos por parte del modelo.

- La precipitación muestra un régimen característico muy definido, en los meses de lluvia y en los meses de poca precipitación, como en el caso de marzo (mes de mayor precipitación), con 248.173 mm y en agosto (mes de menor precipitación), con 6.185 mm. La precipitación efectiva se determinó a partir de un coeficiente de escorrentía igual a 0.441, por lo que se puede observar que existe grandes pérdidas de agua.
- Los caudales generados por el modelo superan a los caudales medidos, talvez podría tratarse a que el modelo utilizado se realizó en una cuenca sin consumo interno; o también a la poquísima información pluviométrica de dos estaciones utilizadas en el modelo, para la generación de caudales 1987 – 2020; finalmente incluimos el nivel de influencia de la distancia de la estación de Chilete, considerada como principal (estación patrón), cuya distancia supera los 10 kilómetros.
- El mayor caudal generado corresponde al mes de marzo, coincidiendo en mayor numero en cuanto a precipitaciones y valor medido, durante el aforo (año 2020). Cabe precisar que, a la fecha, se viene observando diferentes cambios climáticos, por ejemplo, en el mes de abril del 2023, pudimos registrar un aforo adicional, con un caudal (1.1623), que supera en más del 50 % al caudal generado para ese mes, pero esta información es solo un contraste en el tiempo, definiendo talvez tiempos de retorno importantes, además que la precisión en los aforos no es preciso, debido a la irregular forma transversal del río.

4.3.2. RECOMENDACIONES

- Mediante un registro de coeficientes de variabilidad en cuanto a trabajos de información de esta índole (software), se debe buscar facilitar la generación de caudales medios mensuales para cualquier cuenca de la sierra peruana, bajo el concepto de calibración del modelo que hemos estudiado, sabiendo que el modelo sufre falencias para épocas de lluvia; con el fin de brindar optimizar la aplicación de este importante modelo.
- Evaluar y generar caudales medios mensuales en la cuenca hidrográfica del río El Tingo, mediante otros métodos a fin de constatar y validar los resultados de nuestra investigación, buscando aportar mayor conocimiento con respecto al caudal disponible y aprovechable en dicha cuenca.
- Debido a la importancia de esta cuenca, aguas abajo, se recomienda a los gobiernos de turno, realizar un estudio de prefactibilidad a fin de instalar una estación meteorológica, que permita registrar información climática, que pueda ser constatada en el tiempo y a futuro, además brinde el respaldo o contraste, a nuestro trabajo y a futuras investigaciones.
- Para trabajos futuros, se recomienda hacer un análisis muy sucinto en cuanto a aplicación del modelo ya que el modelo de Lutz Scholz, podría resultar no aplicable en ciertos casos; considerando la premisa de que en cuencas pequeñas se crea cierta incertidumbre.
- Utilizar el método de aforo por proceso químico, en meses lluviosos, ya que el método del flotador con el cual hemos trabajado, podría ofrecer resultados dudosos o poco representativos, lamentablemente, este método, se consultó después de haber realizado los aforos, y no pudo ser aplicada, y la verdad nos parece muy interesante se aplicación en investigaciones futuras.
- Nuestros resultados estimados cuentan con un soporte científico necesario para compatibilizar caudales medios mensuales, por lo que es inevitable

recomendar su uso en estudios hidrológicos referidos a disponibilidad hídrica y otros referidos a ello.

BIBLIOGRAFIA

- Autoridad Nacional del Agua (2010). *Evaluación de recursos hídricos superficiales en la cuenca del Río Mantaro*.
- Alcántara, F. (2015) *Modelo de geoformaciones cóncavas para recargas de agua subterránea en cabeceras de cuenca del Rio Jequetepeque, Cajamarca*.
- Breña Puyol, AF y Jacobo Villa, MA. (2006) *Principios y fundamentos de la hidrología superficial*. Universidad Autónoma Metropolitana. México.
- BALAIRON, J. (2012).
- Bazán, E. (2012). Características geológicas y geoquímicas del prospecto Huayquishongo, provincia de San Pablo departamento de Cajamarca, Universidad Nacional de Cajamarca, 158 Págs.
- Cahuana Andía, A. & Yugar Morales, W (2009). *Material de apoyo didáctico para la enseñanza y aprendizaje de la asignatura de hidrología CIV-233*. Bolivia: Universidad Mayor de San Simón.
- Campos D. 1992 Capítulo 2: *Geomorfología de la cuenca. Procesos del Ciclo Hidrológico*, editado por D. Campos, pp. 29. Editorial Universitaria Potosina, Potosí.
- Gaillard J., Monteil C., Perrillat-Collomb A., Chaudhari S., Chaudhari M., Chaudhari O., Giazzi F. y Cadag J. 2013 Participatory 3-dimension mapping: A tool for encouraging multi-caste collaboration to climate change adaptation and disaster risk reduction. *Applied Geography* 45: 158-166.
- Chávarri Velarde, EA. (2004). *Hidrología aplicada: Análisis Probabilístico de las Variables Precipitación Total Anual y Caudal Medio Anual*. Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú.

- Gaspari, F. J. (2012). *Caracterización Morfométrica de la cuenca alta del río Sauce Grande, Buenos Aires, Argentina*. Séptimo congreso de medio ambiente AUMG. La Plata Argentina.
- Huamán Vidaurre, JF y Rodriguez Cruzado, SR. (2017). *Generación de caudales medios mensuales en la cuenca Grande (Mashcón) impactada por actividad minera*. Universidad Nacional de Cajamarca. Perú.
- Huamán Vidaurre, JF. (2016). *Hidrología*. Cajamarca, Perú.
- Llamas, J. (1993). *Hidrología general. Principios y aplicaciones*. Servicio Editorial de la Universidad del País Vasco, Quebec, Canadá.
- Ordoñez Gálvez, JJ. (2011). *Balance Hídrico Superficial*. Lima: SENAMHI.
- Ordoñez Gálvez, JJ. (2011). *Cartilla técnica: Balance Hídrico Superficial*. Sociedad geográfica de Lima, Lima, Perú.
- Ordoñez Gálvez, JJ. (2011). *Cartilla técnica: Ciclo hidrológico*. Sociedad geográfica de Lima, Lima, Perú.
- Ortiz Vera, Santos O. (1995). *Hidrología de superficie*. Cajamarca, Perú, pp. 1-97.
- Ortiz Vera, Santos O. (2016). *Similitud hidráulica de sistemas hidrológicos alto andinos y transferencia de información hidro-meteorológica*. Tesis para optar el grado de Doctoris Philosophiae en recursos hídricos. Lima, Perú.
- Remenieras, G. Título: *Hidrología del ingeniero*. Fonte: La Habana; s.n; 1968. 533 p. Idioma: Es.
- Rivasplata, L. (2019). *Tesis: Generación de escorrentía superficial a partir de información climática en la cuenca de la quebrada Huertas-Chilete, Cajamarca*.
- Senciales Gonzáles, JM. *El análisis morfológico de las cuencas fluviales, aplicado al estudio hidrográfico*. Departamento de geografía – universidad de Málaga.

- Scholz, L. (1980). *Generación de Caudales Mensuales en la Sierra Peruana*. Plan Meriss II, Cusco. Perú.
- Terán, N. (2014) *Volumen de agua aprovechable en la microcuenca del río “Tres Ríos”, usando el modelo determinístico – estocástico de LUTZ SCHOLZ – validado para los años 2008 – 2012*.
- Vásquez Villanueva, A. et al. (2016). *Manejo y gestión de cuencas hidrográficas*. Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima.
- Villón Bejar, M. (2016). *Hidrología Estadística*. Lima. Perú. Edit. Villón.
- Villón Bejar, M. (2002). *Hidrología*. Lima. Perú. Edit. Villón.
- Aparicio, F. (2003). *Fundamentos de hidrología de superficie*. México: Editorial Limusa S. A.
- Recuperado de:
http://webdelprofesor.ula.ve/ingenieria/adamoren/HIDRO/Fundamentos_de_hidrologia_de_superficie_-_Aparicio.pdf
- Pizarro, R. (1993). *Elementos técnicos de hidrología III. Proyecto regional mayor sobre uso y conservación de recursos hídricos en áreas rurales de América latina y el Caribe*. Talca. Universidad: de Talca. Recuperado de <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/cd29/innova.pd>.
- <https://docplayer.es/39323699-Trabajo-especial-de-grado.html>.
- Fuente: Lutz Scholz. (1980). *Generación de Caudales Mensuales en la Sierra Peruana – MERISS II*.

ANEXOS

Tabla 27. Precipitación mensual (mm) - estación meteorológica GRANJA PORCÓN.

ESTACIÓN		GRANJA PORCÓN											
DEPARTAMENTO		CAJAMARCA						PROVINCIA		CAJAMARCA			
TIPO		CLIMÁTICA						RADIO		18.7 KILÓMETROS			
UNIDAD		MILIMÉTROS						VARIABLE		PRECIP. MENSUAL			
Nº	AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
1	1987	315.70	118.50	126.50	85.30	68.60	0.00	19.50	0.00	60.50	122.70	161.60	82.00
2	1988	305.50	178.90	63.60	167.30	18.60	15.60	6.40	5.30	30.60	133.70	112.60	127.60
3	1989	188.70	216.80	85.00	89.90	18.50	0.00	0.00	0.00	46.50	77.00	51.50	0.00
4	1990	29.50	85.40	88.80	127.20	33.10	35.60	0.90	0.60	139.70	262.00	250.20	103.60
5	1991	91.00	359.20	509.60	248.60	287.00	6.30	0.00	0.00	78.70	157.60	221.10	260.50
6	1992	170.10	74.10	137.10	119.10	107.70	62.40	0.00	24.00	135.50	119.20	75.70	174.10
7	1993	147.60	190.60	358.90	453.20	100.20	22.30	0.00	18.40	82.60	137.50	206.20	452.60
8	1994	475.40	373.50	522.40	278.00	329.10	18.60	0.00	22.20	104.80	252.80	210.70	139.10
9	1995	143.10	228.80	217.40	128.10	112.70	12.60	51.80	48.90	54.90	93.10	125.30	243.90
10	1996	198.80	402.70	311.30	147.50	59.70	49.70	0.00	20.30	48.50	231.40	82.10	58.60
11	1997	187.50	190.30	123.20	260.00	81.00	18.50	39.00	9.90	76.80	172.90	301.10	305.60
12	1998	168.50	370.30	308.90	243.20	85.40	0.00	0.00	14.80	67.60	224.90	168.60	99.00
13	1999	210.30	290.50	257.20	123.50	169.20	53.90	20.30	6.40	228.30	65.30	137.40	167.30
14	2000	64.90	247.20	221.10	168.60	160.70	40.70	1.60	16.30	123.20	19.30	61.70	237.60
15	2001	335.80	227.80	424.40	92.60	88.70	17.60	15.20	0.40	145.20	166.70	158.90	171.80
16	2002	76.00	188.90	390.20	159.00	36.90	29.00	15.20	2.60	50.70	204.70	225.90	243.60
17	2003	103.80	134.40	124.54	79.60	77.90	54.40	28.90	15.60	47.20	101.80	112.60	100.00
18	2004	70.30	230.40	165.60	85.00	75.40	11.70	41.00	19.10	84.80	145.60	167.80	236.20
19	2005	164.10	227.10	344.90	95.60	91.60	53.70	0.00	7.10	54.40	148.10	33.30	164.80
20	2006	142.90	189.00	347.40	184.70	62.80	62.00	5.10	15.70	116.20	40.20	158.50	183.60
21	2007	245.40	65.70	352.30	226.30	57.70	1.30	42.60	20.10	32.80	171.50	211.40	146.40
22	2008	214.60	291.20	246.00	156.50	76.20	73.30	16.00	11.00	110.90	182.60	127.30	72.30
23	2009	341.60	200.70	307.30	149.60	127.40	31.30	18.10	8.00	27.00	184.00	187.60	235.10
24	2010	108.00	169.70	264.50	173.20	84.60	39.40	44.30	33.60	29.60	82.70	96.50	182.60
25	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
26	2012	325.10	320.80	154.80	211.60	109.60	32.40	0.00	45.80	33.70	137.30	202.90	67.60
27	2013	14.10	279.90	352.40	196.20	193.40	32.80	17.70	33.80	30.40	174.50	28.00	243.70
28	2014	137.40	174.90	242.40	103.40	79.30	5.10	9.60	10.50	65.80	97.40	90.30	209.20
29	2015	367.40	164.00	283.20	111.80	158.70	1.70	9.70	0.40	24.60	88.40	124.50	108.90
30	2016	166.30	134.30	162.20	138.40	36.80	44.90	1.10	0.00	43.40	149.20	39.90	173.80
31	2017	156.60	235.60	365.60	134.90	170.70	43.90	1.20	49.90	51.70	146.80	37.70	228.90
32	2018	262.50	194.40	205.60	141.70	111.40	8.20	0.00	2.50	59.00	145.20	152.90	162.30
33	2019	92.80	148.40	378.20	137.30	62.80	5.80	14.10	0.00	21.60	190.20	172.60	311.70
34	2020	62.90	137.40	184.20	73.50	38.80	15.50	48.00	25.90	25.30	48.20	110.60	344.10
Prom.		186.51	211.48	262.10	163.52	99.81	26.73	14.15	14.53	70.23	139.97	138.18	185.40

Fuente: Servicio Nacional de meteorología e hidrología del Perú – SENAMHI 2021.

Tabla 28. Precipitación mensual (mm) - estación meteorológica CONTUMAZÁ.

ESTACIÓN :		CONTUMAZÁ											
DEPARTAMENTO :		CAJAMARCA						PROVINCIA :		CONTUMAZÁ			
TIPO :		CLIMÁTICA						RADIO :		30.39 KILÓMETROS			
UNIDAD :		MILIMÉTROS						VARIABLE :		PRECIP. MENSUAL			
N°	AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
1	1987	448.00	284.30	240.10	15.60	0.00	0.00	1.00	4.00	7.70	1.60	29.80	7.70
2	1988	79.60	74.60	41.60	89.00	14.90	0.00	0.00	0.00	1.90	18.00	32.40	9.00
3	1989	105.10	243.60	175.90	163.20	6.80	7.80	0.00	0.00	14.60	49.10	22.40	0.00
4	1990	42.90	70.30	100.10	19.20	0.50	14.90	0.00	0.00	0.00	28.40	34.40	7.60
5	1991	4.60	89.20	173.20	125.80	26.20	0.00	0.00	0.00	1.50	34.80	48.80	27.80
6	1992	46.70	42.40	189.90	190.70	11.40	8.60	0.00	0.00	21.40	3.20	3.60	0.00
7	1993	51.60	286.30	342.10	144.70	19.50	0.00	0.00	3.20	33.00	55.50	29.90	50.30
8	1994	110.20	115.00	188.10	52.60	22.10	0.00	1.00	0.00	5.80	0.00	27.00	29.50
9	1995	105.80	94.80	107.30	59.80	5.50	2.30	5.00	0.00	0.00	15.70	35.80	58.80
10	1996	90.20	161.10	209.60	66.30	5.80	8.10	0.00	0.90	5.90	23.10	0.60	2.50
11	1997	6.60	172.10	64.40	125.30	14.00	7.40	0.00	0.00	28.60	15.70	86.20	284.00
12	1998	373.10	524.10	438.00	145.90	22.50	10.30	0.00	1.80	5.00	14.60	7.60	17.80
13	1999	69.90	296.20	175.70	90.80	83.00	24.20	18.50	0.00	41.70	14.10	19.10	41.40
14	2000	23.80	215.90	378.30	146.20	65.00	7.80	0.30	5.70	23.80	6.70	34.70	78.80
15	2001	191.80	152.50	457.30	157.50	23.90	8.70	0.00	0.00	18.10	19.70	41.70	43.00
16	2002	18.00	183.30	192.10	262.80	20.40	9.10	0.70	0.00	4.70	33.40	80.70	42.70
17	2003	76.80	91.40	80.70	54.50	18.30	6.50	0.00	0.70	1.20	1.90	9.20	79.80
18	2004	2.70	100.20	116.20	69.10	20.80	0.00	3.10	0.00	10.60	27.70	18.80	36.70
19	2005	35.90	40.80	104.10	41.80	0.00	0.00	0.00	0.00	1.60	15.40	11.10	21.10
20	2006	78.60	190.70	405.90	63.00	3.60	14.60	0.00	0.60	8.60	0.00	30.90	71.50
21	2007	84.40	37.90	256.50	104.80	33.90	0.00	0.00	4.10	0.00	54.60	29.30	22.30
22	2008	84.20	343.10	213.00	194.40	2.10	4.90	0.00	9.70	9.10	42.90	48.70	2.60
23	2009	208.90	178.30	262.40	72.90	30.40	2.90	5.20	0.00	5.60	64.50	47.60	19.20
24	2010	25.50	169.60	165.70	78.70	25.60	4.80	0.00	0.00	10.10	11.20	16.80	34.00
25	2011	68.70	25.80	108.40	171.60	4.70	0.60	0.30	0.00	8.30	2.50	9.70	40.30
26	2012	69.90	183.40	248.90	151.60	36.70	0.00	0.00	0.00	0.50	64.10	36.60	53.30
27	2013	27.80	151.10	286.40	17.80	35.30	2.50	0.00	0.50	0.00	57.30	0.60	70.00
28	2014	47.20	30.80	175.80	64.90	44.60	0.60	0.00	0.00	16.80	41.20	24.70	88.40
29	2015	91.10	67.70	300.70	81.90	48.80	0.00	2.50	0.00	0.30	9.80	58.50	66.40
30	2016	66.40	130.20	119.60	137.10	0.00	8.70	0.00	0.00	0.00	9.90	1.60	26.00
31	2017	122.30	468.50	757.50	58.70	24.80	0.00	0.00	6.80	2.60	28.30	10.10	23.70
32	2018	92.90	90.20	123.10	77.30	62.50	1.30	0.00	0.00	0.80	12.30	25.30	56.80
33	2019	23.00	283.00	202.10	72.50	18.10	0.00	1.20	0.00	4.70	43.70	33.10	77.20
34	2020	26.20	23.90	75.60	64.00	10.10	0.00	4.50	0.90	4.20	9.00	26.30	122.70
Prom.		88.25	165.07	219.89	100.94	22.41	4.61	1.27	1.14	8.79	24.41	28.64	47.44

Fuente: Servicio Nacional de meteorología e hidrología del Perú – SENAMHI 2021.

Tabla 29. Precipitación mensual (mm) - estación meteorológica LIVES.

ESTACIÓN		LIVES											
DEPARTAMENTO		CAJAMARCA						PROVINCIA		SAN MIGUEL			
TIPO		CLIMÁTICA						RADIO		27.5 KILÓMETROS			
UNIDAD		MILIMÉTROS						VARIABLE		PRECIP. MENSUAL			
N°	AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
1	1987	209.40	105.40	65.50	0.04	0.00	0.04	4.64	2.12	13.93	5.32	31.21	2.03
2	1988	99.64	76.66	27.07	70.11	1.83	0.05	0.00	0.00	11.16	10.76	13.95	4.39
3	1989	75.79	293.12	89.35	78.21	4.61	1.56	0.02	5.04	9.70	34.75	10.00	0.00
4	1990	27.50	52.10	76.20	17.60	2.00	29.20	0.00	0.00	8.00	48.70	49.50	29.30
5	1991	0.00	48.12	82.30	45.40	17.51	0.00	0.00	0.00	11.20	56.50	45.30	27.11
6	1992	61.60	73.11	166.33	97.01	40.61	6.50	0.00	0.00	7.50	31.10	21.20	12.60
7	1993	72.20	238.40	237.00	57.30	34.20	0.00	0.70	1.10	4.10	30.90	24.40	26.30
8	1994	71.20	144.10	197.40	95.10	11.80	10.70	2.50	0.00	7.30	5.30	35.30	51.00
9	1995	102.40	122.40	71.60	40.00	6.60	9.10	1.10	0.00	8.70	22.20	8.10	91.50
10	1996	74.30	180.10	136.90	40.20	0.60	0.00	0.00	5.80	0.40	31.00	7.90	15.80
11	1997	15.10	128.20	48.70	54.40	1.80	14.30	0.00	0.00	20.10	38.10	82.40	317.60
12	1998	337.20	534.30	561.30	139.30	17.20	0.00	0.00	0.80	9.20	37.50	9.30	54.20
13	1999	105.30	261.30	95.50	55.20	31.00	13.00	5.30	0.00	13.00	4.90	6.90	58.30
14	2000	24.30	127.50	163.40	50.20	39.00	10.90	0.00	0.00	3.10	0.00	16.10	89.00
15	2001	94.00	91.50	390.70	86.90	37.20	1.80	0.00	0.00	24.50	5.00	22.50	18.30
16	2002	20.00	162.00	217.90	79.60	17.90	0.00	0.60	0.00	2.70	21.20	65.40	34.30
17	2003	60.00	83.00	49.90	32.60	7.20	4.50	0.00	0.00	13.40	2.40	21.40	26.40
18	2004	19.30	67.70	84.70	5.70	13.80	3.60	1.20	0.90	6.60	19.30	13.00	32.30
19	2005	37.10	53.60	102.20	17.00	0.60	0.00	0.00	0.00	0.90	12.80	3.60	14.40
20	2006	103.50	156.90	263.80	24.70	2.30	5.50	0.00	7.40	2.00	0.50	20.80	65.20
21	2007	107.60	18.50	173.40	46.10	5.10	0.00	0.00	0.60	1.10	35.30	32.50	17.30
22	2008	110.80	236.20	264.00	136.00	3.10	0.00	0.00	0.70	9.00	20.40	36.20	9.20
23	2009	168.00	163.80	120.30	14.20	14.20	4.80	0.80	0.00	0.60	20.60	29.00	10.80
24	2010	20.80	148.90	115.40	68.90	9.30	0.00	0.00	0.60	2.30	14.50	7.00	22.40
25	2011	50.90	71.80	52.90	95.60	3.10	0.00	5.20	0.00	9.00	6.40	6.70	74.80
26	2012	115.60	200.10	191.60	72.10	8.10	2.10	0.00	0.00	5.40	30.70	37.10	59.10
27	2013	61.50	95.30	253.40	9.60	55.90	1.30	2.00	1.50	1.10	21.20	0.00	22.60
28	2014	58.90	44.20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
29	2015	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
30	2016	-	-	65.40	52.60	0.10	4.40	0.20	0.00	1.10	5.20	1.80	18.40
31	2017	94.60	276.30	448.70	48.60	19.00	1.40	0.00	1.30	9.00	84.70	5.20	46.30
32	2018	79.70	73.30	62.40	53.30	27.50	1.50	0.60	0.00	5.60	27.40	9.00	44.60
33	2019	54.00	161.90	102.90	65.80	17.90	1.50	2.20	0.00	19.20	23.10	20.00	76.10
34	2020	12.00	18.20	43.40	41.90	13.00	1.40	9.40	0.00	-	-	-	5.40
Prom.		79.51	140.88	156.92	55.98	14.50	4.04	1.14	0.87	7.77	22.83	22.35	43.03

Fuente: Servicio Nacional de meteorología e hidrología del Perú – SENAMHI 2021.

Tabla 30. Precipitación mensual (mm) - estación meteorológica CHILETE.

ESTACIÓN		CHILETE											
DEPARTAMENTO		CAJAMARCA						PROVINCIA		CONTUMAZÁ			
TIPO		CLIMÁTICA						RADIO		15.39 KILÓMETROS			
UNIDAD		MILIMÉTROS						VARIABLE		PRECIP. MENSUAL			
N°	AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
1	1987	45.00	62.80	12.60	26.90	0.00	0.90	5.60	12.10	1.60	0.00	11.90	0.00
2	1988	40.20	22.50	11.80	42.90	3.50	1.20	0.00	0.00	0.00	8.10	7.10	2.40
3	1989	41.10	85.60	42.90	44.00	12.00	0.00	0.00	0.00	7.90	25.40	4.30	0.00
4	1990	30.90	33.30	28.40	7.30	3.90	8.60	0.00	0.00	0.00	20.30	20.70	3.70
5	1991	0.00	32.30	57.50	29.60	4.40	0.00	0.00	0.00	0.00	14.90	25.60	18.30
6	1992	20.40	14.00	33.80	24.20	14.40	8.40	0.00	0.00	1.50	8.50	0.00	3.30
7	1993	24.90	78.70	131.40	44.30	6.20	0.00	0.00	0.00	5.20	21.70	9.20	30.80
8	1994	20.30	53.30	88.90	21.00	3.60	1.40	0.00	0.00	1.20	0.00	7.00	20.90
9	1995	28.90	89.80	34.40	15.80	6.80	0.00	0.50	0.00	0.00	2.90	2.20	30.70
10	1996	42.90	46.70	92.80	29.60	0.00	0.00	0.00	0.00	0.70	5.20	0.00	3.60
11	1997	0.00	50.20	18.40	6.20	0.00	0.00	0.00	0.00	13.80	12.00	34.10	59.70
12	1998	70.30	109.90	142.20	28.90	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
13	1999	29.70	147.70	9.50	17.40	23.60	8.30	0.00	0.00	4.60	0.00	3.20	13.80
14	2000	0.00	53.00	56.00	10.50	7.60	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	9.40
15	2001	34.60	30.20	146.90	12.70	0.00	0.00	0.00	0.00	7.50	0.00	4.20	5.70
16	2002	2.10	25.60	42.00	15.90	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	22.00	7.70
17	2003	5.50	9.60	16.30	1.40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	9.40
18	2004	0.00	13.70	4.20	2.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.30	0.00	3.20
19	2005	23.40	10.30	63.40	11.40	0.00	0.00	0.00	0.00	3.70	3.90	3.70	5.40
20	2006	42.40	76.50	194.30	31.60	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	9.50	23.90
21	2007	31.10	16.70	76.50	31.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	14.60	10.90	4.90
22	2008	42.80	131.50	79.90	34.30	1.40	0.00	0.00	0.00	7.70	12.50	28.10	0.00
23	2009	86.50	80.50	48.40	8.70	14.20	0.00	0.00	0.00	0.00	8.70	4.00	0.00
24	2010	0.00	104.10	14.70	16.70	5.50	0.00	0.00	0.00	0.00	2.30	13.40	0.00
25	2011	1.40	18.90	29.50	49.40	0.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.50	-
26	2012	31.10	79.30	102.00	22.80	6.70	0.00	0.00	0.00	0.00	16.90	6.50	2.30
27	2013	9.30	28.00	103.10	0.00	13.70	0.00	0.00	-	0.00	12.70	0.00	23.80
28	2014	2.80	25.90	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
29	2015	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
30	2016	-	-	37.50	23.70	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
31	2017	0.00	0.00	0.00	-	-	-	-	-	0.00	32.50	2.30	5.60
32	2018	15.50	23.20	48.60	40.90	19.00	0.30	0.10	0.00	2.00	9.20	2.80	22.60
33	2019	7.90	141.70	94.50	50.60	5.60	0.20	0.00	0.00	0.70	7.00	7.00	53.30
34	2020	17.90	4.40	15.70	33.70	4.50	0.00	6.40	0.00	4.70	0.30	3.30	33.00
Prom.		23.40	53.12	58.69	23.74	5.06	0.95	0.41	0.40	1.96	7.50	7.64	12.82

Fuente: Servicio Nacional de meteorología e hidrología del Perú – SENAMHI 2021.

Tabla 31. Precipitación mensual (mm) - estación meteorológica LLAPA.

ESTACIÓN :		LLAPA											
DEPARTAMENTO :		CAJAMARCA						PROVINCIA :		SAN MIGUEL			
TIPO :		CLIMÁTICA						RADIO :		12.75 KILÓMETROS			
UNIDAD :		MILIMÉTROS						VARIABLE :		PRECIP. MENSUAL			
N°	AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
1	1987	185.80	101.80	57.90	127.50	0.00	0.00	10.10	40.30	19.80	-	56.70	31.70
2	1988	43.20	140.40	53.90	207.90	31.60	19.00	7.10	10.80	11.80	114.40	63.70	1.20
3	1989	93.70	274.10	240.20	224.00	19.30	18.20	0.00	3.00	37.50	142.60	33.80	5.10
4	1990	87.90	146.80	84.10	78.20	32.20	37.40	0.00	0.00	27.90	107.00	123.80	73.50
5	1991	33.50	108.90	221.40	110.50	45.60	9.10	0.00	0.00	5.40	72.20	58.10	113.80
6	1992	122.50	48.00	152.60	88.00	49.40	41.60	0.00	5.00	75.60	119.00	22.00	52.70
7	1993	110.80	162.60	278.60	142.80	73.70	0.00	8.00	2.20	72.60	123.40	69.10	172.20
8	1994	150.60	177.00	143.30	163.80	48.90	10.10	3.50	0.00	34.50	16.60	109.00	103.80
9	1995	94.20	134.90	155.60	91.30	45.60	12.80	20.20	25.20	44.30	65.30	67.40	112.30
10	1996	151.60	224.30	244.50	62.80	23.30	3.00	2.00	6.90	32.10	105.10	41.80	38.70
11	1997	44.40	174.10	66.10	96.10	14.20	19.50	0.00	5.90	57.10	49.40	149.10	199.60
12	1998	209.30	297.10	322.00	202.50	27.10	11.60	3.20	9.30	34.20	111.90	22.10	101.90
13	1999	151.40	313.60	147.40	89.10	61.00	46.80	10.90	4.10	123.30	58.10	37.20	122.10
14	2000	45.80	205.70	320.20	133.90	83.80	15.80	0.70	22.80	57.20	41.80	53.30	160.60
15	2001	238.80	152.00	439.40	122.80	49.30	5.80	9.10	0.00	106.70	58.20	91.30	94.50
16	2002	63.70	157.70	245.80	197.40	15.90	27.50	4.10	0.50	61.50	116.70	131.90	127.00
17	2003	119.80	86.80	149.00	61.70	40.40	41.10	0.00	5.10	44.70	56.10	77.10	67.20
18	2004	19.80	189.20	113.60	85.50	58.20	4.20	21.80	3.30	78.70	86.20	61.20	103.70
19	2005	98.60	104.00	251.60	39.00	10.40	4.50	1.20	9.30	21.60	70.10	36.90	109.40
20	2006	162.70	170.50	347.80	78.80	21.40	25.80	4.40	17.70	40.80	23.30	104.20	163.10
21	2007	175.30	57.10	317.60	185.40	61.40	0.80	3.80	2.70	6.30	86.70	107.10	45.10
22	2008	132.10	255.40	219.60	145.30	35.20	13.10	5.00	18.20	65.00	129.90	93.30	31.60
23	2009	226.90	160.10	232.90	147.50	61.20	24.90	12.70	13.70	15.30	74.80	161.90	89.90
24	2010	47.30	137.80	289.40	103.20	38.70	13.20	19.10	3.40	53.50	36.50	44.30	127.10
25	2011	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
26	2012	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
27	2013	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
28	2014	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
29	2015	-	-	-	-	-	2.70	7.10	0.80	18.10	142.90	135.40	46.50
30	2016	107.50	198.20	211.40	121.70	8.30	19.60	6.00	1.40	21.50	32.30	11.80	112.90
31	2017	133.90	190.40	349.60	140.90	54.60	0.80	0.20	18.10	24.60	74.30	62.70	95.90
32	2018	112.20	189.60	159.10	125.00	93.70	2.90	2.90	0.00	44.70	78.10	71.90	116.50
33	2019	69.10	293.80	253.20	-	-	-	-	-	-	-	-	-
34	2020	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Prom.		115.44	173.28	216.71	124.91	40.90	15.42	5.83	8.20	44.15	81.22	74.93	93.56

Fuente: Servicio Nacional de meteorología e hidrología del Perú – SENAMHI 2021.

Tabla 32. Precipitación mensual (mm) - estación meteorológica SAN PABLO.

ESTACIÓN		SAN PABLO											
DEPARTAMENTO		CAJAMARCA						PROVINCIA		SAN PABLO			
TIPO		CLIMÁTICA						RADIO		5.098 KILÓMETROS			
UNIDAD		MILIMÉTROS						VARIABLE		PRECIP. MENSUAL			
N°	AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
1	1987	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	1988	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3	1989	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4	1990	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5	1991	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6	1992	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7	1993	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
8	1994	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
9	1995	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10	1996	-	-	-	-	-	-	-	8.90	4.50	40.30	5.40	17.90
11	1997	25.20	147.00	41.40	71.20	2.40	10.20	0.00	0.00	45.20	69.10	98.30	317.60
12	1998	285.60	300.60	527.89	151.30	25.70	1.30	0.00	1.30	8.00	31.70	12.50	38.60
13	1999	120.50	303.90	96.90	85.30	53.00	22.40	23.00	0.00	46.50	12.80	14.40	51.50
14	2000	57.10	158.60	301.00	98.80	63.80	11.10	0.00	1.00	14.80	5.60	27.60	110.80
15	2001	209.90	128.90	437.90	125.10	22.10	2.40	4.10	0.00	41.30	15.40	50.60	41.80
16	2002	10.70	189.70	369.20	85.90	7.80	7.00	0.00	0.00	1.00	34.90	102.50	79.00
17	2003	48.00	124.90	91.10	69.40	11.40	14.50	0.00	0.00	9.20	4.90	16.30	50.80
18	2004	18.20	137.20	102.00	55.40	14.50	5.20	10.90	0.00	19.40	40.30	24.30	61.70
19	2005	107.40	51.60	150.80	56.10	5.10	1.10	0.00	0.00	6.70	30.90	6.00	33.60
20	2006	124.40	227.60	-	56.80	6.90	13.10	0.00	5.60	8.00	3.30	47.10	141.60
21	2007	157.90	22.60	227.90	88.50	21.80	2.00	3.70	5.00	2.60	44.10	33.30	36.90
22	2008	148.70	291.20	253.80	79.80	11.30	2.80	0.00	0.00	17.30	47.80	38.90	25.90
23	2009	180.50	231.30	209.10	33.40	22.90	7.70	16.80	9.20	12.40	69.20	59.20	52.50
24	2010	52.00	182.00	149.60	60.30	14.70	2.40	2.30	1.30	4.20	11.70	16.70	36.40
25	2011	85.10	71.40	101.00	145.10	1.90	0.00	6.40	0.00	21.70	2.40	16.30	106.70
26	2012	178.10	282.10	203.60	134.30	37.10	1.10	0.00	4.20	7.80	49.00	67.40	62.00
27	2013	-	-	-	-	46.20	0.90	0.00	4.80	0.00	-	0.70	74.90
28	2014	94.10	42.90	164.58	-	50.80	0.00	0.00	0.00	15.00	33.90	36.30	68.00
29	2015	133.70	76.90	321.80	-	-	-	-	-	-	-	-	-
30	2016	-	-	-	-	2.90	1.40	0.00	0.00	-	-	1.00	45.60
31	2017	-	-	-	-	-	-	0.00	1.80	8.20	77.70	19.80	35.10
32	2018	79.60	101.80	214.40	112.30	48.10	13.80	0.00	10.40	25.30	27.70	16.30	75.50
33	2019	72.80	236.80	186.30	63.20	24.70	4.20	1.30	0.00	4.60	46.00	17.90	117.80
34	2020	22.20	48.50	45.30	-	-	-	7.30	0.00	8.10	5.30	20.10	93.00
Prom.		105.32	159.88	209.78	87.34	23.58	5.93	3.30	2.23	14.43	32.00	31.20	73.97

Fuente: Servicio Nacional de meteorología e hidrología del Perú – SENAMHI 2021.

Tabla 33. Precipitación mensual (mm) - estación meteorológica Magdalena.

ESTACIÓN		MAGDALENA											
DEPARTAMENTO		CAJAMARCA						PROVINCIA		CAJAMARCA			
TIPO		CLIMÁTICA						RADIO		23.61 KILÓMETROS			
UNIDAD		MILIMÉTROS						VARIABLE		PRECIP. MENSUAL			
N°	AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
1	1987	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	1988	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3	1989	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4	1990	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5	1991	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6	1992	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7	1993	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
8	1994	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
9	1995	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10	1996	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
11	1997	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12	1998	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
13	1999	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
14	2000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
15	2001	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
16	2002	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
17	2003	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
18	2004	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
19	2005	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
20	2006	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
21	2007	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
22	2008	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
23	2009	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
24	2010	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
25	2011	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
26	2012	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
27	2013	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
28	2014	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
29	2015	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
30	2016	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
31	2017	66.90	65.30	264.90	55.70	10.00	0.00	0.00	3.30	2.40	31.70	7.80	42.50
32	2018	51.80	91.50	95.90	43.10	41.60	4.10	0.00	0.00	2.80	24.50	41.10	65.80
33	2019	23.40	182.50	126.30	50.30	10.00	0.20	1.40	0.00	0.60	31.70	13.00	99.80
34	2020	17.20	24.80	41.50	50.50	10.80	0.00	2.70	0.00	6.30	7.20	7.50	78.30
Prom.		39.83	91.03	132.15	49.90	18.10	1.08	1.03	0.83	3.03	23.78	17.35	71.60

Fuente: Servicio Nacional de meteorología e hidrología del Perú – SENAMHI 2021.

Tabla 34. Precipitación mensual (mm) - estación meteorológica Llagadén Magdalena.

ESTACIÓN		HACIENDA LLAGADÉN - MAGDALENA											
DEPARTAMENTO		CAJAMARCA						PROVINCIA		CAJAMARCA			
TIPO		CLIMÁTICA						RADIO		30.11 KILÓMETROS			
UNIDAD		MILIMÉTROS						VARIABLE		PRECIP. MENSUAL			
N°	AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
1	1987	190.10	76.30	25.00	85.60	0.00	0.00	0.00	9.70	0.00	7.60	37.20	24.20
2	1988	113.70	112.50	29.30	74.70	4.80	4.40	0.00	0.00	0.00	27.40	62.30	15.80
3	1989	128.60	189.20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4	1990	59.90	75.40	82.20	24.80	15.50	11.50	0.00	0.00	0.00	14.30	31.00	25.10
5	1991	11.20	32.70	49.80	16.20	10.00	0.00	0.00	0.00	0.00	17.30	25.90	51.90
6	1992	51.90	30.20	51.10	50.80	59.50	16.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
7	1993	0.00	0.00	0.00	0.00	7.30	0.00	0.00	0.00	25.90	69.30	41.20	80.10
8	1994	77.40	144.90	176.90	86.90	7.60	0.00	0.00	0.00	0.00	1.10	33.30	136.60
9	1995	51.00	104.20	70.70	71.30	2.90	1.10	0.00	0.00	2.80	29.10	22.50	54.20
10	1996	85.10	122.10	172.40	66.40	2.10	0.00	-	-	-	-	-	-
11	1997	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12	1998	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
13	1999	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
14	2000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
15	2001	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
16	2002	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
17	2003	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
18	2004	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
19	2005	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
20	2006	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
21	2007	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
22	2008	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
23	2009	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
24	2010	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
25	2011	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
26	2012	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
27	2013	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
28	2014	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
29	2015	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
30	2016	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
31	2017	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
32	2018	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
33	2019	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
34	2020	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Prom.		76.89	88.75	73.04	52.97	12.19	3.67	0.00	1.21	3.59	20.76	31.68	48.49

Fuente: Servicio Nacional de meteorología e hidrología del Perú – SENAMHI 2021.

Tabla 35. Precipitación mensual (mm) - estación meteorológica A. WEBERBAUER.

ESTACIÓN		WEBERBAUER											
DEPARTAMENTO		CAJAMARCA						PROVINCIA		CAJAMARCA			
TIPO		CLIMÁTICA						RADIO		34.12 KILÓMETROS			
UNIDAD		MILIMÉTROS						VARIABLE		PRECIP. MENSUAL			
N°	AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
1	1987	98.20	95.20	39.20	52.20	11.10	4.00	10.80	12.30	39.50	37.20	74.30	60.50
2	1988	109.70	105.50	44.80	95.60	10.60	5.40	0.00	32.90	69.40	65.20	63.40	73.60
3	1989	87.00	158.80	113.50	85.40	18.80	16.70	3.20	5.90	53.50	106.60	47.10	2.70
4	1990	101.80	68.50	58.30	27.40	39.50	24.60	0.80	7.10	20.10	87.60	99.10	72.30
5	1991	43.80	90.00	133.70	55.20	17.90	0.70	0.40	0.30	10.20	28.20	55.10	71.90
6	1992	52.60	31.80	66.60	46.50	18.90	21.20	4.60	10.00	40.80	64.00	32.00	34.10
7	1993	61.00	112.20	245.00	102.90	30.20	1.90	3.30	2.90	51.40	106.30	71.40	84.10
8	1994	116.90	103.10	170.20	144.90	35.30	3.30	0.00	0.20	11.90	27.20	89.80	122.60
9	1995	44.70	108.30	75.70	49.70	20.60	1.70	13.20	10.80	11.50	51.80	50.50	76.40
10	1996	65.20	124.00	120.10	50.40	13.70	0.80	0.50	15.80	13.90	76.20	68.80	34.10
11	1997	63.80	152.90	26.50	40.40	17.00	15.40	0.20	0.00	27.40	50.80	119.90	129.40
12	1998	103.00	116.50	257.00	83.90	19.60	4.80	1.30	4.70	17.80	79.60	29.10	47.90
13	1999	94.80	242.70	69.50	65.00	53.70	22.80	22.10	1.20	81.40	21.70	77.00	68.80
14	2000	46.00	162.30	126.30	77.30	40.50	15.60	2.10	13.40	56.60	9.90	44.50	122.30
15	2001	191.20	100.80	230.20	57.20	48.10	2.30	13.90	0.00	34.40	46.20	93.40	90.90
16	2002	27.00	60.00	133.10	77.20	23.00	8.80	10.70	3.40	14.60	90.30	99.90	86.10
17	2003	51.10	61.40	103.60	42.10	30.70	22.30	1.80	10.60	14.80	46.00	63.80	80.70
18	2004	36.10	102.00	56.90	44.50	42.40	2.10	13.80	29.40	19.00	63.40	92.60	123.70
19	2005	84.90	53.70	136.60	54.00	7.20	4.50	0.60	3.50	31.20	92.30	30.00	87.80
20	2006	83.20	101.60	199.30	77.60	7.70	23.90	1.80	6.10	33.60	12.70	60.40	81.70
21	2007	95.40	17.50	182.40	111.50	29.00	1.40	10.74	6.40	11.60	117.20	97.60	68.80
22	2008	80.20	133.30	118.40	99.10	22.70	15.45	2.30	11.70	34.70	96.50	72.20	-
23	2009	180.70	74.60	110.50	78.80	42.20	17.90	12.30	3.90	11.80	78.50	109.40	74.22
24	2010	49.50	112.90	154.00	88.40	31.64	8.60	2.60	1.30	28.90	43.40	52.50	70.80
25	2011	76.60	73.30	125.20	102.00	16.70	0.41	8.30	0.00	47.10	31.50	24.41	109.70
26	2012	154.20	134.70	126.40	72.80	51.50	0.21	0.00	2.50	19.10	83.20	120.30	58.30
27	2013	61.50	98.01	213.60	73.81	61.73	7.50	5.70	8.93	3.70	110.70	17.00	51.91
28	2014	74.70	62.41	143.20	78.82	26.92	5.00	2.00	3.91	27.71	26.32	45.70	114.90
29	2015	184.70	55.40	202.20	63.00	75.82	3.00	4.40	0.10	27.80	16.81	-	-
30	2016	82.90	85.30	121.30	56.20	7.00	1.60	2.10	1.10	25.10	60.00	16.10	63.10
31	2017	77.50	71.90	138.70	78.60	50.00	1.00	2.30	20.90	20.20	65.30	63.20	168.10
32	2018	99.00	125.70	117.30	72.90	50.10	10.80	0.50	0.00	24.40	61.60	97.40	68.70
33	2019	43.70	104.10	172.70	78.10	37.40	9.10	11.70	0.00	7.60	121.00	52.60	162.70
34	2020	38.20	31.20	35.20	-	-	-	27.60	0.70	9.70	33.20	53.20	140.40
Prom.		84.14	97.99	128.45	72.23	30.58	8.63	5.81	6.82	28.01	62.01	66.17	84.48

Fuente: Servicio Nacional de meteorología e hidrología del Perú – SENAMHI 2021.

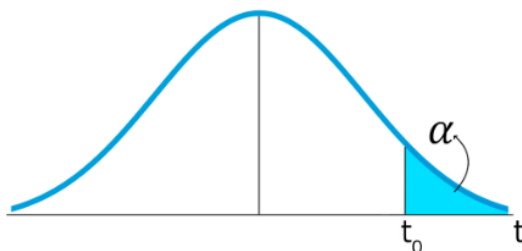
Tabla 36. A acumulado de las precipitaciones promedios mensuales de las nueve estaciones, para graficar el diagrama doble masa.

ESTACIONES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
GRANJA PORCÓN	186.51	211.48	262.10	163.52	99.81	26.73	14.15	14.53	70.23	139.97	138.18	185.40
CONTUMAZÁ	88.25	165.07	219.89	100.94	22.41	4.61	1.27	1.14	8.79	24.41	28.64	47.44
LIVES	79.51	140.88	156.92	55.98	14.50	4.04	1.14	0.87	7.77	22.83	22.35	43.03
CHILETE	23.40	53.12	58.69	23.74	5.06	0.95	0.41	0.40	1.96	7.50	7.64	12.82
LLAPA	115.44	173.28	216.71	124.91	40.90	15.42	5.83	8.20	44.15	81.22	74.93	93.56
SAN PABLO	105.32	159.88	209.78	87.34	23.58	5.93	3.30	2.23	14.43	32.00	31.20	73.97
MAGDALENA	39.83	91.03	132.15	49.90	18.10	1.08	1.03	0.83	3.03	23.78	17.35	71.60
H. LLAGADÉN	76.89	88.75	73.04	52.97	12.19	3.67	0.00	1.21	3.59	20.76	31.68	48.49
WEBERBAUER	84.14	97.99	128.45	72.23	30.58	8.63	5.81	6.82	28.01	62.01	66.17	84.48
ACUMULADOS DE CADA ESTACIÓN												
GRANJA PORCÓN	185.40	323.57	463.54	533.78	548.30	562.45	589.18	688.98	852.51	1114.60	1326.08	1512.59
CONTUMAZÁ	47.44	76.07	100.48	109.27	110.41	111.69	116.29	138.70	239.64	459.53	624.60	712.84
LIVES	43.03	65.38	88.21	95.98	96.85	97.99	102.03	116.53	172.50	329.43	470.30	549.81
CHILETE	12.82	20.46	27.96	29.92	30.32	30.73	31.67	36.74	60.48	119.17	172.29	195.69
LLAPA	93.56	168.49	249.71	293.86	302.06	307.89	323.31	364.22	489.13	705.83	879.12	994.56
SAN PABLO	73.97	105.17	137.17	151.60	153.83	157.12	163.06	186.63	273.98	483.75	643.64	748.95
MAGDALENA	71.60	88.95	112.73	115.75	116.58	117.60	118.68	136.78	186.68	318.83	409.85	449.68
H. LLAGADÉN	48.49	80.16	100.93	104.51	105.73	105.73	109.39	121.58	174.55	247.59	336.34	413.23
WEBERBAUER	84.48	150.65	212.66	240.67	247.50	253.31	261.94	292.52	364.75	493.19	591.18	675.32
PROMEDIO DE LOS ACUMULADOS DE LAS ESTACIONES												
PROMEDIO DE ACUMULADOS	73.42	119.88	165.93	186.15	190.17	193.83	201.73	231.41	312.69	474.66	605.93	694.74

Tabla 37. Tabla de precipitaciones completadas de manera preliminar, con los promedios mensuales, como se aprecia, no hay ninguna variación con la data SENAMHI.

ESTACIÓN		SAN PABLO											
DEPARTAMENTO		CAJAMARCA						PROVINCIA		SAN PABLO			
TIPO		CLIMÁTICA						RADIO		5.098 KILÓMETROS			
UNIDAD		MILIMÉTROS						VARIABLE		PRECIP. MENSUAL			
Nº	AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
1	1987	105.32	159.88	209.78	87.34	23.58	5.93	3.30	2.23	14.43	32.00	31.20	73.97
2	1988	105.32	159.88	209.78	87.34	23.58	5.93	3.30	2.23	14.43	32.00	31.20	73.97
3	1989	105.32	159.88	209.78	87.34	23.58	5.93	3.30	2.23	14.43	32.00	31.20	73.97
4	1990	105.32	159.88	209.78	87.34	23.58	5.93	3.30	2.23	14.43	32.00	31.20	73.97
5	1991	105.32	159.88	209.78	87.34	23.58	5.93	3.30	2.23	14.43	32.00	31.20	73.97
6	1992	105.32	159.88	209.78	87.34	23.58	5.93	3.30	2.23	14.43	32.00	31.20	73.97
7	1993	105.32	159.88	209.78	87.34	23.58	5.93	3.30	2.23	14.43	32.00	31.20	73.97
8	1994	105.32	159.88	209.78	87.34	23.58	5.93	3.30	2.23	14.43	32.00	31.20	73.97
9	1995	105.32	159.88	209.78	87.34	23.58	5.93	3.30	2.23	14.43	32.00	31.20	73.97
10	1996	105.32	159.88	209.78	87.34	23.58	5.93	3.30	8.90	4.50	40.30	5.40	17.90
11	1997	25.20	147.00	41.40	71.20	2.40	10.20	0.00	0.00	45.20	69.10	98.30	317.60
12	1998	285.60	300.60	527.89	151.30	25.70	1.30	0.00	1.30	8.00	31.70	12.50	38.60
13	1999	120.50	303.90	96.90	85.30	53.00	22.40	23.00	0.00	46.50	12.80	14.40	51.50
14	2000	57.10	158.60	301.00	98.80	63.80	11.10	0.00	1.00	14.80	5.60	27.60	110.80
15	2001	209.90	128.90	437.90	125.10	22.10	2.40	4.10	0.00	41.30	15.40	50.60	41.80
16	2002	10.70	189.70	369.20	85.90	7.80	7.00	0.00	0.00	1.00	34.90	102.50	79.00
17	2003	48.00	124.90	91.10	69.40	11.40	14.50	0.00	0.00	9.20	4.90	16.30	50.80
18	2004	18.20	137.20	102.00	55.40	14.50	5.20	10.90	0.00	19.40	40.30	24.30	61.70
19	2005	107.40	51.60	150.80	56.10	5.10	1.10	0.00	0.00	6.70	30.90	6.00	33.60
20	2006	124.40	227.60	209.78	56.80	6.90	13.10	0.00	5.60	8.00	3.30	47.10	141.60
21	2007	157.90	22.60	227.90	88.50	21.80	2.00	3.70	5.00	2.60	44.10	33.30	36.90
22	2008	148.70	291.20	253.80	79.80	11.30	2.80	0.00	0.00	17.30	47.80	38.90	25.90
23	2009	180.50	231.30	209.10	33.40	22.90	7.70	16.80	9.20	12.40	69.20	59.20	52.50
24	2010	52.00	182.00	149.60	60.30	14.70	2.40	2.30	1.30	4.20	11.70	16.70	36.40
25	2011	85.10	71.40	101.00	145.10	1.90	0.00	6.40	0.00	21.70	2.40	16.30	106.70
26	2012	178.10	282.10	203.60	134.30	37.10	1.10	0.00	4.20	7.80	49.00	67.40	62.00
27	2013	105.32	159.88	209.78	87.34	46.20	0.90	0.00	4.80	0.00	32.00	0.70	74.90
28	2014	94.10	42.90	164.58	87.34	50.80	0.00	0.00	0.00	15.00	33.90	36.30	68.00
29	2015	133.70	76.90	321.80	87.34	23.58	5.93	3.30	2.23	14.43	32.00	31.20	73.97
30	2016	105.32	159.88	209.78	87.34	2.90	1.40	0.00	0.00	14.43	32.00	1.00	45.60
31	2017	105.32	159.88	209.78	87.34	23.58	5.93	0.00	1.80	8.20	77.70	19.80	35.10
32	2018	79.60	101.80	214.40	112.30	48.10	13.80	0.00	10.40	25.30	27.70	16.30	75.50
33	2019	72.80	236.80	186.30	63.20	24.70	4.20	1.30	0.00	4.60	46.00	17.90	117.80
34	2020	22.20	48.50	45.30	87.34	23.58	5.93	7.30	0.00	8.10	5.30	20.10	93.00
Prom.		105.32	159.88	209.78	87.34	23.58	5.93	3.30	2.23	14.43	32.00	31.20	73.97

Tabla 38. Tabla t – Student.



$r/\alpha = v$	Valores de α				
	0.1	0.05	0.025	0.01	0.005
1	3.0777	6.3138	12.7062	31.8205	63.6567
2	1.8856	2.92	4.3027	6.9646	9.9248
3	1.6377	2.3534	3.1824	4.5407	5.8409
4	1.5332	2.1318	2.7764	3.7469	4.6041
5	1.4759	2.015	2.5706	3.3649	4.0321
6	1.4398	1.9432	2.4469	3.1427	3.7074
7	1.4149	1.8946	2.3646	2.998	3.4995
8	1.3968	1.8595	2.306	2.8965	3.3554
9	1.383	1.8331	2.2622	2.8214	3.2498
10	1.3722	1.8125	2.2281	2.7638	3.1693
11	1.3634	1.7959	2.201	2.7181	3.1058
12	1.3562	1.7823	2.1788	2.681	3.0545
13	1.3502	1.7709	2.1604	2.6503	3.0123
14	1.345	1.7613	2.1448	2.6245	2.9768
15	1.3406	1.7531	2.1314	2.6025	2.9467
16	1.3368	1.7459	2.1199	2.5835	2.9208
17	1.3334	1.7396	2.1098	2.5669	2.8982
18	1.3304	1.7341	2.1009	2.5524	2.8784
19	1.3277	1.7291	2.093	2.5395	2.8609
20	1.3253	1.7247	2.086	2.528	2.8453
21	1.3232	1.7207	2.0796	2.5176	2.8314
22	1.3212	1.7171	2.0739	2.5083	2.8188
23	1.3195	1.7139	2.0687	2.4999	2.8073
24	1.3178	1.7109	2.0639	2.4922	2.7969
25	1.3163	1.7081	2.0595	2.4851	2.7874
26	1.315	1.7056	2.0555	2.4786	2.7787
27	1.3137	1.7033	2.0518	2.4727	2.7707
28	1.3125	1.7011	2.0484	2.4671	2.7633
29	1.3114	1.6991	2.0452	2.462	2.7564
30	1.3104	1.6973	2.0423	2.4573	2.75
31	1.3095	1.6955	2.0395	2.4528	2.744
32	1.3086	1.6939	2.0369	2.4487	2.7385
33	1.3077	1.6924	2.0345	2.4448	2.7333
34	1.307	1.6909	2.0322	2.4411	2.7284
35	1.3062	1.6896	2.0301	2.4377	2.7238
40	1.3031	1.6839	2.0211	2.4233	2.7045
50	1.2987	1.6759	2.0086	2.4033	2.6778
60	1.2958	1.6706	2.0003	2.3901	2.6603
100	1.2901	1.6602	1.984	2.3642	2.6259
200	1.2858	1.6525	1.9719	2.3451	2.6006
500	1.2832	1.6479	1.9647	2.3338	2.5857

Tabla 39. Precipitaciones medias anuales de las nueve estaciones meteorológicas.

VALOR PORCENTUAL DE ESTACIONES INCOMPLETAS, CON RESPECTO A LAS ESTACIONES BASE										
N°	AÑO	LIVES	CHILETE	LLAPA	SAN PABLO	PORCÓN	MAGDALENA	LLAGADÉN	WEBERBAUER	CONTUMAZÁ
1	1987	62.13	82.75	40.65	-	96.74	-	60.75	53.96	86.65
2	1988	72.92	61.30	39.52	-	97.14	-	61.83	42.00	30.08
3	1989	22.19	66.62	-41.04	-	64.49	-	-146.39	9.65	65.71
4	1990	70.59	50.64	30.94	-	96.38	-	70.63	47.51	26.53
5	1991	84.98	65.67	64.93	-	184.97	-	90.31	77.14	44.33
6	1992	56.83	75.19	35.25	-	99.92	-	78.36	64.71	43.16
7	1993	66.52	65.32	43.97	-	180.84	-	89.69	59.79	84.68
8	1994	76.83	60.53	64.75	-	227.22	-	75.62	69.73	45.94
9	1995	66.88	56.81	40.50	-	121.72	-	71.94	64.75	40.90
10	1996	69.39	61.42	41.88	88.53	134.22	-	44.36	63.77	47.84
11	1997	59.19	75.83	50.42	53.13	147.15	-	-	63.55	67.03
12	1998	2.91	77.49	22.78	20.94	145.93	-	-	56.30	130.06
13	1999	62.44	70.52	32.64	52.00	144.13	-	-	52.55	72.88
14	2000	61.59	86.17	16.24	37.62	113.58	-	-	47.41	82.25
15	2001	58.14	78.30	25.86	41.49	153.76	-	-	50.76	92.85
16	2002	61.69	86.40	29.15	45.29	135.23	-	-	60.92	70.66
17	2003	69.33	89.98	23.63	55.08	81.73	-	-	46.07	35.08
18	2004	79.89	94.21	38.07	63.31	111.08	-	-	53.04	33.83
19	2005	82.51	53.94	45.36	67.55	115.39	-	-	57.66	22.65
20	2006	56.73	56.43	23.05	54.11	125.68	-	-	54.27	72.33
21	2007	72.20	70.34	33.31	58.93	131.13	-	-	52.36	52.32
22	2008	47.68	64.58	27.52	41.85	131.49	-	-	52.53	79.56
23	2009	69.90	72.05	32.78	50.26	151.48	-	-	56.27	74.83
24	2010	68.66	71.09	30.20	59.23	109.06	-	-	50.75	45.17
25	2011	75.01	75.01	-	62.96	125.53	-	-	59.16	36.74
26	2012	56.02	68.33	-	37.46	136.80	-	-	49.85	70.42
27	2013	67.10	67.98	-	86.31	133.08	-	-	55.28	54.11
28	2014	49.51	67.81	-	54.99	102.11	-	-	50.09	44.58
29	2015	-	-	58.01	-47.55	120.28	-	-	47.35	60.64
30	2016	83.58	85.30	21.80	90.66	90.86	-	-	52.14	41.63
31	2017	36.24	95.39	29.41	82.43	135.29	66.09	-	53.33	125.28
32	2018	73.38	66.05	31.06	49.84	120.48	68.03	-	49.62	45.21
33	2019	64.53	51.42	-60.49	49.49	127.96	64.88	-	47.85	63.22
34	2020	82.69	66.28	-	70.11	92.87	77.85	-	55.80	30.62
OBSERV.	> 10 %	E. BASE	> 10 %	E. BASE	> 10 %	> 10 %	> 10 %	> 10 %	> 10 %	> 10 %

Tabla 40. Valores críticos de Δ_0 del estadístico Smirnov – Kolmogorov Δ , para varios valores de N y niveles de significación α .

TAMAÑO MUESTRAL N	NIVEL DE SIGNIFICANCIA α				
	0.20	0.15	0.10	0.05	0.01
1	0.900	0.925	0.950	0.975	0.995
2	0.684	0.726	0.776	0.842	0.929
3	0.565	0.597	0.642	0.708	0.828
4	0.494	0.525	0.564	0.624	0.733
5	0.446	0.474	0.510	0.565	0.669
6	0.410	0.436	0.470	0.521	0.618
7	0.381	0.405	0.438	0.486	0.577
8	0.358	0.381	0.411	0.457	0.543
9	0.339	0.360	0.388	0.432	0.514
10	0.322	0.342	0.368	0.410	0.490
11	0.307	0.326	0.352	0.391	0.468
12	0.295	0.313	0.338	0.375	0.450
13	0.284	0.302	0.325	0.361	0.433
14	0.274	0.292	0.314	0.349	0.418
15	0.266	0.283	0.304	0.338	0.404
16	0.258	0.274	0.295	0.328	0.392
17	0.250	0.266	0.286	0.318	0.381
18	0.244	0.259	0.278	0.309	0.371
19	0.237	0.252	0.272	0.301	0.363
20	0.231	0.246	0.264	0.294	0.356
25	0.210	0.220	0.240	0.270	0.320
30	0.190	0.200	0.220	0.240	0.290
35	0.180	0.190	0.210	0.230	0.270
N > 35	$\frac{1.07}{\sqrt{N}}$	$\frac{1.14}{\sqrt{N}}$	$\frac{1.22}{\sqrt{N}}$	$\frac{1.36}{\sqrt{N}}$	$\frac{1.63}{\sqrt{N}}$

Fuente: Villón, M. 2006

Tabla 41. Precipitaciones mensuales con información completada mediante el método de la regresión normalizada - LIVES.

ESTACIÓN		LIVES											
DEPARTAMENTO		CAJAMARCA						PROVINCIA		SAN MIGUEL			
TIPO		CLIMÁTICA						RADIO		27.5 KILÓMETROS			
UNIDAD		MILIMÉTROS						VARIABLE		PRECIP. MENSUAL			
N°	AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
1	1987	209.40	105.40	65.50	0.04	0.00	0.04	4.64	2.12	13.93	5.32	31.21	2.03
2	1988	99.64	76.66	27.07	70.11	1.83	0.05	0.00	0.00	11.16	10.76	13.95	4.39
3	1989	75.79	293.12	89.35	78.21	4.61	1.56	0.02	5.04	9.70	34.75	10.00	0.00
4	1990	27.50	52.10	76.20	17.60	2.00	29.20	0.00	0.00	8.00	48.70	49.50	29.30
5	1991	0.00	48.12	82.30	45.40	17.51	0.00	0.00	0.00	11.20	56.50	45.30	27.11
6	1992	61.60	73.11	166.33	97.01	40.61	6.50	0.00	0.00	7.50	31.10	21.20	12.60
7	1993	72.20	238.40	237.00	57.30	34.20	0.00	0.70	1.10	4.10	30.90	24.40	26.30
8	1994	71.20	144.10	197.40	95.10	11.80	10.70	2.50	0.00	7.30	5.30	35.30	51.00
9	1995	102.40	122.40	71.60	40.00	6.60	9.10	1.10	0.00	8.70	22.20	8.10	91.50
10	1996	74.30	180.10	136.90	40.20	0.60	0.00	0.00	5.80	0.40	31.00	7.90	15.80
11	1997	15.10	128.20	48.70	54.40	1.80	14.30	0.00	0.00	20.10	38.10	82.40	317.60
12	1998	337.20	534.30	561.30	139.30	17.20	0.00	0.00	0.80	9.20	37.50	9.30	54.20
13	1999	105.30	261.30	95.50	55.20	31.00	13.00	5.30	0.00	13.00	4.90	6.90	58.30
14	2000	24.30	127.50	163.40	50.20	39.00	10.90	0.00	0.00	3.10	0.00	16.10	89.00
15	2001	94.00	91.50	390.70	86.90	37.20	1.80	0.00	0.00	24.50	5.00	22.50	18.30
16	2002	20.00	162.00	217.90	79.60	17.90	0.00	0.60	0.00	2.70	21.20	65.40	34.30
17	2003	60.00	83.00	49.90	32.60	7.20	4.50	0.00	0.00	13.40	2.40	21.40	26.40
18	2004	19.30	67.70	84.70	5.70	13.80	3.60	1.20	0.90	6.60	19.30	13.00	32.30
19	2005	37.10	53.60	102.20	17.00	0.60	0.00	0.00	0.00	0.90	12.80	3.60	14.40
20	2006	103.50	156.90	263.80	24.70	2.30	5.50	0.00	7.40	2.00	0.50	20.80	65.20
21	2007	107.60	18.50	173.40	46.10	5.10	0.00	0.00	0.60	1.10	35.30	32.50	17.30
22	2008	110.80	236.20	264.00	136.00	3.10	0.00	0.00	0.70	9.00	20.40	36.20	9.20
23	2009	168.00	163.80	120.30	14.20	14.20	4.80	0.80	0.00	0.60	20.60	29.00	10.80
24	2010	20.80	148.90	115.40	68.90	9.30	0.00	0.00	0.60	2.30	14.50	7.00	22.40
25	2011	50.90	71.80	52.90	95.60	3.10	0.00	5.20	0.00	9.00	6.40	6.70	74.80
26	2012	115.60	200.10	191.60	72.10	8.10	2.10	0.00	0.00	5.40	30.70	37.10	59.10
27	2013	61.50	95.30	253.40	9.60	55.90	1.30	2.00	1.50	1.10	21.20	0.00	22.60
28	2014	58.90	44.20	140.02	55.97	22.87	2.03	0.57	0.43	7.92	23.51	24.17	41.30
29	2015	90.21	104.31	198.82	55.97	14.50	4.04	1.14	0.87	7.77	22.83	22.35	43.03
30	2016	79.50	140.87	65.40	52.60	0.10	4.40	0.20	0.00	1.10	5.20	1.80	18.40
31	2017	94.60	276.30	448.70	48.60	19.00	1.40	0.00	1.30	9.00	84.70	5.20	46.30
32	2018	79.70	73.30	62.40	53.30	27.50	1.50	0.60	0.00	5.60	27.40	9.00	44.60
33	2019	54.00	161.90	102.90	65.80	17.90	1.50	2.20	0.00	19.20	23.10	20.00	76.10
34	2020	12.00	18.20	43.40	41.90	13.00	1.40	9.40	0.00	11.49	2.35	12.02	5.40
Prom.		79.82	139.80	157.66	55.98	14.75	3.98	1.12	0.86	7.88	22.25	22.10	42.98
Prom. Antes		79.51	140.88	156.92	55.98	14.5 0	4.04	1.14	0.87	7.77	22.83	22.35	43.03

Tabla 42. Precipitaciones mensuales con información completada mediante el método de la regresión normalizada - CHILETE.

ESTACIÓN		CHILETE												
DEPARTAMENTO		CAJAMARCA						PROVINCIA		CONTUMAZÁ				
TIPO		CLIMÁTICA						RADIO		15.39 KILÓMETROS				
UNIDAD		MILIMÉTROS						VARIABLE		PRECIP. MENSUAL				
N°	AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	
1	1987	45.00	62.80	12.60	26.90	0.00	0.90	5.60	12.10	1.60	0.00	11.90	0.00	
2	1988	40.20	22.50	11.80	42.90	3.50	1.20	0.00	0.00	0.00	8.10	7.10	2.40	
3	1989	41.10	85.60	42.90	44.00	12.00	0.00	0.00	0.00	7.90	25.40	4.30	0.00	
4	1990	30.90	33.30	28.40	7.30	3.90	8.60	0.00	0.00	0.00	20.30	20.70	3.70	
5	1991	0.00	32.30	57.50	29.60	4.40	0.00	0.00	0.00	0.00	14.90	25.60	18.30	
6	1992	20.40	14.00	33.80	24.20	14.40	8.40	0.00	0.00	1.50	8.50	0.00	3.30	
7	1993	24.90	78.70	131.40	44.30	6.20	0.00	0.00	0.00	5.20	21.70	9.20	30.80	
8	1994	20.30	53.30	88.90	21.00	3.60	1.40	0.00	0.00	1.20	0.00	7.00	20.90	
9	1995	28.90	89.80	34.40	15.80	6.80	0.00	0.50	0.00	0.00	2.90	2.20	30.70	
10	1996	42.90	46.70	92.80	29.60	0.00	0.00	0.00	0.00	0.70	5.20	0.00	3.60	
11	1997	0.00	50.20	18.40	6.20	0.00	0.00	0.00	0.00	13.80	12.00	34.10	59.70	
12	1998	70.30	109.90	142.20	28.90	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
13	1999	29.70	147.70	9.50	17.40	23.60	8.30	0.00	0.00	4.60	0.00	3.20	13.80	
14	2000	0.00	53.00	56.00	10.50	7.60	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	9.40	
15	2001	34.60	30.20	146.90	12.70	0.00	0.00	0.00	0.00	7.50	0.00	4.20	5.70	
16	2002	2.10	25.60	42.00	15.90	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	22.00	7.70	
17	2003	5.50	9.60	16.30	1.40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	9.40	
18	2004	0.00	13.70	4.20	2.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.30	0.00	3.20	
19	2005	23.40	10.30	63.40	11.40	0.00	0.00	0.00	0.00	3.70	3.90	3.70	5.40	
20	2006	42.40	76.50	194.30	31.60	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	9.50	23.90	
21	2007	31.10	16.70	76.50	31.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	14.60	10.90	4.90	
22	2008	42.80	131.50	79.90	34.30	1.40	0.00	0.00	0.00	7.70	12.50	28.10	0.00	
23	2009	86.50	80.50	48.40	8.70	14.20	0.00	0.00	0.00	0.00	8.70	4.00	0.00	
24	2010	0.00	104.10	14.70	16.70	5.50	0.00	0.00	0.00	0.00	2.30	13.40	0.00	
25	2011	1.40	18.90	29.50	49.40	0.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.50	12.82	
26	2012	31.10	79.30	102.00	22.80	6.70	0.00	0.00	0.00	0.00	16.90	6.50	2.30	
27	2013	9.30	28.00	103.10	0.00	13.70	0.00	0.00	0.40	0.00	12.70	0.00	23.80	
28	2014	2.80	25.90	58.69	23.74	5.06	0.95	0.41	0.40	1.96	7.50	7.64	12.82	
29	2015	23.40	53.12	58.69	23.74	5.06	0.95	0.41	0.40	1.96	7.50	7.64	12.82	
30	2016	23.40	53.12	37.50	23.70	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
31	2017	0.00	0.00	0.00	23.74	5.06	0.95	0.41	0.40	0.00	32.50	2.30	5.60	
32	2018	15.50	23.20	48.60	40.90	19.00	0.30	0.10	0.00	2.00	9.20	2.80	22.60	
33	2019	7.90	141.70	94.50	50.60	5.60	0.20	0.00	0.00	0.70	7.00	7.00	53.30	
34	2020	17.90	4.40	15.70	33.70	4.50	0.00	6.40	0.00	4.70	0.30	3.30	33.00	
Prom.		23.40	53.12	58.69	23.74	5.06	0.95	0.41	0.40	1.96	7.50	7.64	12.82	

Tabla 43. Precipitaciones mensuales con información completada mediante el método de la regresión normalizada - LLAPA.

ESTACIÓN		LLAPA											
DEPARTAMENTO		CAJAMARCA						PROVINCIA		SAN MIGUEL			
TIPO		CLIMÁTICA						RADIO		12.75 KILÓMETROS			
UNIDAD		MILIMÉTROS						VARIABLE		PRECIP. MENSUAL			
N°	AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
1	1987	185.80	101.80	57.90	127.50	0.00	0.00	10.10	40.30	19.80	40.61	56.70	31.70
2	1988	43.20	140.40	53.90	207.90	31.60	19.00	7.10	10.80	11.80	114.40	63.70	1.20
3	1989	93.70	274.10	240.20	224.00	19.30	18.20	0.00	3.00	37.50	142.60	33.80	5.10
4	1990	87.90	146.80	84.10	78.20	32.20	37.40	0.00	0.00	27.90	107.00	123.80	73.50
5	1991	33.50	108.90	221.40	110.50	45.60	9.10	0.00	0.00	5.40	72.20	58.10	113.80
6	1992	122.50	48.00	152.60	88.00	49.40	41.60	0.00	5.00	75.60	119.00	22.00	52.70
7	1993	110.80	162.60	278.60	142.80	73.70	0.00	8.00	2.20	72.60	123.40	69.10	172.20
8	1994	150.60	177.00	143.30	163.80	48.90	10.10	3.50	0.00	34.50	16.60	109.00	103.80
9	1995	94.20	134.90	155.60	91.30	45.60	12.80	20.20	25.20	44.30	65.30	67.40	112.30
10	1996	151.60	224.30	244.50	62.80	23.30	3.00	2.00	6.90	32.10	105.10	41.80	38.70
11	1997	44.40	174.10	66.10	96.10	14.20	19.50	0.00	5.90	57.10	49.40	149.10	199.60
12	1998	209.30	297.10	322.00	202.50	27.10	11.60	3.20	9.30	34.20	111.90	22.10	101.90
13	1999	151.40	313.60	147.40	89.10	61.00	46.80	10.90	4.10	123.30	58.10	37.20	122.10
14	2000	45.80	205.70	320.20	133.90	83.80	15.80	0.70	22.80	57.20	41.80	53.30	160.60
15	2001	238.80	152.00	439.40	122.80	49.30	5.80	9.10	0.00	106.70	58.20	91.30	94.50
16	2002	63.70	157.70	245.80	197.40	15.90	27.50	4.10	0.50	61.50	116.70	131.90	127.00
17	2003	119.80	86.80	149.00	61.70	40.40	41.10	0.00	5.10	44.70	56.10	77.10	67.20
18	2004	19.80	189.20	113.60	85.50	58.20	4.20	21.80	3.30	78.70	86.20	61.20	103.70
19	2005	98.60	104.00	251.60	39.00	10.40	4.50	1.20	9.30	21.60	70.10	36.90	109.40
20	2006	162.70	170.50	347.80	78.80	21.40	25.80	4.40	17.70	40.80	23.30	104.20	163.10
21	2007	175.30	57.10	317.60	185.40	61.40	0.80	3.80	2.70	6.30	86.70	107.10	45.10
22	2008	132.10	255.40	219.60	145.30	35.20	13.10	5.00	18.20	65.00	129.90	93.30	31.60
23	2009	226.90	160.10	232.90	147.50	61.20	24.90	12.70	13.70	15.30	74.80	161.90	89.90
24	2010	47.30	137.80	289.40	103.20	38.70	13.20	19.10	3.40	53.50	36.50	44.30	127.10
25	2011	50.09	69.52	106.63	233.71	2.86	0.00	5.65	0.00	33.21	3.05	26.93	114.26
26	2012	174.32	282.21	293.47	156.01	59.26	1.43	0.00	7.73	11.94	153.73	112.80	47.60
27	2013	80.66	132.31	298.70	62.45	95.44	1.17	0.00	12.90	0.00	109.40	0.84	134.22
28	2014	58.48	65.49	193.36	124.90	64.51	7.75	2.94	4.07	45.00	83.65	81.05	89.79
29	2015	130.99	128.31	274.57	124.90	40.90	2.70	7.10	0.80	18.10	142.90	135.40	46.50
30	2016	107.50	198.20	211.40	121.70	8.30	19.60	6.00	1.40	21.50	32.30	11.80	112.90
31	2017	133.90	190.40	349.60	140.90	54.60	0.80	0.20	18.10	24.60	74.30	62.70	95.90
32	2018	112.20	189.60	159.10	125.00	93.70	2.90	2.90	0.00	44.70	78.10	71.90	116.50
33	2019	69.10	293.80	253.20	178.30	44.05	7.09	1.15	0.00	14.91	96.29	55.82	268.99
34	2020	56.32	33.46	52.38	151.11	38.64	7.71	52.27	0.00	65.27	8.35	40.32	179.23
Prom.		111.27	163.62	214.32	129.53	42.65	13.44	6.62	7.48	41.37	79.06	71.05	101.58
Prom. Antes		115.44	173.28	216.71	124.91	40.90	15.42	5.83	8.20	44.15	81.22	74.93	93.56

Tabla 44. Precipitaciones mensuales con información completada de, mediante el método de la regresión normalizada – Estación MAGDALENA.

ESTACIÓN		MAGDALENA											
DEPARTAMENTO		CAJAMARCA						PROVINCIA		CAJAMARCA			
TIPO		CLIMÁTICA						RADIO		23.61 KILÓMETROS			
UNIDAD		MILIMÉTROS						VARIABLE		PRECIP. MENSUAL			
N°	AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
1	1987	58.20	99.32	80.26	53.22	9.05	1.05	7.57	12.80	2.75	11.89	22.19	35.80
2	1988	54.12	64.79	79.36	70.03	15.31	1.22	0.51	0.41	1.51	24.73	16.74	42.50
3	1989	54.88	118.85	114.37	71.19	30.51	0.54	0.51	0.41	7.60	52.16	13.56	35.80
4	1990	46.20	74.04	98.05	32.62	16.02	5.43	0.51	0.41	1.51	44.08	32.18	46.13
5	1991	19.91	73.19	130.81	56.06	16.92	0.54	0.51	0.41	1.51	35.51	37.74	86.91
6	1992	37.27	57.51	104.13	50.38	34.80	5.31	0.51	0.41	2.67	25.37	8.67	45.02
7	1993	41.10	112.94	214.01	71.50	20.14	0.54	0.51	0.41	5.52	46.30	19.12	121.81
8	1994	37.18	91.18	166.16	47.02	15.49	1.33	0.51	0.41	2.44	11.89	16.62	94.17
9	1995	44.50	122.45	104.80	41.55	21.21	0.54	1.14	0.41	1.51	16.49	11.17	121.54
10	1996	56.41	85.52	170.55	56.06	9.05	0.54	0.51	1.65	1.01	23.22	1.50	18.72
11	1997	4.76	84.86	33.76	26.85	0.92	0.92	0.00	0.00	15.38	44.70	66.05	320.44
12	1998	113.81	179.73	326.36	73.59	9.86	0.12	0.00	0.24	0.84	11.78	3.48	18.68
13	1999	48.05	213.05	41.22	42.65	62.54	6.75	3.58	0.00	8.42	4.76	7.64	63.46
14	2000	10.80	90.56	157.85	39.26	38.08	1.01	0.00	0.19	1.55	2.08	7.67	79.88
15	2001	69.12	62.57	303.31	49.08	8.48	0.22	0.64	0.00	10.11	5.72	18.84	36.15
16	2002	3.81	75.93	163.57	41.25	2.99	0.63	0.00	0.00	0.10	12.96	53.48	59.74
17	2003	13.75	43.78	47.05	21.30	4.38	1.31	0.00	0.00	0.96	1.82	4.53	50.84
18	2004	3.44	50.79	36.86	18.03	5.57	0.47	1.69	0.00	2.03	15.45	6.76	38.80
19	2005	40.22	23.51	118.88	28.01	1.96	0.10	0.00	0.00	3.55	17.66	5.87	31.34
20	2006	59.60	130.33	284.82	49.43	2.65	1.19	0.00	1.04	0.84	1.23	23.88	135.28
21	2007	56.32	20.74	157.91	58.38	8.37	0.18	0.58	0.93	0.27	39.53	21.63	31.54
22	2008	64.53	195.56	169.89	58.84	6.84	0.25	0.00	0.00	7.75	37.58	42.72	12.54
23	2009	107.73	134.81	120.35	18.68	34.18	0.70	2.61	1.70	1.30	39.50	21.00	25.41
24	2010	9.83	141.00	63.67	34.78	15.48	0.22	0.36	0.24	0.44	7.99	19.86	17.62
25	2011	17.28	36.52	65.02	93.36	1.27	0.00	0.99	0.00	2.27	0.89	6.23	87.44
26	2012	60.13	148.25	178.96	62.32	26.22	0.10	0.00	0.78	0.82	45.00	26.12	36.43
27	2013	27.83	69.50	182.15	24.95	42.23	0.08	0.00	1.30	0.00	32.02	0.19	102.72
28	2014	20.17	34.40	117.91	49.90	28.55	0.54	0.52	0.41	3.08	24.49	18.77	68.71
29	2015	45.19	67.40	167.43	49.90	18.10	1.08	1.03	0.82	3.02	23.78	17.35	71.60
30	2016	39.82	91.02	108.29	49.86	1.11	0.13	0.00	0.00	1.51	11.89	0.28	22.07
31	2017	66.90	65.30	264.90	55.70	10.00	0.00	0.00	3.30	2.40	31.70	7.80	42.50
32	2018	51.80	91.50	95.90	43.10	41.60	4.10	0.00	0.00	2.80	24.50	41.10	65.80
33	2019	23.40	182.50	126.30	50.30	10.00	0.20	1.40	0.00	0.60	31.70	13.00	99.80
34	2020	17.20	24.80	41.50	50.50	10.80	0.00	2.70	0.00	6.30	7.20	7.50	78.30
Prom.		41.92	92.89	136.36	48.22	17.08	1.10	0.85	0.84	3.07	22.57	18.27	66.04
Prom. Antes		39.83	91.03	132.15	49.90	18.10	1.08	1.03	0.83	3.03	23.78	17.35	71.60

Tabla 45. Precipitaciones mensuales con información completada de, mediante el método de la regresión normalizada – HACIENDA LLAGADÉN (MAGDALENA).

ESTACIÓN		HACIENDA LLAGADÉN - MAGDALENA											
DEPARTAMENTO		CAJAMARCA						PROVINCIA		CAJAMARCA			
TIPO		CLIMÁTICA						RADIO		30.11 KILÓMETROS			
UNIDAD		MILIMÉTROS						VARIABLE		PRECIP. MENSUAL			
N°	AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
1	1987	190.10	76.30	25.00	85.60	0.00	0.00	0.00	9.70	0.00	7.60	37.20	24.20
2	1988	113.70	112.50	29.30	74.70	4.80	4.40	0.00	0.00	0.00	27.40	62.30	15.80
3	1989	128.60	189.20	63.22	75.56	20.54	1.83	0.00	0.61	9.02	45.55	24.75	24.24
4	1990	59.90	75.40	82.20	24.80	15.50	11.50	0.00	0.00	0.00	14.30	31.00	25.10
5	1991	11.20	32.70	49.80	16.20	10.00	0.00	0.00	0.00	0.00	17.30	25.90	51.90
6	1992	51.90	30.20	51.10	50.80	59.50	16.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
7	1993	0.00	0.00	0.00	0.00	7.30	0.00	0.00	0.00	25.90	69.30	41.20	80.10
8	1994	77.40	144.90	176.90	86.90	7.60	0.00	0.00	0.00	0.00	1.10	33.30	136.60
9	1995	51.00	104.20	70.70	71.30	2.90	1.10	0.00	0.00	2.80	29.10	22.50	54.20
10	1996	85.10	122.10	172.40	66.40	2.10	0.00	0.00	2.42	1.20	20.27	2.74	12.68
11	1997	9.20	82.73	18.66	28.50	0.62	3.15	0.00	0.00	18.23	39.03	120.58	217.00
12	1998	219.74	175.24	180.39	78.11	6.64	0.40	0.00	0.35	0.99	10.28	6.34	12.65
13	1999	92.78	207.73	22.78	45.27	42.12	23.02	0.00	0.00	9.99	4.15	13.94	42.98
14	2000	20.84	88.29	87.25	41.67	25.64	3.43	0.00	0.27	1.84	1.82	14.01	54.09
15	2001	133.46	61.00	167.65	52.10	5.71	0.74	0.00	0.00	11.99	5.00	34.39	24.48
16	2002	7.36	74.04	90.41	43.78	2.02	2.16	0.00	0.00	0.12	11.32	97.63	40.46
17	2003	26.56	42.69	26.00	22.60	2.95	4.48	0.00	0.00	1.14	1.59	8.27	34.43
18	2004	6.64	49.52	20.37	19.14	3.75	1.61	0.00	0.00	2.41	13.49	12.33	26.27
19	2005	77.64	22.93	65.71	29.73	1.32	0.34	0.00	0.00	4.22	15.42	10.71	21.23
20	2006	115.06	127.07	157.43	52.47	1.78	4.05	0.00	1.52	0.99	1.07	43.60	91.61
21	2007	108.73	20.22	87.28	61.97	5.63	0.62	0.00	1.36	0.32	34.52	39.50	21.36
22	2008	124.59	190.67	93.91	62.46	4.61	0.87	0.00	0.00	9.19	32.82	77.99	8.49
23	2009	207.99	131.44	66.52	19.83	23.02	2.38	0.00	2.50	1.54	34.50	38.34	17.21
24	2010	18.98	137.47	35.19	36.91	10.42	0.74	0.00	0.35	0.52	6.98	36.25	11.93
25	2011	33.36	35.61	35.94	99.10	0.85	0.00	0.00	0.00	2.70	0.78	11.38	59.22
26	2012	116.10	144.54	98.92	66.15	17.66	0.34	0.00	1.14	0.97	39.30	47.68	24.67
27	2013	53.72	67.76	100.68	26.48	28.44	0.28	0.00	1.91	0.00	27.97	0.36	69.56
28	2014	38.95	33.54	65.17	52.96	19.22	1.84	0.00	0.60	3.66	21.38	34.26	46.53
29	2015	87.25	65.72	92.55	52.96	12.19	3.67	0.00	1.21	3.59	20.77	31.67	48.49
30	2016	76.89	88.75	59.86	52.92	0.75	0.43	0.00	0.00	1.79	10.38	0.51	14.95
31	2017	38.45	44.37	36.52	52.96	12.19	3.67	0.00	1.09	1.02	70.21	14.82	22.10
32	2018	54.52	47.63	67.57	79.67	35.31	4.85	0.00	2.83	4.97	21.73	14.08	67.49
33	2019	39.55	184.09	91.24	75.61	13.13	1.69	0.00	0.00	1.21	24.62	23.60	139.41
34	2020	37.51	17.14	17.66	64.07	11.51	1.83	0.00	0.00	5.30	2.13	17.04	92.89
Prom.		73.96	89.05	73.71	52.05	12.29	2.98	0.00	0.82	3.75	20.09	30.30	48.07
Prom. Antes		76.89	88.75	73.04	52.97	12.19	3.67	0.00	1.21	3.59	20.76	31.68	48.49

Tabla 46. Precipitaciones mensuales con información completada de, mediante el método de la regresión normalizada – WEBERBAUER.

ESTACIÓN		WEBERBAUER											
DEPARTAMENTO		CAJAMARCA						PROVINCIA		CAJAMARCA			
TIPO		CLIMÁTICA						RADIO		34.12 KILÓMETROS			
UNIDAD		MILIMÉTROS						VARIABLE		PRECIP. MENSUAL			
N°	AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
1	1987	98.20	95.20	39.20	52.20	11.10	4.00	10.80	12.30	39.50	37.20	74.30	60.50
2	1988	109.70	105.50	44.80	95.60	10.60	5.40	0.00	32.90	69.40	65.20	63.40	73.60
3	1989	87.00	158.80	113.50	85.40	18.80	16.70	3.20	5.90	53.50	106.60	47.10	2.70
4	1990	101.80	68.50	58.30	27.40	39.50	24.60	0.80	7.10	20.10	87.60	99.10	72.30
5	1991	43.80	90.00	133.70	55.20	17.90	0.70	0.40	0.30	10.20	28.20	55.10	71.90
6	1992	52.60	31.80	66.60	46.50	18.90	21.20	4.60	10.00	40.80	64.00	32.00	34.10
7	1993	61.00	112.20	245.00	102.90	30.20	1.90	3.30	2.90	51.40	106.30	71.40	84.10
8	1994	116.90	103.10	170.20	144.90	35.30	3.30	0.00	0.20	11.90	27.20	89.80	122.60
9	1995	44.70	108.30	75.70	49.70	20.60	1.70	13.20	10.80	11.50	51.80	50.50	76.40
10	1996	65.20	124.00	120.10	50.40	13.70	0.80	0.50	15.80	13.90	76.20	68.80	34.10
11	1997	63.80	152.90	26.50	40.40	17.00	15.40	0.20	0.00	27.40	50.80	119.90	129.40
12	1998	103.00	116.50	257.00	83.90	19.60	4.80	1.30	4.70	17.80	79.60	29.10	47.90
13	1999	94.80	242.70	69.50	65.00	53.70	22.80	22.10	1.20	81.40	21.70	77.00	68.80
14	2000	46.00	162.30	126.30	77.30	40.50	15.60	2.10	13.40	56.60	9.90	44.50	122.30
15	2001	191.20	100.80	230.20	57.20	48.10	2.30	13.90	0.00	34.40	46.20	93.40	90.90
16	2002	27.00	60.00	133.10	77.20	23.00	8.80	10.70	3.40	14.60	90.30	99.90	86.10
17	2003	51.10	61.40	103.60	42.10	30.70	22.30	1.80	10.60	14.80	46.00	63.80	80.70
18	2004	36.10	102.00	56.90	44.50	42.40	2.10	13.80	29.40	19.00	63.40	92.60	123.70
19	2005	84.90	53.70	136.60	54.00	7.20	4.50	0.60	3.50	31.20	92.30	30.00	87.80
20	2006	83.20	101.60	199.30	77.60	7.70	23.90	1.80	6.10	33.60	12.70	60.40	81.70
21	2007	95.40	17.50	182.40	111.50	29.00	1.40	10.74	6.40	11.60	117.20	97.60	68.80
22	2008	80.20	133.30	118.40	99.10	22.70	15.45	2.30	11.70	34.70	96.50	72.20	14.79
23	2009	180.70	74.60	110.50	78.80	42.20	17.90	12.30	3.90	11.80	78.50	109.40	74.22
24	2010	49.50	112.90	154.00	88.40	31.64	8.60	2.60	1.30	28.90	43.40	52.50	70.80
25	2011	76.60	73.30	125.20	102.00	16.70	0.41	8.30	0.00	47.10	31.50	24.41	109.70
26	2012	154.20	134.70	126.40	72.80	51.50	0.21	0.00	2.50	19.10	83.20	120.30	58.30
27	2013	61.50	98.01	213.60	73.81	61.73	7.50	5.70	8.93	3.70	110.70	17.00	51.91
28	2014	74.70	62.41	143.20	78.82	26.92	5.00	2.00	3.91	27.71	26.32	45.70	114.90
29	2015	184.70	55.40	202.20	63.00	75.82	3.00	4.40	0.10	27.80	16.81	66.17	84.48
30	2016	82.90	85.30	121.30	56.20	7.00	1.60	2.10	1.10	25.10	60.00	16.10	63.10
31	2017	77.50	71.90	138.70	78.60	50.00	1.00	2.30	20.90	20.20	65.30	63.20	168.10
32	2018	99.00	125.70	117.30	72.90	50.10	10.80	0.50	0.00	24.40	61.60	97.40	68.70
33	2019	43.70	104.10	172.70	78.10	37.40	9.10	11.70	0.00	7.60	121.00	52.60	162.70
34	2020	38.20	31.20	35.20	87.37	28.89	4.31	27.60	0.70	9.70	33.20	53.20	140.40
Prom.		84.14	97.99	128.45	72.67	30.53	8.50	5.81	6.82	28.01	62.01	66.17	82.43
Prom. Antes		84.14	97.99	128.45	72.23	30.58	8.63	5.81	6.82	28.01	62.01	66.17	84.48

Tabla 47. Distribución de F de Fisher A.

V1	V1: grados de libertad del numerador					V2: grados de libertad del denominad.					1-a = 0.95 / 1- a = P (F <= fa,v1,v2)				
V2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	161.446	199.499	215.707	224.583	230.160	233.988	236.767	238.884	240.543	241.882	242.981	243.905	244.690	245.363	245.949
2	18.513	19	19.164	19.247	19.296	19.329	19.353	19.371	19.385	19.396	19.405	19.412	19.419	19.424	19.429
3	10.128	9.552	9.277	9.117	9.013	8.941	8.887	8.845	8.812	8.785	8.763	8.745	8.729	8.715	8.703
4	7.709	6.944	6.591	6.388	6.256	6.163	6.094	6.041	5.999	5.964	5.936	5.912	5.891	5.873	5.858
5	6.608	5.786	5.409	5.192	5.050	4.95	4.876	4.818	4.772	4.735	4.704	4.678	4.655	4.636	4.619
6	5.987	5.143	4.757	4.534	4.387	4.284	4.207	4.147	4.099	4.06	4.027	4	3.976	3.956	3.938
7	5.591	4.737	4.347	4.12	3.972	3.866	3.787	3.726	3.677	3.637	3.603	3.575	3.550	3.529	3.511
8	5.318	4.459	4.066	3.838	3.688	3.581	3.5	3.438	3.388	3.347	3.313	3.284	3.259	3.233	3.218
9	5.117	4.256	3.863	3.633	3.482	3.374	3.293	3.23	3.179	3.137	3.102	3.073	3.048	3.025	3.006
10	4.965	4.103	3.708	3.478	3.326	3.217	3.135	3.072	3.02	2.978	2.943	2.913	2.887	2.865	2.845
11	4.844	3.982	3.587	3.357	3.204	3.095	3.012	2.948	2.896	2.854	2.818	2.788	2.761	2.739	2.719
12	4.747	3.885	3.49	3.259	3.106	2.996	2.913	2.849	2.796	2.753	2.717	2.687	2.660	2.637	2.617
13	4.667	3.806	3.411	3.179	3.025	2.915	2.832	2.767	2.714	2.671	2.635	2.604	2.577	2.554	2.533
14	4.6	3.739	3.344	3.112	2.958	2.848	2.764	2.699	2.646	2.602	2.565	2.534	2.507	2.484	2.463
15	4.543	3.682	3.287	3.056	2.901	2.79	2.707	2.641	2.588	2.544	2.507	2.475	2.448	2.424	2.403
16	4.494	3.634	3.239	3.007	2.852	2.741	2.657	2.591	2.538	2.494	2.456	2.425	2.397	2.373	2.352
17	4.451	3.592	3.197	2.965	2.810	2.699	2.614	2.548	2.494	2.45	2.413	2.381	2.353	2.329	2.308
18	4.414	3.555	3.16	2.928	2.773	2.661	2.577	2.51	2.456	2.412	2.374	2.342	2.314	2.29	2.269
19	4.381	3.522	3.127	2.895	2.740	2.628	2.544	2.477	2.423	2.378	2.34	2.308	2.280	2.256	2.234
20	4.351	3.493	3.098	2.866	2.711	2.599	2.514	2.447	2.393	2.348	2.31	2.278	2.250	2.225	2.203
21	4.325	3.467	3.072	2.84	2.685	2.573	2.488	2.42	2.366	2.321	2.283	2.25	2.222	2.197	2.176
22	4.301	3.443	3.049	2.817	2.661	2.549	2.464	2.397	2.342	2.297	2.259	2.226	2.198	2.173	2.151
23	4.279	3.422	3.028	2.796	2.640	2.528	2.442	2.375	2.32	2.275	2.236	2.204	2.175	2.15	2.128
24	4.26	3.403	3.009	2.776	2.621	2.508	2.423	2.355	2.3	2.255	2.216	2.183	2.155	2.13	2.108
25	4.242	3.385	2.991	2.759	2.603	2.49	2.405	2.337	2.282	2.236	2.198	2.165	2.136	2.111	2.089
26	4.225	3.369	2.975	2.743	2.587	2.474	2.388	2.321	2.265	2.22	2.181	2.148	2.119	2.094	2.072
27	4.21	3.354	2.96	2.728	2.572	2.459	2.373	2.305	2.25	2.204	2.166	2.132	2.103	2.078	2.056
28	4.196	3.34	2.947	2.714	2.558	2.445	2.359	2.291	2.236	2.19	2.151	2.118	2.089	2.064	2.041
29	4.183	3.328	2.934	2.701	2.545	2.432	2.346	2.278	2.223	2.177	2.138	2.104	2.075	2.05	2.027
30	4.171	3.316	2.922	2.69	2.534	2.421	2.334	2.266	2.211	2.165	2.126	2.092	2.063	2.037	2.015
40	4.085	3.232	2.839	2.606	2.449	2.336	2.249	2.18	2.124	2.077	2.038	2.003	1.974	1.948	1.924

Tabla 48. Distribución de F de Fisher A'.

V1	V1: grados de libertad del numerador					V2: grados de libertad del denominad.					1-a = 0.95 / 1- a = P (F <= fa,v1,v2)				
V2	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
1	246.466	246.917	247.324	247.688	248.016	248.307	248.579	248.823	249.052	249.260	249.453	249.631	249.798	249.951	250.096
2	19.433	19.437	19.440	19.443	19.446	19.448	19.450	19.452	19.454	19.456	19.457	19.459	19.460	19.461	19.463
3	8.692	8.683	8.675	8.667	8.660	8.654	8.648	8.643	8.638	8.634	8.630	8.626	8.623	8.620	8.617
4	5.844	5.832	5.821	5.811	5.803	5.795	5.787	5.781	5.774	5.769	5.763	5.759	5.754	5.750	5.746
5	4.604	4.59	4.579	4.568	4.558	4.549	4.541	4.534	4.527	4.521	4.515	4.510	4.505	4.500	4.496
6	3.922	3.908	3.896	3.884	3.874	3.865	3.856	3.849	3.841	3.835	3.829	3.823	3.818	3.813	3.808
7	3.494	3.48	3.467	3.455	3.445	3.435	3.426	3.418	3.410	3.404	3.393	3.391	3.386	3.381	3.376
8	3.202	3.187	3.173	3.161	3.150	3.140	3.131	3.123	3.115	3.108	3.102	3.095	3.090	3.084	3.079
9	2.989	2.974	2.96	2.988	2.936	2.926	2.917	2.908	2.900	2.893	2.886	2.880	2.874	2.869	2.864
10	2.828	2.812	2.798	2.785	2.774	2.764	2.754	2.745	2.737	2.730	2.723	2.716	2.710	2.705	2.700
11	2.701	2.685	2.671	2.658	2.646	2.636	2.626	2.617	2.609	2.601	2.594	2.588	2.582	2.576	2.570
12	2.599	2.583	2.568	2.555	2.544	2.533	2.523	2.514	2.505	2.498	2.491	2.484	2.478	2.472	2.466
13	2.515	2.499	2.484	2.471	2.459	2.448	2.438	2.429	2.420	2.412	2.405	2.398	2.392	2.386	2.380
14	2.445	2.428	2.413	2.400	2.388	2.377	2.367	2.357	2.349	2.341	2.333	2.326	2.320	2.314	2.308
15	2.385	2.368	2.353	2.340	2.328	2.316	2.306	2.297	2.288	2.280	2.272	2.265	2.259	2.253	2.247
16	2.333	2.317	2.302	2.288	2.276	2.264	2.254	2.244	2.235	2.227	2.220	2.212	2.206	2.200	2.194
17	2.289	2.272	2.257	2.243	2.230	2.219	2.208	2.199	2.190	2.181	2.174	2.167	2.160	2.154	2.148
18	2.25	2.233	2.217	2.203	2.191	2.179	2.168	2.159	2.150	2.141	2.134	2.126	2.119	2.113	2.107
19	2.215	2.198	2.182	2.168	2.155	2.144	2.133	2.123	2.114	2.106	2.098	2.090	2.084	2.077	2.071
20	2.184	2.167	2.151	2.137	2.124	2.112	2.102	2.092	2.082	2.074	2.066	2.059	2.052	2.045	2.039
21	2.156	2.139	2.123	2.109	2.096	2.084	2.073	2.063	2.054	2.045	2.037	2.030	2.023	2.016	2.010
22	2.131	2.114	2.098	2.084	2.071	2.059	2.048	2.038	2.028	2.020	2.012	2.004	1.997	1.990	1.984
23	2.109	2.091	2.075	2.061	2.048	2.036	2.025	2.014	2.005	1.996	1.988	1.981	1.973	1.967	1.961
24	2.088	2.07	2.054	2.040	2.027	2.015	2.003	1.993	1.984	1.975	1.967	1.959	1.952	1.945	1.939
25	2.069	2.051	2.035	2.021	2.007	1.995	1.984	1.974	1.964	1.955	1.947	1.939	1.932	1.926	1.919
26	2.052	2.034	2.018	2.003	1.990	1.978	1.966	1.956	1.946	1.938	1.928	1.921	1.914	1.907	1.901
27	2.036	2.018	2.002	1.987	1.974	1.961	1.950	1.940	1.930	1.921	1.913	1.905	1.898	1.891	1.884
28	2.021	2.003	1.987	1.972	1.959	1.946	1.935	1.924	1.915	1.906	1.897	1.889	1.882	1.875	1.869
29	2.007	1.989	1.973	1.958	1.945	1.932	1.921	1.910	1.901	1.891	1.883	1.875	1.868	1.861	1.854
30	1.995	1.976	1.96	1.945	1.932	1.919	1.908	1.897	1.887	1.878	1.870	1.862	1.854	1.847	1.841
40	1.904	1.885	1.868	1.853	1.839	1.826	1.814	1.803	1.793	1.783	1.775	1.766	1.759	1.751	1.744

CUADRO RESUMEN DE PROMEDIOS DE ESTACIONES

ESTACI.	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
CHILETE	23.40	53.12	58.69	23.74	5.06	0.95	0.41	0.40	1.96	7.50	7.64	12.82
SAN PA	105.32	159.88	209.78	87.34	23.58	5.93	3.30	2.23	14.43	32.00	31.20	73.97
G. PORC.	186.51	211.48	262.10	163.52	99.81	26.73	14.15	14.53	70.23	139.97	138.18	185.40
CONTU.	88.25	165.07	219.89	100.94	22.41	4.61	1.27	1.14	8.79	24.41	28.64	47.44
LIVES	79.82	139.80	157.66	55.98	14.75	3.98	1.12	0.86	7.88	22.25	22.10	42.98
LLAPA	111.27	163.62	214.32	129.53	42.65	13.44	6.62	7.48	41.37	79.06	71.05	101.58
MAGD.	41.92	92.89	136.36	48.22	17.08	1.10	0.85	0.84	3.07	22.57	18.27	66.04
H. LLAG.	73.96	89.05	73.71	52.05	12.29	2.98	0.00	0.82	3.75	20.09	30.30	48.07
WEBER	84.14	97.99	128.45	72.67	30.53	8.50	5.81	6.82	28.01	62.01	66.17	82.43

Tabla 49. Análisis de saltos, estación H. Llagadén, con respecto a la estación Weberbauer.

AÑO HIDROLÓGICO CONSIDERADO	WEBERBAUER (E. BASE)		H. LLAGADÉN (EN ESTUDIO)		Análisis de saltos y tendencias con respecto a la estación base correspondiente (n1 vs n2)			
	PP MEDIA MENSUAL (mm)	PP MEDIA MENSUAL ACUMULADA (mm)	PP MEDIA MENSUAL (mm)	PP MEDIA MENSUAL ACUMULADA (mm)				
AGOSTO	6.82	6.82	1.68	1.68	Parámetros estadísticos	Periodo mensual 1	Agosto - noviembre	
SETIEMBRE	28.01	34.83	7.27	8.95		Periodo mensual 2	Diciembre - marzo	
OCTUBRE	62.01	96.85	22.69	31.64		Periodo mensual 3	Abril - julio	
NOVIEMBRE	66.17	163.02	27.72	59.37		Tamaño	n1	4
DICIEMBRE	84.48	247.50	46.08	105.45			n2	4
ENERO	84.14	331.64	74.57	180.03			n	8
FEBRERO	97.99	429.63	135.79	315.82		Media	X1	14.84
MARZO	128.45	558.07	143.69	459.51			X2	100.03
ABRIL	72.23	630.30	58.68	518.18		Desviación estándar	S1	12.36
MAYO	30.58	660.88	12.32	530.50			S2	47.41
JUNIO	8.63	669.51	3.10	533.60		Varianza	Var1	152.67
JULIO	5.81	675.32	1.47	535.07			Var2	2247.75
						Consistencia de la media	Grados de libertad	GDL
					Des.v. Estand. ponderada		Sp	34.64
					Des.v. diferencia promedio		Sd	24.50
					"T" Calculado		Tc	3.478
					"T" Tabulado (tabla)		Tt	2.4469
					Criterio de decisión: Como $T_c < T_t$:			Si salto
					Consistencia de la varianza	Var1 > Var2	SI/NO	No
						Si resulta ser No: Entonces intercambiamos la posición del numerador y denominador.		
						G.L. Numerador	GL.N.	3
						G.L. Denominador	GL.D.	3
						"F" Calculado	Fc	14.7228
						"F" Tabulado	Ft	9.277
					Criterio de decisión: como: $(F_c > F_t)$:		Si salto	

ANÁLISIS DOBLE MASA

$y = 0.8719x - 53.946$
 $R^2 = 0.9796$

Observación final: Como podemos apreciar, existe salto, por lo que estadísticamente afirmamos que necesitamos corregir los datos de las muestras n1 y n2 de la estación de **H. Llagadén.**

AÑO HIDROLÓGICO CONSIDERADO	WEBERBAUER (E. BASE)		MAGDALENA (EN ESTUDIO)		Análisis de saltos y tendencias con respecto a la estación base correspondiente			
	PP MEDIA MENSUAL (mm)	PP MEDIA MENSUAL ACUMULADA (mm)	PP MEDIA MENSUAL (mm)	PP MEDIA MENSUAL ACUMULADA (mm)				
AGOSTO	6.82	6.82	0.12	0.15	Parámetros estadísticos	Periodo mensual 1	Agosto - octubre	
SETIEMBRE	28.01	34.83	0.84	0.34		Periodo mensual 2	noviembre - enero	
OCTUBRE	62.01	96.85	11.86	6.65		Tamaño	n1	3
NOVIEMBRE	66.17	163.02	9.52	56.32			n2	3
DICIEMBRE	84.48	247.50	48.12	326.41			n	6
ENERO	84.14	331.64	41.45	479.34		Media	X1	4.27
FEBRERO	97.99	429.63	152.93	520.79			X2	33.03
MARZO	128.45	558.07	270.08	568.91		Desviación estándar	S1	6.58
ABRIL	72.23	630.30	49.67	578.43			S2	20.63
MAYO	30.58	660.88	6.31	590.28		Varianza	Var1	43.24
JUNIO	8.63	669.51	0.19	591.13			Var2	425.65
JULIO	5.81	675.32	0.15	591.25		Consistencia de la media	Grados de libertad	GDL
					Desv. Estand. ponderada		Sp	15.31
					Desv. diferencia promedio		Sd	12.50
					"T" Calculado		Tc	2.300
					"T" Tabulado (tabla)		Tt	2.7764
					Criterio de decisión: Como Tc < Tt:		No salto	
					Consistencia de la varianza	Var1 > Var2	SI/NO	NO
						Si resulta ser No: Entonces intercambiamos la posición del numerador y denominador.		
						G.L. Numerador	G.L.N.	2
						G.L. Denominador	G.L.D.	2
						"F" Calculado	Fc	9.8440
						"F" Tabulado	Ft	19.000
					Criterio de decisión: como: (Fc < Ft)	No salto		

ANÁLISIS DOBLE MASA $y = 0.9611x - 1.578$
 $R^2 = 0.9039$

Observación final: Como podemos apreciar, existe salto, por lo que estadísticamente afirmamos que no necesitamos corregir los datos de las muestras n1 y n2 de la estación de **Granja Porcón.**

AÑO HIDROLÓGICO CONSIDERADO	WEBERBAUER (E. BASE)		LLAPA (EN ESTUDIO)		Análisis de saltos y tendencias con respecto a la estación base correspondiente			
	PP MEDIA MENSUAL (mm)	PP MEDIA MENSUAL ACUMULADA (mm)	PP MEDIA MENSUAL (mm)	PP MEDIA MENSUAL ACUMULADA (mm)				
AGOSTO	6.82	6.82	6.78	6.78				
SETIEMBRE	28.01	34.83	37.26	44.03				
OCTUBRE	62.01	96.85	72.18	116.21				
NOVIEMBRE	66.17	163.02	66.35	182.56				
DICIEMBRE	84.48	247.50	94.11	276.67				
ENERO	84.14	331.64	111.40	388.07				
FEBRERO	97.99	429.63	176.40	564.47				
MARZO	128.45	558.07	261.99	826.46				
ABRIL	72.23	630.30	126.40	952.86				
MAYO	30.58	660.88	35.52	988.38				
JUNIO	8.63	669.51	12.77	1001.15				
JULIO	5.81	675.32	4.86	1006.01				
					Parámetros estadísticos	Periodo mensual 1	Enero - agosto	
						Periodo mensual 2	setiembre - diciembre	
						Tamaño	n1	6
							n2	3
							n	9
						Media	X1	64.68
							X2	188.26
						Desviación estándar	S1	37.98
							S2	68.57
						Varianza	Var1	1442.61
					Var2		4701.60	
					Consistencia de la media	Grados de libertad	GDL	7
						Desv. Estand. ponderad	Sp	48.72
						Desv. diferencia promec	Sd	34.45
						"T" Calculado	Tc	3.587
						"T" Tabulado (tabla)	Tt	2.3646
						Criterio de decisión: Como Tc < Tt:	Si salto	
					Consistencia de la varianza	Var1 > Var2	SI/NO	No
						Si resulta ser No: Entonces intercambiamos la posición del numerador y denominador.		
						G.L. Numerador	G.L.N.	2
						G.L. Denominador	G.L.D.	5
						"F" Calculado	Fc	5.7860
						"F" Tabulado	Ft	5.050
						Criterio de decisión: como: (Fc < Ft)	Si salto	
					<p>Observación final: Como podemos apreciar, existe salto, por lo que estadísticamente afirmamos que necesitamos corregir los datos de las muestras n1 y n2 de la estación de LLAPA.</p>			

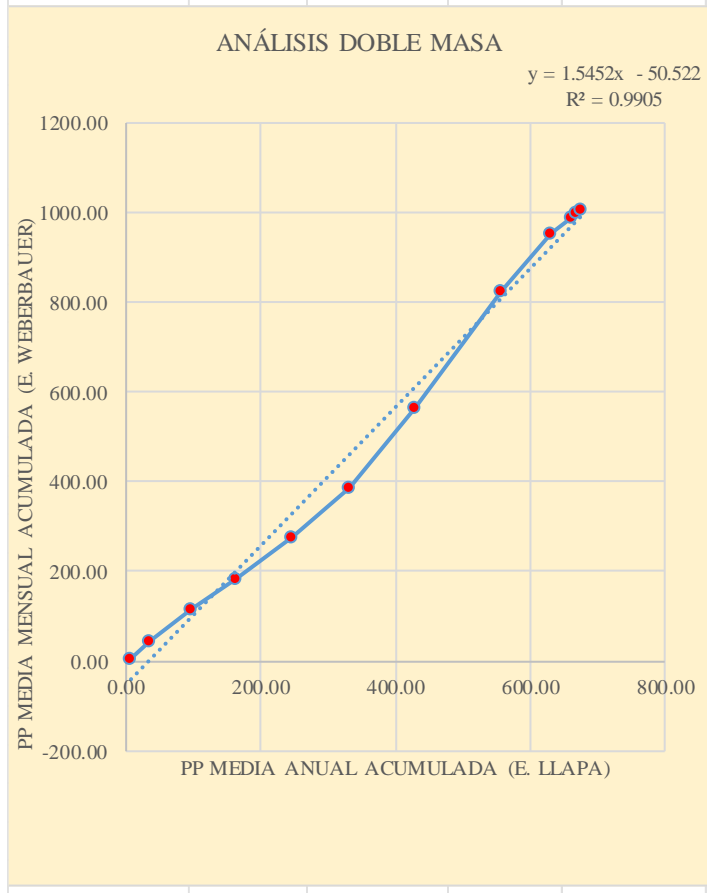


Tabla 50. Formato de aforo utilizado en campo, para el registro de datos.

FORMATO DE AFORO DEL RIO EL TINGO							
TOMA DE DATOS DE AFORO							
DATOS GENERALES:	Responsable:			CÁLCULOS			
MÉTODO:	TUBO DE PITOT						
ANCHO DE ESPEJO:	1.70	metros					
FECHA:	Domingo 03 de febrero del 2019						
LONGITUD PARCIAL:	0.10	metros					
PROFUNDIDAD:	60.00%	La medición será desde el espejo de agua.					
TRAMOS		Referencia: Mirando en el sentido del flujo del agua.					
PUNTO	Equidistancia entre sub tramos	TIRANTE (m)	Profundidad para la medición (60%) - metros	Altura alcanzada (mm)-Pitot	ÁREA (m2)	Velocidad (m/seg)	Caudal (m3/seg)
Margen derecha	0	0	0		0.00	0.00	0.0000
1	0.1	0.26	0.15	0.16	0.01	1.74	0.0222
2	0.1	0.24	0.14	0.17	0.02	1.83	0.0447
3	0.1	0.25	0.15	0.18	0.02	1.85	0.0445
4	0.1	0.28	0.17	0.18	0.03	1.88	0.0489
5	0.1	0.29	0.17	0.23	0.03	2.11	0.0592
6	0.1	0.25	0.15	0.22	0.03	2.08	0.0551
7	0.1	0.24	0.14	0.22	0.02	2.05	0.0498
8	0.1	0.22	0.13	0.22	0.02	2.05	0.0472
9	0.1	0.27	0.16	0.24	0.02	2.19	0.0531
10	0.1	0.27	0.16	0.22	0.03	2.08	0.0556
11	0.1	0.26	0.16	0.25	0.03	2.20	0.0584
12	0.1	0.28	0.17	0.24	0.03	2.19	0.0585
13	0.1	0.28	0.17	0.23	0.03	2.12	0.0584
14	0.1	0.26	0.15	0.21	0.03	2.03	0.0538
15	0.1	0.11	0.07	0.19	0.02	1.93	0.0352
16	0.1	0.08	0.05	0.14	0.01	1.66	0.0157
17	0.1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.0000
Margen izquierda	1.7				Total	0.38	0.7603
				Caudal calculado a partir del aforo			

Tabla 51. Caudal aforado en el mes de abril del 2023, se puede considerar un caudal ocasional.

FORMATO DE AFORO CUANCA EL TINGO

Fecha:	26 de abril del 2023			
Método usado:	Flotadores ($V_{media} = 0.85 * V_{calculada}$)			
Longitudinal =	6	metros		
			Cálculo de la velocidad	
T1	6.39	seg	0.93896714	m/seg
T2	6.18	seg	0.97087379	m/seg
T3	6.81	seg	0.88105727	m/seg
T4	6.26	seg	0.95846645	m/seg
T5	6.31	seg	0.95087163	m/seg
T promedio =	6.39	seg	0.94004726	m/seg
Velocidad media			0.79904017	

Determinamos el área.

S1	1.48	m2
S2	1.43	m2
Promedio	1.455	m3

Caudal =	1.16260344	m3/seg
-----------------	-------------------	---------------

Tabla 52. Caudales registrados mediante aforo de la cuenca El Tingo.

CUADRO RESUMEN DE AFOROS			
AFORO N°	FECHA	CAUDAL (m3/seg)	Caudal Mensual m3/s
1	06 de enero de 2020	0.7371	0.71145
2	20 de enero del 2020	0.6858	
3	03 de febrero de 2020	0.7159	0.7381
4	10 de febrero de 2020	0.7603	
5	05 de marzo de 2020	1.5600	1.6700
6	15 de marzo del 2020	1.7800	
7	12 de abril del 2020	0.8791	0.7320
8	17 de abril del 2020	0.5849	
9	19 de mayo del 2020	2.1719	2.1714
10	26 de mayo del 2020	2.1709	
11	5 de junio del 2020	0.5123	0.5009
12	22 de junio del 2020	0.4895	
13	7 de julio del 2020	0.4786	0.4766
14	18 de julio del 2020	0.4746	
15	17 de agosto del 2019	0.4623	0.4572
16	29 de agosto del 2019	0.4521	
17	13 de setiembre del 2019	0.4428	0.4413
18	27 de setiembre del 2019	0.4398	
19	14 de octubre del 2019	0.5236	0.5046
20	22 de octubre del 2019	0.4856	
21	6 de noviembre del 2019	0.8954	0.94145
22	17 de noviembre del 2019	0.9875	
23	18 de diciembre del 2019	1.1654	1.15715
24	30 de diciembre del 2019	1.1489	
25	26 de abril del 2023	1.1626	1.1626

FOTOGRAFÍAS



Figura 34. Construcción y/o habilitación de nuestro equipo para la realización de aforos: el tubo de Pitot y regla de aforo.



Figura 35. Vista panorámica del punto emisor de la cuenca hidrográfica del río "El Tingo".



Figura 36. Vista panorámica del río El Tingo a 50 metros de la intersección con su afluente principal, quebrada “La Pirirana”.



Figura 37. Inmediaciones del punto emisor de la cuenca hidrográfica del río El Tingo, con cobertura de pastos cultivados.



Figura 38. Verificación de la corriente de agua e inspección de equipos para el aforo del río “El Tingo”.



Figura 39. Verificación de las unidades de medida e inspección de equipos para el aforo del río “El Tingo”.



Figura 40. Ubicación y fijación de la cinta de referencia para el seccionamiento parcial del lecho del río “El Tingo”.



Figura 41. Habilitación y preparación del material que servirá para el registro de datos de campo, río “El Tingo”.



Figura 42. Fijación de cinta de referencia para el seccionamiento del espejo de agua en época de invierno.



Figura 43. Nuestro equipo de apoyo, realizando la fijación de cinta de referencia para el seccionamiento del espejo de agua en época de verano o estiaje (equidistancia = 10 cm), abril 2019.



Figura 44. Vista panorámica de la intersección natural del río el Tingo, con la quebrada la Piriana, época de verano o estiaje, turbidez y cantidad, abril 2019.



Figura 45. Seccionamiento y medición del espejo de agua, para la determinación del número de intervalos o áreas parciales, abril 2019.



Figura 46. Medición del espejo de agua, en época de invierno, además de visualizar el efecto de la turbidez del agua. (abril 2021).



Figura 47. Medición del espejo de agua, en época de invierno, además de visualizar el efecto de la turbidez del agua. (abril 2021).



Figura 48. Medición del espejo de agua, en época de invierno, además de visualizar el efecto de la turbidez del agua. (abril 2021).



Figura 49. Medición del espejo de agua, en época de invierno, además de visualizar el efecto de la turbidez del agua. (abril 2021).



Figura 50. Medición del tirante en cada punto marcado en la cinta de referencia (cada 10 cm).



Figura 51. Regulación del Tubo de Pitot, para medir tirantes al 60% de profundidad para determinar la velocidad representativa correspondiente.



Figura 52. Medición de la presión por Tubo de Pitot, de tirantes al 60% de profundidad para medición de velocidad representativa.



Figura 53. Medición de la presión por Tubo de Pitot, de tirantes al 60% en un punto y momento exacto.



Figura 54. Medición del tirante parcial (segmentos de 20 cm), de manera totalmente vertical.



Figura 55. Visita técnica, con fines de verificar las instalaciones de la estación meteorológica de Granja Porcón. (Julio 2022).



Figura 56. Cuenca hidrográfica del río el Tingo, visto desde la cabecera de cuenca, en el anexo Dos de Mayo. (Fotografía tomada en el mes de mayo de año 2021).



Figura 57. Participando de la construcción de la bocatoma perteneciente al canal de regadío Horno Pata, los materiales utilizados son barro, plástico, arena, madera, partículas de madera y sacos de arroz o de abonos – anexo Capilla. (mayo 2021).



Figura 58. Participando de la construcción de una bocatoma, para el canal denominado Horno Pata, en el anexo Capilla, con el fin de disminuir la filtración, utilizamos sacos de nailon y arena. (junio 2022).



Figura 59. Trilla mecanizada de trigo, mediante la minga, haciendo honor a las costumbres Cajamarquinas, en el lugar denominado “El Ingenio”, comprensión de la cuenca hidrográfica del río “EL Tingo”. (agosto 2021).



Figura 60. Precipitaciones de intensidad moderada, registrada el día 21 de febrero del año 2022, vertiente de la quebrada “Piriana”.



Figura 61. Un día de vacunación al ganado vacuno, junio del 2021, en el anexo Capilla.



Figura 62. Participando del desyerbo de Olluco - marzo del 2021, anexo Capilla parte alta.



Figura 63. Vista panorámica de un terreno con cultivo de maíz, anexo de Capilla parte alta.



Figura 64. Nivel de alcance hídrico, en los alrededores al punto emisor de la cuenca hidrográfica del río El Tingo, luego de una intensa lluvia.



Figura 65. Vista panorámica de la carretera adyacente a la quebrada La Piriana, cerca al punto emisor, acceso al anexo Santa Rosa.



Figura 66. Vista panorámica del riachuelo La Huaylla, afluente del río El Tingo.



Figura 67. Fuertes precipitaciones, con fuertes truenos y relámpagos, una característica geográfica de los andes peruanos – Cuenca hidrográfica del río El Tingo, ubicada a dos Kilómetros de donde se registró la toma fotográfica.



Figura 68. Aforo en el punto emisor de la cuenca hidrográfica del río El Tingo, por el método del flotador.

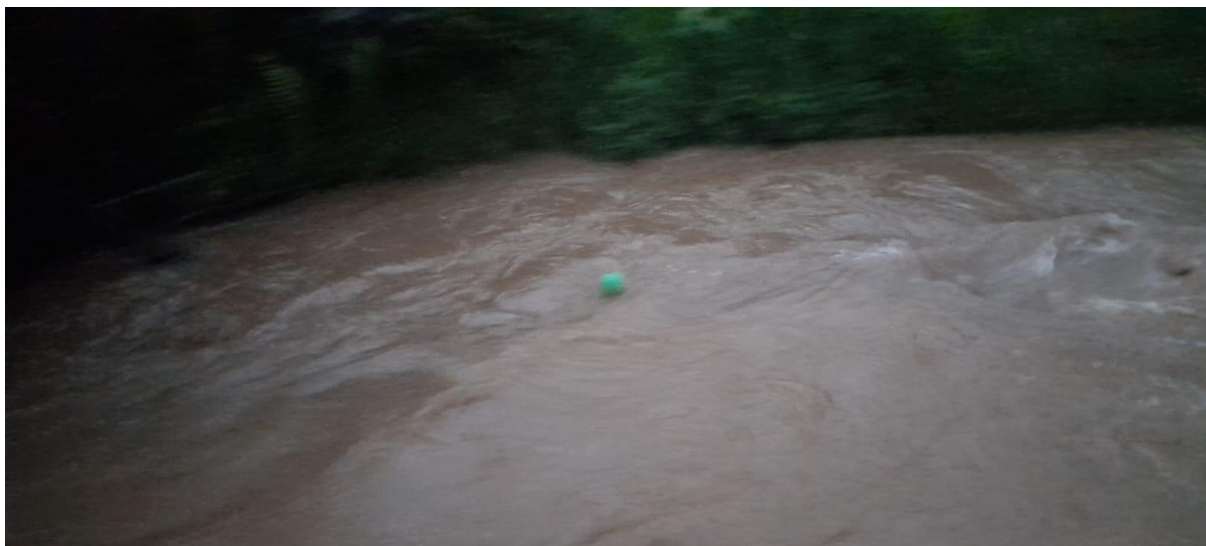


Figura 69. Momento, en el cual se viene realizando el aforo por el método del flotador.



Figura 70. Ganado vacuno de la raza Holstein, un animal muy común criado por los ganaderos de la cuenca hidrográfica del río El Tingo.



Figura 71. Limpieza del canal de regadío Capilla de Unanca, por minga, una característica de la zona.



Figura 72. Presencia de Roca sólida, forma parte del vaso natural “El Taladro”.