

FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de **INGENIERÍA CIVIL**

**“APORTE DE LA ESCORRENTÍA SUPERFICIAL DE LA
MICROCUCENCA DEL RÍO SENDAMAL, CON FINES DE USO
POBLACIONAL DE LA CIUDAD DE CELENDÍN”**

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniero Civil

Autores:

Clever Enrique Acosta Diaz
Noe Melciades Araujo Vera

Asesor:

Mg. Ing. Kely Elizabeth Núñez Vásquez

<https://orcid.org/0000-0001-7846-2510>

Cajamarca - Perú

JURADO EVALUADOR

Jurado 1 Presidente(a)	LUIS VASQUEZ RAMIREZ	26693344
	Nombre y Apellidos	N.º DNI

Jurado 2	ERLYN GIORDANY SALAZAR HUAMÁN	71106769
	Nombre y Apellidos	N.º DNI

Jurado 3	HUGO EMMANUEL RODRIGUEZ CHICO	45955444
	Nombre y Apellidos	N.º DNI

INFORME DE SIMILITUD

TESIS

INFORME DE ORIGINALIDAD

6%

INDICE DE SIMILITUD

3%

FUENTES DE INTERNET

0%

PUBLICACIONES

3%

TRABAJOS DEL
ESTUDIANTE

ENCONTRAR COINCIDENCIAS CON TODAS LAS FUENTES (SOLO SE IMPRIMIRÁ LA FUENTE SELECCIONADA)

3%

★ Submitted to Universidad Nacional del Centro del
Peru

Trabajo del estudiante

Excluir citas

Apagado

Excluir coincidencias < 1%

Excluir bibliografía

Apagado

DEDICATORIA

Mi tesis la dedico con mucho cariño a mis padres Antonio y Leonor,
A mi compañera y esposa Alsira y a mi hijo Royer como
muestra de mi eterno agradecimiento

Noé A. V.

Dedicada a mi esposa Yaceli M. Delgado Espinoza,
por todo el amor, comprensión y apoyo incondicional

Clever A. D.

AGRADECIMIENTO

A mi asesor de tesis la Mg. Ingeniero Kely Nuñez Vásquez, por la orientación y ayuda que nos brindó para la realización de esta tesis.

TABLA DE CONTENIDO

JURADO EVALUADOR	2
INFORME DE SIMILITUD	3
DEDICATORIA	4
AGRADECIMIENTO	5
TABLA DE CONTENIDO	6
ÍNDICE DE TABLAS	9
ÍNDICE DE FIGURAS	10
RESUMEN	11
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN	13
1.1. Realidad Problemática	13
1.2. Antecedentes de la investigación	15
1.3. Justificación	18
1.4. Bases teóricas	19
1.5. Ética en el desarrollo	56
1.6. Formulación del Problema	57
1.7. Objetivos	57
1.8. Hipótesis	58
CAPÍTULO II: METODOLOGÍA	59
2.1. ÁREA DE ESTUDIO	59

2.1.1.	Demarcación Política:	59
2.1.2.	Demarcación hidrográfica.	61
2.1.3.	Punto emisor	62
2.2.	EQUIPOS E INSTRUMENTOS	62
2.2.1.	Equipos	62
2.2.2.	Materiales y Equipo de gabinete	62
2.3.	CARACTERÍSTICAS DE LA MICROCUENCA “SENDAMAL”	63
2.3.1.	Ecología	63
2.3.2.	Clima	67
2.3.3.	Clasificación Climática	70
2.4.	PROCEDIMIENTO	71
2.4.1.	Recopilación De Información	71
2.4.2.	Tratamiento cartográfico	72
2.4.3.	Procesamiento de la información meteorológica	73
2.4.4.	Análisis de la Serie Histórica	74
2.4.5.	Generación de caudales	77
2.4.6.	Oferta hídrica de la cuenca	78
CAPÍTULO III: RESULTADOS		79
3.1.	ANÁLISIS CARTOGRÁFICO DE LA CUENCA EN ESTUDIO	79
3.2.	MODELOS DETERMINÍSTICOS PARCIALES	82
3.2.1.	Precipitación media de la cuenca	82
3.2.2.	Coeficiente de escorrentía	82
3.2.3.	Precipitación efectiva	83
3.2.4.	Retención de la cuenca	84
3.2.5.	Coeficiente de Agotamiento (α)	85
3.2.6.	Relación de caudales del flujo base	85
3.2.7.	Gasto de la retención “Gi”	86
3.2.8.	Abastecimiento de la retención (Ai)	87
3.2.9.	Generación de caudales	88
a.	Caudales mensuales para el año promedio (Qm)	88
b.	Caudales mensuales para un periodo extendido	89

3.3.	ANÁLISIS POBLACIONAL Y CAUDAL DE DISEÑO	99
3.3.1.	Metodo de interes simple	99
3.3.2.	Metodo Aritmético	100
3.3.3.	Metodo Geometrico	101
3.3.4.	Metodo de la Parabola	102
3.3.5.	Metodo de los mínimos cuadrados	103
CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES		108
REFERENCIAS		111
ANEXOS		113

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1 COEFICIENTES “ a_i ” PARA LA APLICACIÓN DEL POLINOMIO	48
TABLA 2 ABASTECIMIENTO DE RETENCIÓN	53
TABLA 3 ESTACIONES METEOROLÓGICAS USADAS EN EL PRESENTE EL ESTUDIO.	72
TABLA 4 PARÁMETROS GEOMORFOLÓGICOS DE LA MICROCUENCA SENDAMAL	79
TABLA 5 PRECIPITACIÓN MEDIA MULTIANUAL MENSUAL (PMM) DE LA MICROCUENCA SENDAMAL	82
TABLA 6 PRECIPITACIÓN MEDIA EFECTIVA MENSUAL (PME) DE LA MICROCUENCA SENDAMAL	83
TABLA 7 PARÁMETROS PARA CALCULAR LA RETENCIÓN EN LA CUENCA SENDAMAL	84
TABLA 8 CAUDALES DEL FLUJO BASE (B_0) PARA ÉPOCA DE ESTIAJE.	86
TABLA 9 APORTE A LA ESCORRENTÍA DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS	87
TABLA 10 LMACENAMIENTO HÍDRICO DURANTE LA ÉPOCA DE LLUVIAS PARA LA REGIÓN CAJAMARCA	87
TABLA 11 ABASTECIMIENTO MENSUAL, DÉFICIT DE LA PRECIPITACIÓN EFECTIVA	87
TABLA 12 CAUDALES MENSUALES GENERADOS PARA EL AÑO PROMEDIO	88
TABLA 13 SERIES Y COEFICIENTES ESTADÍSTICOS PARA LA REGRESIÓN MÚLTIPLE	90
TABLA 14 FACTOR CONSTANTE	90
TABLA 15 MATRIZ INVERSA	91
TABLA 16 PARAMETROS DE MODELO	91
TABLA 17 ESTIMACIÓN DEL ERROR	91
TABLA 18 CAUDALES GENERADOS Q_M (MM/MES) PARA UN PERIODO EXTENDIDO	92
TABLA 19 CAUDALES MEDIOS MENSUALES (MM/MES) GENERADOS	94
TABLA 20 CAUDALES MEDIOS MENSUALES (M ³ /S) GENERADOS	95
TABLA 21 CAUDALES MEDIOS MENSUALES (MMC) GENERADOS	96
TABLA 22 OFERTA HÍDRICA (MM/MES) SEGÚN NIVEL DE PERSISTENCIA.	97
TABLA 23 OFERTA HÍDRICA (M ³ /S) SEGÚN NIVEL DE PERSISTENCIA.	97
TABLA 24 OFERTA HÍDRICA (MMC) SEGÚN NIVEL DE PERSISTENCIA.	98
TABLA 25 SELECCION DEL MODELO DE CRECIMIENTO POBLACIONAL	104
TABLA 26 DEMANADA PARA USOS AGROPECUARIOS	106
TABLA 27 DEMANADA PARA USOS POBLACIONALES	106
TABLA 28 CAUDAL ECOLÓGICO AL 10 %	106
TABLA 29 BALANCE HÍDRICO MENSUALIZADO (M ³)	107

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA N° 1 LA CUENCA HIDROGRÁFICA	20
<i>FIGURA N° 2</i> EL CICLO HIDROGRÁFICO	21
FIGURA N° 3 UBICACIÓN REGIONAL Y PROVINCIAL DE LA CUENCA	60
FIGURA N° 4 UBICACIÓN DISTRITAL E HIDROGRÁFICA DE LA CUENCA	61
FIGURA N° 5. UBICACIÓN REFERENCIAL DE LA MICROCUENCA SENDAMAL	62
FIGURA 6 CURVA HIPSOMÉTRICA DE LA CUENCA SENDAMAL	80
FIGURA 7 FRECUENCIA DE ALTITUDES DE LA CUENCA SENDAMAL.	80
FIGURA 8 PUNTO EMISOR DE LA ,MICROCUEMCA SENDAMAL	81
FIGURA 9 PRECIPITACIÓN MEDIA MULTIANUAL MENSUAL (MM) DE LA MICROCUENCA SENDAMAL (1964-2016). 82	
FIGURA 10 PRECIPITACIÓN MEDIA MULTIANUAL MENSUAL Y PRECIPITACIÓN EFECTIVA MEDIA	84
FIGURA 11 CAUDALES GENERADOS PARA EL AÑO PROMEDIO DE LA CUENCA SENDAMAL.....	89
FIGURA 12 ANÁLISIS POBLACIONAL CON EL MÉTODO DE INTERES SIMPLE	99
FIGURA 13 ANÁLISIS POBLACIONAL CON EL MÉTODO ARITMÉTICO	100
FIGURA 14 ANÁLISIS POBLACIONAL CON EL MÉTODO GEOMÉTRICO	101
FIGURA 15 CURVA DE CRECIMIENTO POBLACIONAL PARA EL PRESENTE ESTUDIO, SE SELECCIONÓ EL MÉTODO GEOMÉTRICO.....	104

RESUMEN

En la presente investigación de tipo cuantitativo y descriptivo, se determinó el aporte de la Escorrentía Superficial de la Microcuenca del Río Sendamal, con fines de uso poblacional de la ciudad de Celendín, con la finalidad de estimar los caudales medios mensuales y la disponibilidad de agua aprovechable para diferentes actividades; aplicando el modelo determinístico estocástico de Lutz Scholz. Para ello realizamos la delimitación de la cuenca y calculamos sus parámetros geomorfológicos; tomando como punto de descarga en las coordenadas E= 804786.70 N= 9229474.20 S y Z=2703 msnm, procesamos estadísticamente la información pluviométrica de ocho estaciones meteorológicas para luego calcular la precipitación media mensual de la cuenca mediante el método de Isoyetas, se determinó la precipitación efectiva, retención de la cuenca y abastecimiento de la retención; sub modelos que se utilizan para procesar el modelo determinístico estocástico Lutz Scholz.

Teniendo en cuenta la formulación del problema ¿Cuál es el aporte de la escorrentía superficial de la microcuenca del río Sendamal para fines de uso poblacional de la ciudad de Celendín?, se determinó que la demanda del recurso hídrico para uso poblacional de la ciudad de Celendín es de $0.0697 \text{ m}^3/\text{s}$, mientras que la oferta hídrica en el punto emisor de la cuenca (punto de captación) para el mes de menor flujo a un nivel de persistencia del 75 % es de $0.550 \text{ m}^3/\text{s}$, lo cual equivale al 12.67 % de la disponibilidad hídrica.

Los caudales obtenidos con el modelo de Lutz Scholz muestran una relación directa con la precipitación, siendo mayores en los meses lluviosos y menores en los meses de estiaje; en los meses lluviosos se obtuvo un flujo de $2.87 \text{ m}^3/\text{s}$ (marzo) y los meses de estiaje de $0.55 \text{ m}^3/\text{s}$ (Julio) a un nivel de persistencia del 75 %. Se determinó el volumen de agua disponible en

millones de metros cúbicos (MMC) para diferentes usos; 7.68 MMC (marzo) en referencia al mayor volumen y el menor es de 1.47 MMC (Julio). Garantizando la disponibilidad hídrica para la demanda de uso poblacional.

PALABRAS CLAVES: Cuenca del Río Sendamal, Modelo Lutz Scholz, Caudales Medios Mensuales, Disponibilidad de Agua.

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad Problemática

La progresión demográfica y económica en el universo nos permite aprobar más bienes y servicios, la necesidad de producir más alimentos y energía, así como de abastecer con más volúmenes de agua superficial a la población y a las actividades lucrativas.

Se calcula que a nivel mundial tenemos de 1 400 millones de kilómetros cúbicos de agua, de los cuales 2.5% corresponden a agua blanda de escorrentía, localizada en ríos, lagos, glaciares, mantos de hielo y acuíferos (PNUMA, GEMS, 2007).

En la región de América Latina y el Caribe tiene precipitación media anual de 1 600 milímetros y una escorrentía superficial media de 400 mil metros cúbicos por segundo, este aporte de escorrentía equivale casi a un tercio del recurso hídrico a nivel mundial; la cual puede ser usado como uso poblacional las ciudades que carecen de este líquido elemento. (Foro Mundial del Agua, 2018)

El Perú cuenta con tres vertientes en su territorio, con un aporte de escorrentía superficial de casi 2 billones de metros cúbicos de agua cada año, sin embargo, la vertiente del Pacífico cuenta con una disponibilidad de 2,3 %; la mayor cantidad del agua está en la vertiente del Amazonas con el 98% y el lago Titicaca con 0,7%. Sin embargo, por la geografía accidentada de nuestro territorio no podemos usarlo con fines de uso poblacional. (Ministerio de desarrollo agrario y riego).

El abastecimiento de agua potable en la ciudad de Celendín, es una situación que afecta a la calidad de vida de la población, esto debido a que la disponibilidad de agua

es un aspecto crítico, ya que esta depende principalmente de las lluvias y de los ríos que abastecen la zona. La escasez de agua en épocas de sequía genera conflictos y afecta el suministro de agua potable a la población, lo que ha llevado a una disminución en la cantidad de agua disponible para el consumo humano, por lo que ha generado un impacto en la economía local. Además se tiene en cuenta que la distribución del agua potable en la ciudad de Celendín no es uniforme y muchas familias no cuentan con acceso a este servicio como es el caso de los barrios Sevilla, San Isidro, el Cumbe, Bellavista, Tingo, Santa Rosa, Chacapampa, Pallac y Llanguat. No todas las zonas de la ciudad de Celendín tienen acceso a este servicio básico de manera regular, en algunos casos, las personas deben recurrir a fuentes alternativas, como los pozos, que pueden no ser seguras para el consumo humano. La gestión del agua en la ciudad de Celendín es otro problema, ya que hay una falta de planificación y coordinación entre las autoridades locales, lugareños de zonas de captación de agua y la población. La falta de una gestión adecuada genera conflictos y dificultades en el abastecimiento de agua potable a la población. En general, la realidad problemática en el abastecimiento de agua potable en la ciudad de Celendín es compleja y multidimensional, y requiere de un enfoque integral que incluya aspectos técnicos, sociales y políticos para poder ser abordada de manera efectiva. En este contexto, la microcuenca del río Sendamal podría ser una fuente de abastecimiento de agua para la ciudad, pero es necesario estudiar y evaluar el impacto del crecimiento poblacional sobre la disponibilidad de agua y las posibles soluciones técnicas, legales, económicas y sociales que permitan asegurar el suministro de agua potable a la población de la ciudad de Celendín.

Las causas que originan el problema de desabastecimiento de agua potable en la ciudad de Celendín son por crecimiento demográfico, según el INEI de Censos Nacionales de Población y Vivienda, 1981, 1993 y 2007. la tasa de crecimiento de la

población censada de la provincia de Celendín es de 1% (1981 – 1993) y de 5% (1993 – 2007).

1.2. Antecedentes de la investigación

Hemos revisado trabajos de investigaciones relacionados a nuestra investigación para dar mayor solidez, las cuales describimos a continuación:

(Aybar, 2016). Realizó la investigación titulada “Modelamiento de la escorrentía en las cuencas de montaña, caso de estudio río Vilcanota” del Perú.

El objetivo general del estudio fue cuantificar y analizar espacial y temporalmente la escorrentía en la cuenca del río Vilcanota, a fin de entender la ocurrencia de inundaciones. Luego del modelamiento de la escorrentía los resultados nos muestran que la escorrentía es generada principalmente por procesos de exceso de escorrentía de los suelos en la cuenca, además, al analizar los cambios de cobertura para los periodos 1988, 2001 y 2014 se ha evidenciado cambios que han propiciado un aumento en promedio en la escorrentía de 20,70 m³/s y considerando solo los días en los que ocurrieron caudales críticos un aumento de 76,94 m³/s, se espera que de mantenerse las tendencias observadas para el año 2030 estas cifras cambien a 22,70 y 79,22 m³/s respectivamente.

(Gamarra, 2018). Realizó una investigación titulada “Aplicación del modelo hidrológico de Lutz Scholz para determinar caudales medios mensuales en la subcuenca del río Quiroz” en la Cuenca Chira Piura del Perú.

El objetivo general del estudio fue determinar caudales medios mensuales en la sub cuenca Quiroz, aplicando el método de Lutz Scholz. El diseño de investigación utilizado fue descriptivo longitudinal. La muestra de estudio es la subcuenca Chira Piura, el diseño de investigación fue aplicada cuantitativa y descriptiva longitudinal.

Como resultados se obtuvieron caudales medios mensuales aforados en la subcuenca Quiroz, para el periodo de registro de 1973-1992 varía entre 16.75 a 65.73 m³/s para los meses de noviembre y marzo respectivamente, y se tiene un caudal promedio anual de 41.25 m³/s. La correlación lineal entre los caudales generados mediante el modelo Lutz Scholz para un año promedio y los caudales aforados en la estación Toma de Zamba se obtiene un coeficiente de correlación del 92%.

(Lacuta, 2019). Realizó una investigación titulada “Determinación de la oferta hídrica del río Ilave mediante la generación de descargas medias mensuales, aplicando el modelo determinístico – estocástico de Lutz Scholz ” en la cuenca del río la llave del Perú.

El objetivo general de estudio fue determinar la oferta hídrica del río Ilave mediante la generación de caudales medios mensuales aplicando el modelo determinístico-estocástico de Lutz Scholz. El diseño de investigación utilizado fue descriptivo longitudinal. La muestra de estudio es la subcuenca Chira Piura, el diseño de investigación fue aplicada cuantitativa y descriptiva longitudinal.

Los caudales promedios mensuales (m³/s) generadas para la cuenca del río Ilave fueron: 98.40 m³/s, 120.40 m³/s, 93.30 m³/s, 55.50 m³/s, 37.70 m³/s, 32.90 m³/s, 28.50 m³/s, 23.50 m³/s, 19.80 m³/s, 14.40 m³/s, 14.10 m³/s y 31.30 m³/s, que corresponden a los meses de enero a diciembre.

(Olivera, 2019). Realizó la investigación titulada “Disponibilidad hídrica de la subcuenca del río Shullcas con fines agrícolas frente al escenario de cambio climático – Huancayo” del Perú.

El objetivo general de estudio fue determinar la disponibilidad hídrica con fines agrícolas de la subcuenca que alberga el río Shullcas frente a escenarios de variabilidad

climática, basándose en la determinación de la oferta hídrica y demanda hídrica por el sector agrícola. Para ello se hizo necesario contar con información hidrometeorológica de la subcuenca que alberga al río Shullcas, número de parcelas agrícolas, tipos de cultivo entre otros. El estudio pertenece a una investigación aplicada, no experimental de corte transversal, de nivel descriptivo. Los resultados obtenidos mostraron que la oferta hídrica actual satisface las necesidades de los cultivos; sin embargo, frente al escenario de cambio climático S1 y S2 que se proyecta para el año 2039 en el escenario S1 de cambio climático se tendría una disponibilidad hídrica para uso agrícola de 0.50 MMC en el mes de julio y una disponibilidad máxima de 27.59 MMC en febrero, en el escenario S2 de cambio climático se tendría una disponibilidad hídrica para uso agrícola de -0.30 MMC en el mes de julio y una disponibilidad máxima de 35.08 MMC en febrero.

(Crisólogo, 2018). Realizo una investigación titulada “Disponibilidad de agua en la cuenca del río Chonta generada a partir de información climática”, en la ciudad de Cajamarca del Perú.

El objetivo general de la investigación fue estimar la disponibilidad de agua, de escorrentía en el río Chonta, utilizando un modelo hidrológico. La muestra de estudio es la cuenca del río Chonta. El diseño de investigación utilizado fue descriptivo longitudinal. Los resultados obtenidos fueron caudales en invierno que varían de 7,5 m³/s a 4, 9 m³/s y en verano de 3, 8 m³/s a 1, 7 m³/s.

(Cortez, 2018). Realizó una investigación titulada “Disponibilidad hídrica de la microcuenca Toromacho, utilizando el modelo determinístico estocástico Lutz Scholz y el volumen transpuesto de la cuenca Tres Ríos”, en la ciudad de Cajamarca del Perú.

El objetivo general de la investigación disponibilidad de agua de la microcuenca Toromacho, utilizando el modelo determinístico de Lutz Scholz. La muestra de estudio

es la micro Cuenca Toromacho. El diseño de investigación utilizado fue descriptivo longitudinal. Para la verificación de caudales, se hizo comparaciones con los aforados en campo en los meses de febrero a setiembre de 2017, observando como caudal mínimo en el mes de agosto con 0, 210 m³/s, mientras el caudal más alto fue en el mes de febrero con 2,085 m³/s; y los caudales generados por el modelo matemático hidrológico de Lutz Scholz, el mes más bajo agosto 0, 414 m³/s y el mes más alto febrero 1, 716 m³/s, determinando que la metodología utilizada es la correcta.

1.3. Justificación

La importancia de la gestión adecuada de los recursos hídricos en el país, parte de una correcta evaluación de la escorrentía superficial de las cuencas, las cuales proporcionan información valiosa para la planificación y gestión de los recursos hídricos a nivel nacional. Para nuestro caso, la microcuenca del Río Sendamal se encuentra en la cabecera de dicha cuenca, la cual es conocida por su alta producción agrícola y minera. La evaluación de la escorrentía superficial de la cuenca puede proporcionar información útil para la gestión de los recursos hídricos en la región y para la prevención de la contaminación causada por actividades mineras y agrícolas. Por otro lado, la ciudad de Celendín depende en gran medida del uso adecuado de los recursos hídricos de la microcuenca del Río Sendamal. La evaluación de la escorrentía superficial de la cuenca proporciona información útil para el aprovechamiento y planificación del recurso hídrico con fines de uso poblacional, beneficiando a más de 27 000 habitantes.

Finalmente con el presente estudio se cuenta con información precisa sobre la cantidad de agua disponible en la microcuenca del Río Sendamal para garantizar el acceso equitativo y sostenible a los habitantes de la ciudad de Celendín.

1.4. Bases teóricas

Agua.

El agua es un recurso natural renovable, vulnerable, indispensable para la vida, insumo fundamental para las actividades humanas, estratégica para el desarrollo sostenible del país, el mantenimiento de los sistemas y ciclos naturales que la sustentan y la seguridad de la Nación. El acceso al agua para la satisfacción de las necesidades primarias de la persona humana es prioritario sobre cualquier otra clase o tipo de uso. En situaciones de escasez, el Estado asegura el uso preferente del agua para fines de abastecimiento de las necesidades poblacionales. (Reglamento de la Ley de Recursos Hídricos Ley N° 29338)

Escorrentía superficial

Es el agua proveniente de la precipitación que circula sobre o bajo la superficie terrestre y que llega a una corriente para finalmente ser drenada hasta la salida de la cuenca. La escorrentía superficial se mide en las tres formas:

- Unidades de gasto, volumen de la unidad de tiempo m^3/s o $Hm^3/año$.
- En unidades de gasto unitario $m^3/s./km^2$ o $Hm^3/km^2/año$
- En lámina equivalente sobre las cuencas, en $mm/día$, mm/mes o $mm/año$

(Caluana, Yugar. 2009).

Agua para uso poblacional.

Consiste en la extracción del agua de una fuente a través de un sistema de captación, tratamiento y distribución, con el fin de satisfacer las necesidades humanas

básicas: preparación de alimentos y hábitos de aseo personal. (Reglamento de la Ley de Recursos Hídricos Ley N° 29338).

- RM-192-2018-Vivienda
- Reglamento Nacional de Edificaciones - OS.010 Captación y conducción de agua para consumo humano

Cuenca hidrográfica

Es un área geográfica natural delimitada por una divisoria topográfica, que capta las precipitaciones y drena el agua de escorrentía hacia un colector común llamado río principal.

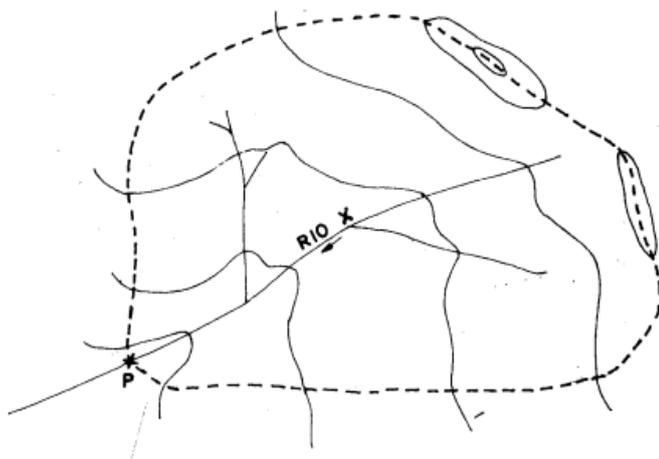


Figura N° 1 La cuenca Hidrográfica

Según la clasificación de unidades hidrográficas, una cuenca tiene más de 50 000 has, sub cuenca esta entre 5 mil – 50 mil has, y la microcuenca tiene menor a 50 000 has. (Villanueva, 2016)

Características físicas de las cuencas

Las características físicas más importantes de una cuenca son:

- Área
- Histograma de frecuencias altimétricas

- Perímetro
- Forma de la cuenca
- Longitud
- Pendiente promedio
- Curva hipsométrica
- Densidad de drenaje
- Alturas y elevación promedio
- Perfil cauce principal
- Pendiente promedio del cauce principal

(Caluana, 2009).

Ciclo hidrológico

El ciclo hidrológico es un conjunto de cambios que experimenta el agua en la Naturaleza, tanto en su estado (sólido, líquido y gaseoso) como en su forma (agua superficial, agua subterránea, etc.). (Chereque, 1989)

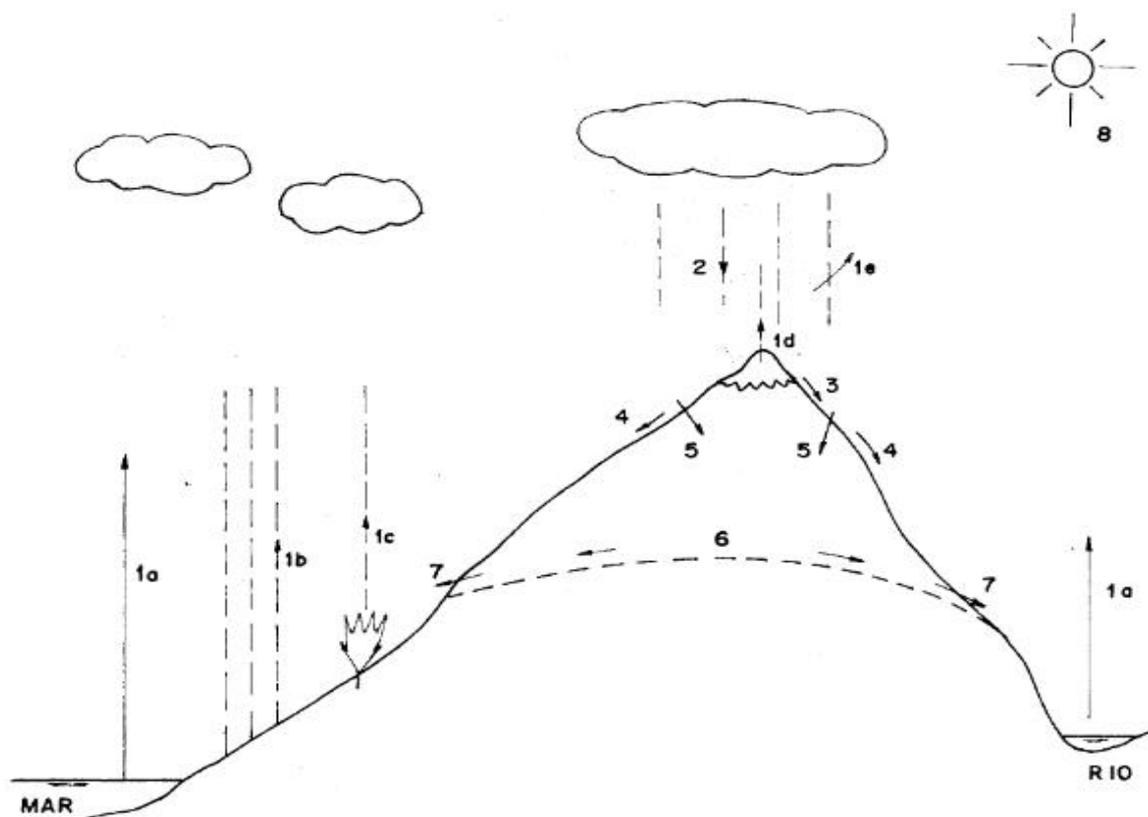


Figura N° 2 El ciclo hidrografico

Donde (1a) Evaporación desde superficies de agua (mares, ríos, lagos, etc), (1b) evaporación desde superficies húmedas de suelo. (1c) evaporación desde las plantas (transpiración). (1d) evaporación desde la nieve. (1e) evaporación desde la precipitación misma. (2) precipitación, en forma de lluvia, nevada o

granizada. (3) fusión. (4) escorrentía. (5) infiltración (6) capas de agua subterránea. (7) manantiales.
(8) rayos solares.

Disponibilidad hídrica.

Se define como el volumen potencialmente disponible de agua para un sector con el fin de consumirla en la agricultura, industria o uso municipal. Dependiendo del desarrollo económico, la calidad y la infraestructura del país variara el aprovechamiento del nivel de agua (Corponariño, 2009).

Oferta hídrica.

Es aquella porción de agua que escurre después de la precipitación de la cuenca y de satisfacer la necesidad de evapotranspiración e infiltración del suelo. Escurre a través de cauces de ríos y otras corrientes de la superficie (Corponariño, 2009).

Demanda hídrica.

Corresponde a la medición de la cantidad de agua requerida para cubrir tanto las necesidades básicas biológicas o culturales como en el desarrollo económico de la sociedad (Corponariño, 2009).

Parámetros Geomorfológicos de la cuenca

Los parámetros geomorfológicos de la microcuenca del río Sendamal queda definida por su forma, relieve y drenaje, esta interrelación suministra la base para predecir cuantitativamente la respuesta hidrológica en una cuenca hidrográfica.

Parámetros Básicos:

- Área de la cuenca (A)
- Perímetro de la cuenca (P)
- Longitud de la cuenca (L)
- Longitud del Cauce Principal (Lp)
- Cota inicial del Cauce Principal

- Cota Final Cauce Principal
- Longitud total de cauces (Lt)
- Ancho de la cuenca (W)

Altitudes Características

- Altitud media de la Cuenca
- Altitud más frecuente
- Altitud de Frecuencia media (Em)

$$Em = \frac{\sum ae}{A}$$

Ec. [1]

Parámetros Geomorfológicos

- Factor Forma (F)

$$F = \frac{A}{L^2}$$

Ec. [2]

Relación de elongación (R)

$$R = 1,128 \frac{\sqrt{A}}{L}$$

Ec. [3]

Relación de Circularidad (Rc)

$$Rc = \frac{4A\pi}{p^2}$$

Ec. [4]

Índice de Compacidad o Índice de Gravelious (K)

$$K = 0,28 \frac{P}{\sqrt{A}}$$

Ec. [5]

Parámetros de la red Hidrográfica

- Densidad de drenaje (Dd)

$$Dd = \frac{Lt}{A}$$

Ec. [6]

- Constante de estabilidad del río (C)

$$C = \frac{A}{Lt}$$

Ec. [7]

- Densidad de escorrentía o densidad hidrográfica (Dh)

$$Dh = \gamma Dd^2$$

Ec. [8]

Numero de orden del cauce

Es un número que refleja el grado de ramificación de la red de drenaje.
(CAHUANA, A. y YUGAR, W. 2009)

Tiempo de concentración

Es un parámetro que se usa intensamente en los cálculos de la relación precipitación-escorrentía, es el tiempo de concentración de la cuenca; es decir el tiempo que una partícula tarda en llegar del punto más alejado al punto de desagüe.
(FATORELLI, S. y FERNÁNDEZ, P. 2011)

Existen diversas fórmulas para su estimación, entre las más usadas se tiene:

- Kirpich (1940). Desarrolla con información proporcionada por el Soil Conservation Service (SCS) en siete cuencas en Tennessee (USA) de áreas comprendidas entre 0.0051 y 0.433 km², en canales de altas pendientes (3- 10%). Es una de las fórmulas más tradicionales que expresa el tiempo de concentración así:

$$T_c = 0,000325 \left(\frac{L}{\sqrt{S}} \right)^{0,77}$$

Ec. [9]

Donde:

L : Longitud del cauce principal en metros.

S :Pendiente del cauce principal en m/m.

Determinación de parámetros estadísticos

Los principales estadísticos son los momentos de primer, segundo y tercer orden correspondiente a la media, varianza, y asimetría respectivamente.

a. Media aritmética.

Es el valor esperado de la variable misma. Primer momento respecto al origen y muestra la tendencia central de la distribución y de determina con la siguiente ecuación matemática:

$$\mu = \int_{-\infty}^{\infty} xf(x)dx$$

Ec. [10]

El valor estimado de la media a partir de la muestra es:

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n xi$$

Ec. [11]

b. Varianza.

La varianza mide la variabilidad de los datos. Es el segundo momento respecto a la media

$$\sigma^2 = \int_{-\infty}^{\infty} (x - \mu)^2 f(x)dx$$

Ec. [12]

El valor estimado de la varianza a partir de la muestra es

$$s^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{n-1}^n (x - \bar{x})^2$$

Ec. [13]

En el cual el divisor es n-1 en lugar de n para asegurar que la estadística de la muestra no sea sesgada, es decir, que no tenga una tendencia, en promedio, a ser mayor o menor que el valor verdadero.

La desviación estándar es una medida de la variabilidad que tiene las mismas dimensiones que la media y simplemente es la raíz cuadrada de la varianza, se estima.

$$S = \left[\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \right]^{\frac{1}{2}}$$

Ec. [14]

El coeficiente de variación es una medida adimensional de la variabilidad y su estimativo es la relación de la desviación estándar y la media.

$$Cv = \frac{S}{\bar{x}}$$

Ec. [15]

Tratamiento de la información climatológica.

a. Análisis de los datos de precipitación

La información pluviométrica o pluviográfica antes de ser estudiada en su comportamiento debe ser revisada y analizada en tres aspectos importantes: si los datos de la estación es completa, si es consistente y si es de extensión suficiente.

b. Completación y extensión de datos faltantes.

Los procedimientos para efectuar la completación y extensión de datos hidrometeorológicos se basan en la aplicación de técnicas estadísticas y

matemáticas. En todos los casos, debe analizarse la confiabilidad de la técnica utilizada.

La completación se refiere a la determinación de los datos faltantes en la serie incompleta, mientras que la extensión es el “alargue” de registros cortos (menor de 30 años de información). Esto se hace con información de buena calidad.

c. Método de regresión normalizada

La precipitación media anual (o mensual) de cualquiera de las estaciones auxiliares 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.

El dato faltante anual o mensual P_x será igual a:

$$P(x) = \frac{1}{n} \left[\frac{N_x}{N_1} P_1 + \frac{N_x}{N_2} P_2 + \dots + \frac{N_x}{N_n} P_n \right] \quad \text{Ec. [16]}$$

Donde:

N_x = precipitación media anual o mensual de la estación incompleta, (mm).

N_1, N_2, \dots, N_n = precipitación media anual o mensual de las estaciones auxiliares 1, 2 y n, (mm).

P_1, P_2, P_n = precipitación anual o mensual observada en las estaciones 1, 2...y n para la misma fecha que la 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. (CAHUANA, A. y YUGAR, W. 2009)

d. Método de regresión lineal.

Para la completación se usa preferentemente la regresión lineal simple que puede ser correlación cruzada o autocorrelación.

La correlación cruzada es un cruce de información. Se emplea cuando existe información de estaciones vecinas o se cuenta con información de algunas cuencas de carácter similar a la analizada.

En tal sentido, el modelo matemático más usado para transferir información hidrológica es el modelo de regresión lineal simple.

$$y_t = a + b x_t \tag{Ec. [17]}$$

donde:

$y(t)$: Variable hidrológica dependiente

x_t : Variable hidrológica independiente

a y b : Parámetros de la ecuación.

$$b = \frac{N_1 \sum x_i y_i - \sum x_i \sum y_i}{N_1 \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2} \tag{Ec. [18]}$$

$$a = \bar{y}_1 - b \bar{x}_1 \tag{Ec. [19]}$$

Donde:

N_1 = Tamaño del registro común a ambas series o tamaños del registro corto.

$$\bar{y}_1 = \frac{\sum y_i}{N_1} \tag{Ec. [20]}$$

$$\bar{x}_1 = \frac{\sum x_i}{N_1} \tag{Ec. [21]}$$

$$r = \frac{N_1 \sum x_i y_i - \sum x_i \sum y_i}{\sqrt{[N_1 \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2][N_1 \sum y_i^2 - (\sum y_i)^2]}} \tag{Ec. [22]}$$

$$S_{t(y)} = \sqrt{\frac{1}{N_1} [\sum_{i=1}^{N_1} (y_1 - \bar{y}_1)^2]}$$

Ec. [23]

$$S_{t(x)} = \sqrt{\frac{1}{N_1} [\sum_{i=1}^{N_1} (x_1 - \bar{x}_1)^2]}$$

Ec. [24]

Donde:

\bar{y}_1 y \bar{x}_1 : Son los estimados de las medias de los períodos comunes, de tamaño N1 de las variables yt y xt.

St(y) , St(x) : Son los estimados no sesgados de las desviaciones estándar, de yt y xt de los períodos comunes de tamaño N1.

r : Coeficiente de correlación.

La ecuación de completación o extensión resulta:

$$y_t = \bar{y}_1 + r \frac{S_{t(y)}}{S_{t(x)}} (x_t - \bar{x}_1)$$

Ec. [25]

Donde:

xt : Serie de registro “largo” de tamaño N = N1 + N2

N1 : Tamaño del registro común.

N2 : Tamaño del registro no común.

Criterios de confiabilidad.

a. Cálculo del estadístico Tc, según:

$$T_c = \frac{r\sqrt{(N_1 - 2)}}{\sqrt{(1 - r^2)}}$$

Ec. [26]

Donde:

Tc : Valor del estadístico T calculado.

$N1$: Tamaño del registro común de las series.

r : Coeficiente de correlación.

b. Cálculo de T_t

El valor de T_t se obtiene de tablas para $\alpha = 0.05$ y G.L. = $N1 - 2$

c. Criterios de decisión

Si $|T_c| \leq T_t \rightarrow r$ no es significativo, por lo tanto, no hay correlación significativa.

Si $|T_c| > T_t \rightarrow r$ es significativo, por lo que si existe correlación significativa entre las variables y_t y x_t , y se puede usar la expresión [25].

Si r resulta no significativo se puede aplicar el proceso de autocorrelación o probar con otra serie.

d. Análisis de consistencia

El análisis de consistencia de la información es el proceso que consiste en la identificación o detección, descripción y remoción de la no-homogeneidad e inconsistencia de una serie de tiempo hidrológica. La no-homogeneidad e inconsistencia en series hidrológicas constituye uno de los aspectos más importantes en los estudios hidrológicos contemporáneos, pues un error significativo introducido en el análisis podría afectar o falsear los resultados. (ORTIZ, O. 1995)

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, O. 1995)

Identificación de saltos

En esta etapa se realiza la identificación de saltos, la causa de su origen y, mediante la combinación de tres criterios: a) información de campo, b) análisis gráfico y, c) análisis de doble masa se puede determinar si el error es de tipo natural o artificial.

a. Análisis Gráfico

Consiste en un análisis visual de la información original; para lo cual la información hidrometeorológica se grafica en coordenadas cartesianas representando en el eje de las ordenadas el valor de la información (precipitación, descargas, etc.) y en el eje de las abscisas el tiempo cronológico respectivo (anuales, mensuales, semanales, diarios).

Este primer análisis sirve para tener una primera aproximación acerca de la bondad de los datos y separar los periodos dudosos de los confiables para tenerlos en cuenta en el análisis de doble masa y en las pruebas de consistencia. (ORTIZ, O. 1995)

b. Análisis de Doble Masa

El análisis de doble masa se realiza para la determinación de la consistencia de la información, mas no para eliminar errores, en vista de que la línea de doble masa no constituye una línea de regresión.

Esta técnica consiste en seleccionar la información de una o varias Estaciones de la cuenca, llamadas(s) Estación(es) Índice, cuyos datos se consideran confiables. Esta información sirve de comparación para el resto de Estaciones.

El procedimiento es como sigue:

Plotear, en el eje de las abscisas, el promedio de los datos anuales acumulados de la(s) Estación(es) Índice versus los datos acumulados anuales de cada Estación que se estudia, en el eje de las ordenadas.

Los análisis gráficos y de doble masa, sirven básicamente para establecer sospechas de posibles errores y para determinar los rangos de los periodos dudosos y confiables correspondientes a cada Estación en estudio.

Para efecto del análisis de doble masa, los datos faltantes se pueden completar con la media mensual (si el análisis es mensual) o por interpolación mediante regresión simple o múltiple. (ORTIZ, O. 1995)

c. Evaluación y cuantificación de saltos

La evaluación y cuantificación de los errores detectados en la forma de saltos se realiza mediante un análisis estadístico; vale decir, un proceso de inferencia para las medias y desviación estándar de ambos periodos (dudoso y confiable).

Consistencia en la Media

La consistencia en la media se verifica mediante la prueba estadística “T” de Student. Se trata de analizar si las medias de los datos correspondientes a los periodos dudoso y confiable son equivalentes o diferentes estadísticamente, para cierto nivel de significación o preestablecido. (ORTIZ, O. 1995)

Formulación de la hipótesis:

La hipótesis planteada H_0 , respecto a la homogeneidad de medias es: “Las medias muestrales de los datos correspondientes a los periodos dudoso y fiable son equivalentes estadísticamente a un nivel de confianza de $100-\alpha$ ”

La hipótesis alterna H_A queda definida así: “Las medias muestrales de los datos correspondientes a los periodos dudoso y fiable no son equivalentes estadísticamente a un nivel de confianza de $100-\alpha$ ”

Estadísticamente, las hipótesis anteriores se expresan como sigue:

$$H_P: \bar{X}_1 = \bar{X}_2 \quad H_A: \bar{X}_1 \neq \bar{X}_2$$

Ec. [27]

Determinación del T tabular “Tt”

El número de grados de libertad total se expresa:

$$GL = n_1 + n_2 - 2$$

Ec. [28]

Determinación del T calculado “Tc”

El estadístico “Tc “ se calcula mediante las expresiones siguientes:

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

Ec. [29]

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

Ec. [30]

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

Ec. [31]

$$S_1^2 = \frac{1}{n_1 - 1} \sum_{i=1}^{n_1} (x_1 - \bar{x}_1)^2$$

Ec. [32]

$$S_2^2 = \frac{1}{n_2 - 1} \sum_{i=1}^{n_2} (x_2 - \bar{x}_2)^2$$

Donde:

Sd : Desviación estándar de las diferencias de las medias.

Sp : Desviación estándar ponderada.

$\bar{X}_1; \bar{X}_2$: Media muestral del periodo 1 y 2 respectivamente.

$S_1; S_2$: Desviación estándar muestral del periodo 1 y 2.

$X_1; X_2$: Datos de la serie analizada del periodo 1 y 2

$n_1; n_2$: Número de datos del periodo 1 y 2 respectivamente.

Criterios de aceptación o rechazo

Si $|Tc| \leq Tt$, ($\alpha = 5\%$) \leftrightarrow *Aceptar HP* Medias son iguales

$|Tc| > Tt$, ($\alpha = 5\%$) \leftrightarrow *Aceptar HA* Medias son diferentes

En el primer caso, se dice que la prueba T es no significativa y, en el segundo caso, la prueba puede ser significativa o altamente significativa. En este último caso, implica corregir la información, eliminando el salto del periodo dudoso y sin tener que recurrir a la prueba F.

Consistencia en la Desviación Estándar

La homogeneidad de las varianzas se verifica mediante la prueba “F” de Fisher, según el siguiente procedimiento:

Formulación de la Hipótesis

Similarmente a como se procedió en la prueba de T, las hipótesis de esta prueba se plantean estadísticamente de la siguiente manera:

$$HP: S_1^2 = S_2^2 ; (\alpha = 5\%)$$

$$HA: S_1^2 \neq S_2^2 ; (\alpha = 5\%)$$

Ec. [34]

Determinación del F calculado “Fc”

$$F_c = \frac{S_1^2}{S_2^2} \leftrightarrow \text{si } S_1^2 > S_2^2$$

$$F_c = \frac{S_2^2}{S_1^2} \leftrightarrow \text{si } S_2^2 > S_1^2$$

Ec. [35]

$$\text{Si : } S_1^2 > S_2^2 \text{ G.L.N} = n_1 - 1; \text{ G.L.D} = n_2 - 1$$

Ec. [36]

$$\text{Si : } S_2^2 > S_1^2 \text{ G.L.N} = n_2 - 1; \text{ G.L.D} = n_1 - 1$$

Ec. [37]

Donde:

G. L.N : Grados de libertad del numerador.

G. L.D : Grados de libertad del denominador.

Criterios de aceptación o rechazo

$F_c \leq F_t$, (95%) \leftrightarrow *Aceptar HP(muestra consistente)*

$F_c > F_t$, (95%) \leftrightarrow *Aceptar HA(muestra inconsistente)*

Si el periodo 1 es el dudoso y el periodo 2 es el confiable:

$$X'_t = \left(\frac{x_t - \bar{x}_1}{s_1} \right) s_2 + \bar{x}_2$$

Ec. [38]

Si el periodo 1 es el confiable y el periodo 2 es el dudoso:

$$X'_t = \left(\frac{x_t - \bar{x}_2}{s_2} \right) s_1 + \bar{x}_1$$

Ec. [39]

Donde:

 $X't$: Dato a corregir. Xt : Dato corregido.

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. 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, O. 1995)

Tendencia en la Media

La tendencia en la media puede expresarse en forma general por el siguiente polinomio:

$$T_{m,p,t} = A_m + B_m t + C_m t^2 + D_m t^3 + \dots$$

Ec. [40]

Para muchos casos para estimar esta tendencia es suficiente la ecuación de regresión lineal simple:

$$T_{m,p,t} = A_m + B_m t$$

Ec. [41]

Donde:

$T_{m,p,t}$: Tendencia en la media de la información hidrometeorológica corregida o sin salto (proceso estocástico no estacionario)

$A_m + B_m$: Coeficientes de la ecuación de regresión.

t : Tiempo tomado como la variable independiente en el análisis de regresión para evaluar la tendencia, y su valor se halla:

$p = 1,2, \dots, n$: número de años del registro τ

$\tau = 1,2,\dots, w$: periodo básico e igual a 365, 52 ó 12, según que la serie sea diaria, semanal o anual, respectivamente.

Estimación

Con la información que se tiene se calcula los parámetros de la ecuación de regresión lineal simple dados en la ecuación:

$$A_m = \bar{T}_{m,p,t} - B_m \bar{t} \tag{Ec. [42]}$$

$$B_m = R \frac{S_{Tm}}{S_t} \tag{Ec. [43]}$$

$$R = \frac{\bar{t}\bar{T}_{m,p,t} - \bar{t}\bar{T}_{mp,t}}{S_t S_{Tm}} \tag{Ec. [44]}$$

$$T_{m,p,t} = X'_t \tag{Ec. [45]}$$

$$\bar{T}_{m,p,t} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (T_{m,p,t})_i = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X'_t)_i \tag{Ec. [46]}$$

$$\bar{t} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n t_i \tag{Ec. [47]}$$

$$\bar{t} * \bar{T}_{m,p,t} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (T_{m,p,t})_i t_i = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X'_t)_i * t_i \tag{Ec. [48]}$$

$$S_{Tm}^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n [(T_{m,p,t})_i - \bar{T}_m]^2 = S_{X',t_t}$$

Ec. [49]

$$S_t^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (t_i - \bar{t})^2$$

Ec. [50]

Evaluación

Para averiguar si la tendencia es significativa se analiza el coeficiente de regresión “Bm” o el coeficiente de correlación “R”. En este caso se analiza R según el estadístico "T" de Student, desarrollando los siguientes pasos:

Formulación de la hipótesis

$$HP: R = 0; (\alpha = 5\%) \quad HA: R \neq 0; (\alpha = 5\%)$$

Ec. [51]

Cálculo del T calculado “Tc”

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

c. [52]

Donde:

T_c : Valor del estadístico T calculado.

n : Número de datos.

R : Coeficiente de correlación lineal.

Determinación del T tabular "Tt"

$$GL = n - 2; (\alpha = 5\%)$$

Ec. [53]

Criterios de aceptación o rechazo

$|Tc| \leq Tt (\alpha = 95\%) \text{ Aceptar } HP(\text{prueba no significativa})$

$|Tc| > Tt (\alpha = 95\%) \text{ Aceptar } HA(\text{prueba significativa})$

Eliminación de la Tendencia en la Media

Si R resulta significativo entonces la tendencia es significativa siendo necesaria su corrección respectiva, mediante la siguiente ecuación:

$$Y_{p,t} = X'_{p,t} - T_{mp,t}$$

Ec. [54]

$$Y_{p,t} = X'_{p,t} - (A_m + B_m t)$$

Ec. [55]

$$Y_{p,t} = X'_{p,t} - T_{mp,t} + \bar{T}m$$

Ec. [56]

$$Y_{p,t} = X'_{p,t} - (A_m + B_m t) + \bar{T}m$$

Ec. [57]

Donde:

$Y_{p,t}$: Serie sin tendencia en la media.

$X'_{p,t}$: Serie corregida de saltos.

$T_{mp,t}$: Tendencia en la media.

$\bar{T}m$: Promedio de la tendencia en la media o promedio de los valores corregidos de salto.

Tendencia en la Varianza

La tendencia por lo general se presenta en los datos semanales o mensuales no así en anuales. Esta tendencia al igual que la media puede ser aproximada por la ecuación de regresión polinomial tal como:

$$T_{Sp,t} = A_s + B_s t + C_s t^2 + D_s t^3 + \dots$$

Ec. [58]

$$T_{Sp,t} = A_s + B_s t$$

Ec. [59]

Donde:

$T_{Sp,t}$: Tendencia en la desviación estándar.

τ : 1,2,3, . . . , n

n : Número total de años.

A_s , B_s : Coeficiente de la ecuación de regresión que debe ser estimado.

Estimación

Para estimar la tendencia en la desviación estándar se procede en la forma siguiente:

- A la información sin tendencia en la media se divide en varios periodos (años).
- Para cada periodo (año) se calcula su desviación estándar respectiva, obteniéndose tantos valores de desviación estándar como periodos agrupados se disponga, según:

$$S_p = \left[\frac{1}{w-1} \sum_{i=1}^w (Y_{p,t} - \bar{Y}_p)^2 \right]^{\frac{1}{2}}$$

Ec. [60]

Donde:

S_p : Desviación Estándar para el período p (año p).

$Y_{p,t}$: Serie sin tendencia en la media.

\bar{Y}_p : Promedio del periodo p.

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

p : 1,2,3... n

Se determina los parámetros de regresión lineal simple de la ecuación (60), a partir las desviaciones anuales “ S_p ” y el tiempo “ t ” (en años):

$$A_s = \bar{T}S_{p,t} - B_s \bar{t}$$

Ec. [61]

$$B_s = R \frac{S_{Ts}}{S_t}$$

Ec. [62]

$$R = \frac{\bar{t} \bar{T} S_{p,t} - \bar{t} \bar{T} S_{p,t}}{S_t * S_{Ts}}$$

Ec. [63]

$$\bar{T}S = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (S_p)_i$$

Ec. [64]

$$\bar{t} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n t_i$$

Ec. [65]

$$\bar{t} \bar{T} S_{p,t} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (S_p)_i t_i$$

Ec. [66]

$$S_{Ts}^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n [(S_p)_i - \bar{S}_p]^2$$

Ec. [67]

$$S_t^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (t_i - \bar{t})^2$$

Ec. [68]

R : Coeficiente correlación lineal simple entre la tendencia en la media y el tiempo en consideración para el período p (año p).

$\bar{T}s$: Promedio de la tendencia.

\bar{t} : Promedio del tiempo cronológico.

STs : Desviación Estándar de la tendencia en la media.

St : Desviación Estándar del tiempo t.

Evaluación

Para averiguar si la tendencia es significativa se analiza el coeficiente de correlación “R” según el estadístico "T" de Student tal como se mostró para la tendencia en la media.

Formulación de la Hipótesis

$HP: R = 0; (\alpha = 5\%)$ $HA: R \neq 0; (\alpha = 5\%)$

Cálculo del estadístico Tc según: (T calculado)

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

Ec. [69]

Determinación del T tabular “Tt”:

$$GL = n - 2; (\alpha = 5\%)$$

Ec. [70]

Criterios de aceptación o rechazo:

$|Tc| \leq Tt, (\alpha = 95\%) \leftrightarrow \text{Aceptar } H_0 ("R" \text{ no significativa})$

$|Tc| > Tt, (\alpha = 95\%) \leftrightarrow \text{Aceptar } H_A ("R" \text{ significativa})$

Eliminación de la tendencia en la varianza

Si el coeficiente de correlación resulta significativo en la prueba estadística, entonces la tendencia en la desviación estándar es significativa siendo necesario su corrección de la forma siguiente:

$$Z_{p,t} = \frac{Y_{p,t} - T_{m_{p,t}}}{T_{S_{p,t}}}$$

Ec. [71]

$$Z_{p,t} = \left[\frac{Y_{p,t} - T_{m_{p,t}}}{T_{S_{p,t}}} \right] * \bar{T}_{S_{p,t}} + \bar{T}_{m_{p,t}}$$

Ec. [72]

$$Z_{p,t} = \left[\frac{Y_{p,t} - (A_m + B_m t)}{A_S + B_S t} \right] * \bar{T}_{S_{p,t}} + \bar{T}_{m_{p,t}}$$

Ec. [73]

Donde:

$Z_{p,t}$: Serie sin tendencia en la media ni en la desviación estándar.

$T_{m_{p,t}}$: Tendencia en la media.

$T_{S_{p,t}}$: Tendencia en la desviación estándar.

Modelo propuesto por Lutz Scholz

La aplicación y los cálculos correspondientes para el estudio del modelo precipitación - escorrentía propuesto por el experto Lutz Scholz, se encuentran en el

estudio: Generación de Caudales Mensuales en la Sierra Peruana del Programa Nacional de Pequeñas y medianas Irrigaciones Plan Meris II (1980).

Este modelo fue implementado con fines de pronosticar caudales a escala mensual, teniendo una utilización inicial en estudios de proyectos de riego y posteriormente extendiéndose el uso del mismo a estudios hidrológicos (abastecimiento de agua, hidroelectricidad, etc.), los resultados de la aplicación del modelo a las cuencas de la sierra peruana, han producido una correspondencia satisfactoria respecto a los valores medidos. La fórmula utilizada para el desarrollo de caudales para periodos extendidos.

$$Q_t = B_0 + B_1 * Q_{t-1} + B_2 * PE_t + z * S * (1 - r^2)^{0,5}$$

Ec. [74]

Donde:

Q_t : Caudal del mes t

Q_{t-1} : Caudal del mes anterior

PE_t : Precipitación efectiva del mes t

B_1 : Coeficiente de la regresión lineal múltiple

S : Error estándar de la regresión múltiple

r : Coeficiente de correlación múltiple

z : Número aleatorio normalmente distribuido (0,1) del año t

Balance hídrico.

Se analiza el balance hídrico con el fin de establecer modelos parciales, sean estos determinísticos o estocásticos, para regionalizar los parámetros que describen el caudal mensual. La ecuación fundamental del balance hídrico mensual expresada en mm/mes se puede describir en la forma siguiente propuesta por Fischer.

$$CM_i = P_i - D_i + G_i - A_i$$

Ec. [75]

Donde:

 CM_i : 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 periodos largos, el gasto y el abastecimiento son iguales, la retención de la cuenca no cambia a largo plazo, y para un año promedio una parte de la precipitación retorna a la atmosfera por evaporación. Entonces se sustituye (P-D) por (C*P), y tomando en cuenta que la descarga se mide en (m³/s) la ecuación (1) se convierte en:

$$Q = c' * C * P * AR$$

Ec. [76]

Donde:

Q : Caudal (m³/s) c' : Coeficiente de conversión del tiempo (mes/seg)

C : Coeficiente de escurrimiento

P : Precipitación total mensual (mm/mes)

AR : Área de la cuenca (m²)**Coeficiente de escurrimiento.**

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

Ec. [77]

Donde:

C : Coeficiente de escurrimiento (mm/año)

P : Precipitación Total anual (mm/año)

D : Déficit de escurrimiento (mm/año)

Para determinar el déficit de escurrimiento (D) se utiliza la siguiente expresión:

$$D = P \frac{1}{\left(0,9 + \frac{P^2}{L^2}\right)^{\frac{1}{2}}}$$

Ec. [78]

Donde:

D : Déficit de escurrimiento (mm/año)

P : Precipitación Total anual (mm/año)

L : Coeficiente de la temperatura

Para determinar el coeficiente de la temperatura (L), se utiliza la siguiente expresión:

$$L = 300 + 25 * T + 0,05 * T^3$$

Ec. [79]

Donde:

T : Temperatura media anual (°C)

Evapotranspiración.

La evapotranspiración se determina por la fórmula de radiación desarrollada por Hargreaves para el cálculo de la evapotranspiración potencial, la formula aplicada es:

$$EP = 0,0075 * RSM * TF * FA$$

Ec. [80]

$$RSM = 0,075 * RA * \left(\frac{n}{N}\right)^{\frac{1}{2}}$$

Ec. [81]

$$FA = 1 + 0,06 * AL$$

Ec. [82]

Donde:

EP : Evapotranspiración potencial anual (mm/año)

RSM : Radiación solar media

TF : Componente de la temperatura

FA : Coeficiente de corrección por elevación

TF : Temperatura media anual

RA : Radiación extraterrestre

n/N : Relación entre insolación actual y posible (%)

n/N : 50% (estimación sobre base de registros)

AL : Elevación media de la cuenca en kilómetros (Km)

La temperatura media anual de la cuenca se calcula en base a datos registrados en las estaciones de referencia teniendo en cuenta una gradiente de temperatura de - 5.3 °C/1000m, que se determinó para la sierra.

Precipitación Efectiva.

Los caudales medios observados pertenecen a un estado de equilibrio entre gasto y abastecimiento de la retención de la cuenca respectiva.

$$PE = a_0 + a_1P + a_2P^2 + a_3P^3 + a_4P^4 + a_5P^5$$

Ec. [83]

Donde:

PE : Precipitación efectiva (mm/mes)

P : Precipitación total mensual (mm/mes)

ai : Coeficiente del polinomio

Tabla 1 Coeficientes “ a_i ” para la aplicación del polinomio

Coef.	Curva I	Curva II	Curva III
a_0	-0,018	-0,021	-0,028
a_1	-0,0185	0,01358	0,2756
a_2	0,001105	-0,002296	-0,004103
a_3	$-1,20E - 05$	$4,35E - 05$	$5,53E - 05$
a_4	$1,44E - 07$	$-8,90E - 08$	$1,24E - 07$
a_5	$-2,85E - 10$	$-8,79E - 11$	$1,42E - 09$

Fuente: Plan Meris II

De este modo se llega a la relación entre la precipitación efectiva y precipitación total:

$$C = \frac{Q}{P} = \sum_{i=1}^{12} \frac{PE_i}{P}$$

Ec. [84]

Donde:

C : Coeficiente de escurrimiento

Q : Caudal anual

P : Precipitación Total anual

$$\sum_{i=1}^{12} \frac{PE_i}{P} = \text{Suma de precipitación efectiva mensual}$$

Retención en la cuenca.

Suponiendo que para un año promedio exista un equilibrio entre el gasto y el abastecimiento de la reserva de la cuenca y admitiendo que el caudal total sea igual a la precipitación efectiva anual.

$$R_i = CM_i - PE_i CM_i = PE_i + G_i - A_i$$

Ec. [85]

Donde:

CM_i : Caudal mensual (mm/mes)

PE : Precipitación efectiva mensual (mm/mes)

Ri : Retención de la cuenca (mm/mes)

Gi : Gasto de la retención (mm/mes)

Ai : Abastecimiento de la retención (mm/mes)

Ri : Gi para valores mayores de cero (mm/mes)

Ri : Ai para valores menores de cero (mm/mes)

Sumando los valores de G o A respectivamente, se halla la retención total R de la cuenca para el año promedio, que para en caso de las cuencas de la sierra varia de 43 a 188 (mm/año).

Relación entre descargas y retención.

Durante la estación seca el gasto de la retención alimenta los ríos y mantiene la descarga básica. La reserva de la cuenca se agota al final de la estación seca y durante este tipo se puede identificar la descarga del mes anterior y el coeficiente de agotamiento según la fórmula:

$$Q_t = Q_0 * e^{-a*t}$$

Ec. [86]

Donde:

Qt : Descarga en el tiempo t

Qo : Descarga inicial

a : Coeficiente de agotamiento

t : tiempo

Al principio de la estación lluviosa el proceso de agotamiento de la reserva termina y parte de las lluvias más abundantes entre en los almacenes hídricos. El proceso de abastecimiento 54 se muestra por un déficit entre la precipitación efectiva y el caudal

real. En base a los hidrogramas de 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.

Coefficiente de agotamiento.

El coeficiente de agotamiento de la cuenca tiene una dependencia logarítmica del área de la cuenca

$$a = f(LnAR)$$

Ec. [87]

$$a = 3,1449E67(AR)^{-0,1144}EP^{-19,336}(T)^{-3,369}(R)^{-1,429}$$

Ec. [88]

El análisis de las observaciones disponibles se muestra, además cierta influencia del clima, la geología y la cobertura vegetal. Se ha desarrollado una ecuación empírica para la sierra peruana: 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 la determinación del coeficiente “a” para cuatro clases de cuencas:

- Agotamiento muy rápido: por temperatura elevada mayor de 10°C y retención reducida (50 mm/año) hasta retención mediana (80 mm/año)

$$a = 0,0025 * Ln(AR) + 0,034$$

Ec. [89]

- Agotamiento rápido: por la retención entre 50 y 80 mm/año y vegetación poco desarrollada (puna)

$$a = -0,00252 * Ln(AR) + 0,030$$

Ec. [90]

- Agotamiento mediano: por retención mediana (alrededor de 80 mm/año) y vegetación mezclada (pastos, bosques y terrenos cultivados)

$$a = -0,00252 * Ln(AR) + 0,026$$

Ec. [91]

- Agotamiento reducido: por alta retención (arriba de 100 mm/año) y vegetación mezclada

$$a = -0,00252 * Ln(AR) + 0,23$$

Ec. [92]

Donde:

a : Coeficiente de agotamiento por día

AR : Área de la cuenca (km²)

EP : Evapotranspiración potencial anual (mm/año)

T : Duración de la temporada seca (días)

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

Almacenamiento hídrico.

Entre los almacenes naturales que producen el efecto de la retención en la cuenca, se puede distinguir tres tipos con mayor importancia:

Acuíferos

Lagunas y Pantanos

Nevados

La determinación de la lámina “L” que almacena cada tipo de estos almacenes está dado por: Acuíferos:

$$L_A = +750 * I + 315$$

Ec. [93]

Donde:

L_A : Lamina especifica de acuíferos

I : Pendiente de desagüe: $I \leq 15\%$

Lagunas y pantanos

LL = 500 (mm/año)

LL : Lamina especifica de lagunas y pantanos

Nevados

LN = 500 (mm/año)

LN : Lamina especifica de nevados

Gasto de la Retención.

La contribución mensual de la retención durante la estación seca se puede determinar experimentalmente en base a datos históricos de la cuenca en estudio por la siguiente expresión:

$$G_i = \left[\frac{b_i}{\sum_{i=1}^m b_i} \right] R$$

Ec. [94]

Donde:

b_i : Relación entre el caudales del mes actual y anterior (coeficiente del gasto de la retención).

$\sum_{i=1}^m b_i$: Sumatoria de la relación entre el caudal del mes i y el caudal inicial (Coeficiente del gasto de la retención)

G_i : Gasto mensual de la retención (mm/mes)

R : Retención de la cuenca (mm/mes)

Abastecimiento de retención.

El abastecimiento durante la estación lluviosa es uniforme para cuencas ubicadas en la misma región climática. En la región del Cusco el abastecimiento comienza en el mes de noviembre con 5%, alcanzando hasta enero el valor del 80 % del volumen final. Las precipitaciones altas del mes de febrero completan el 20 % restante, y las precipitaciones efectivas del mes de marzo escurren directamente sin contribuir a la retención. Los coeficientes mensuales expresados en porcentaje del almacenamiento total anual se muestran.

Tabla 2

Abastecimiento de retención

Región	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Total
Cajamarca	25	-5	0	20	25	25	100

Fuente: Plan Meris II

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:

$$A_i = a_i * \frac{R}{100}$$

Ec. [95]

Donde:

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

a_i : Coeficiente de abastecimiento (%)

R : Retención de la cuenca (mm/año)

Determinación del caudal mensual para el año promedio.

Está basado en la ecuación fundamental que describe el balance hídrico mensual a partir de los componentes descritos anteriormente:

$$C_{Mi} = PE_i - G_i - A_i$$

Ec. [96]

Donde:

C_{Mi} : 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 del mes i (mm/mes)

Generación de caudales mensuales para períodos extendidos.

Al fin de generar una serie sintética de caudales para periodos extendidos, se ha implementado un modelo estocástico que consiste en una combinación de un proceso Markoviano de primer orden, según la ecuación con una variable impulso, que en este caso es la precipitación efectiva en la ecuación:

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

Ec. [97]

$$Q = g(PE_t)$$

Ec. [98]

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

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

Ec. [99]

La ecuación integral para la generación de caudales mensuales es:

$$Q_t = B1 + B2Q_{t-1} + B3PE_t + zS\sqrt{1 - r^2}$$

Ec. [100]

Donde:

Q_t : Caudal del mes t

Q_{t-1} : Caudal del mes anterior

PE_t : Precipitación efectiva del mes t

$B1$: Factor constante caudal básico

El método Lutz-Scholz, también conocido como determinístico - estocástico, se utiliza para estimar la escorrentía superficial en una cuenca hidrográfica a partir de datos como la precipitación, la permeabilidad del suelo y la cobertura vegetal. Si bien es un método comúnmente utilizado, también presenta algunas limitaciones que se tuvieron en cuenta al aplicarlo en la presente tesis. Algunas de estas limitaciones son:

- El método Lutz-Scholz se basa en ciertos supuestos simplificados, como que la lluvia cae uniformemente en toda la cuenca y que la capacidad de infiltración del suelo es constante. Estos supuestos pueden no ser precisos en todas las situaciones, lo que puede afectar la precisión de los resultados.
- El método Lutz-Scholz se utiliza comúnmente en cuencas pequeñas y medianas, pero puede no ser adecuado para cuencas muy grandes o muy pequeñas. En cuencas grandes, pueden ser necesarios datos adicionales o modelos más complejos para obtener resultados precisos. En cuencas muy pequeñas, el método puede no ser aplicable debido a la falta de datos.

- El método Lutz-Scholz asume que la lluvia y la escorrentía son proporcionales, lo que significa que los resultados pueden ser imprecisos en áreas con climas muy variables o extremos.
- El método es más adecuado para cuencas pequeñas y poco desarrolladas, y puede no ser aplicable en cuencas más grandes o urbanizadas.
- El método Lutz-Scholz no tiene en cuenta la calidad del agua, lo que puede ser importante en áreas donde la contaminación es un problema.

1.5. Ética en el desarrollo

En general, la ética en la investigación científica se refiere al conjunto de normas, valores y principios que guían nuestra conducta durante el desarrollo de la presente investigación:

- **Consentimiento informado:** Se aseguró que todo el personal involucrado en la presente investigación entiendan el propósito del estudio y otorguen su consentimiento voluntario para participar en él. Esto implicó proporcionar información clara y comprensible sobre el estudio, así como garantizar que las personas estén en libertad para decidir si desean participar o no.
- **Consideraciones culturales:** Debido a que la investigación involucra a comunidades o grupos culturales específicos, nos aseguramos de que se respeten sus valores, creencias y prácticas culturales.
- **Honestidad e integridad científica:** nosotros, los responsables del presente trabajo somos honestos y transparentes en lo realizado, evitando la manipulación

de datos o la tergiversación de resultados. Además, garantizamos que cualquier información obtenida durante la investigación será utilizada de manera responsable y para fines legítimos.

- Divulgación de resultados: los resultados de la investigación serán divulgados de manera clara y precisa, asegurando que los participantes y la comunidad en general puedan entender y beneficiarse de los resultados.

1.6. Formulación del Problema

¿Cuál es el aporte de la escorrentía superficial de la microcuenca del río Sendamal para fines de uso poblacional de la ciudad de Celendín 2022?.

1.2.1. Preguntas Específicas

- ¿Cuáles son los parámetros geomorfológicos de la micro cuenca Sendamal, aplicando el software ArcGIS?.
- ¿Cuáles son los caudales medios mensuales de escorrentía superficial mediante el modelo de Lutz Schotz para el periodo hidrológico 1964 – 2016?
- ¿Cuál es el aporte hídrico de la micro cuenca Sendamal?

1.7. Objetivos

1.3.1. Objetivo General

Determinar el aporte de la escorrentía superficial en la microcuenca del Río Sendamal, con fines de uso poblacional de la ciudad de Celendín – 2022.

1.3.2. Objetivos Específicos

- Determinar los parámetros geomorfológicos de la Subcuenca Sendamal, aplicando el software ArcGIS.

- Calcular los caudales medios mensuales de escorrentía mediante el modelo de Lutz Schotz para el periodo hidrológico 1964 – 2016.
- Evaluar el potencial de uso de la escorrentía superficial de la microcuenca del río Sendamal para abastecer de agua potable a la población de Celendín.

1.8. Hipótesis

La escorrentía superficial de la microcuenca del río Sendamal tiene el potencial de ser utilizada para satisfacer en un 100 % las necesidades de agua potable de la población de la ciudad de Celendín.

CAPÍTULO II: METODOLOGÍA

2.1. ÁREA DE ESTUDIO

El río Sendamal está ubicado en el norte del Perú, región Cajamarca, provincia de Celendín, en los distritos de Sucre, Sorochuco y Huasmín, formando parte de la vertiente del Atlántico. La microcuenca Sendamal pertenece a la cuenca Las Yangas – Suite, la cual limita por el Norte con la cuenca Chotano-Llaucano, por el Sur con las cuencas Crisnejas y Huamachuco, por el Este con las cuencas Utcubamba y Huallaga central y por el Oeste con la cuenca Cajamarca.

2.1.1. Demarcación Política:

Politicamente la microcuenca se encuentra en:

Región : Cajamarca

Provincia : Celendín

Distritos : Sucre, Sorochuco y Huasmín

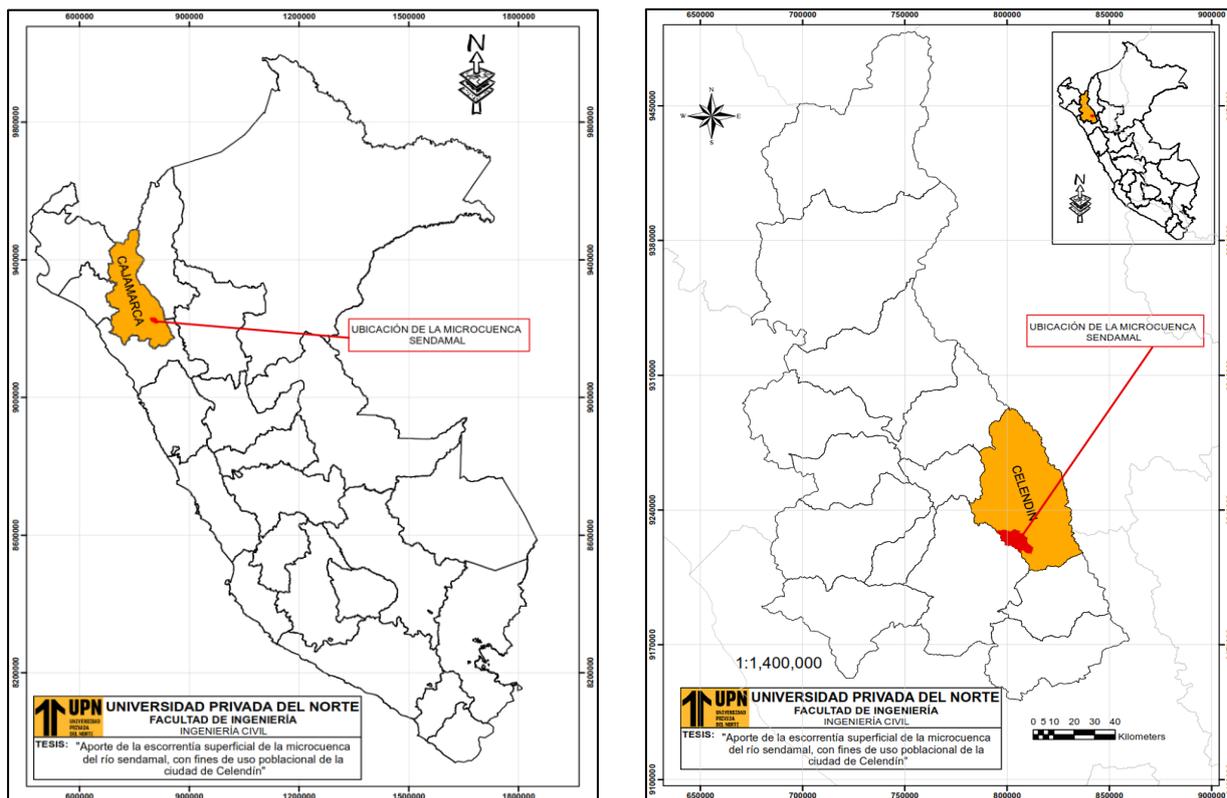


Figura N° 3 Ubicación Regional y provincial de la Cuenca

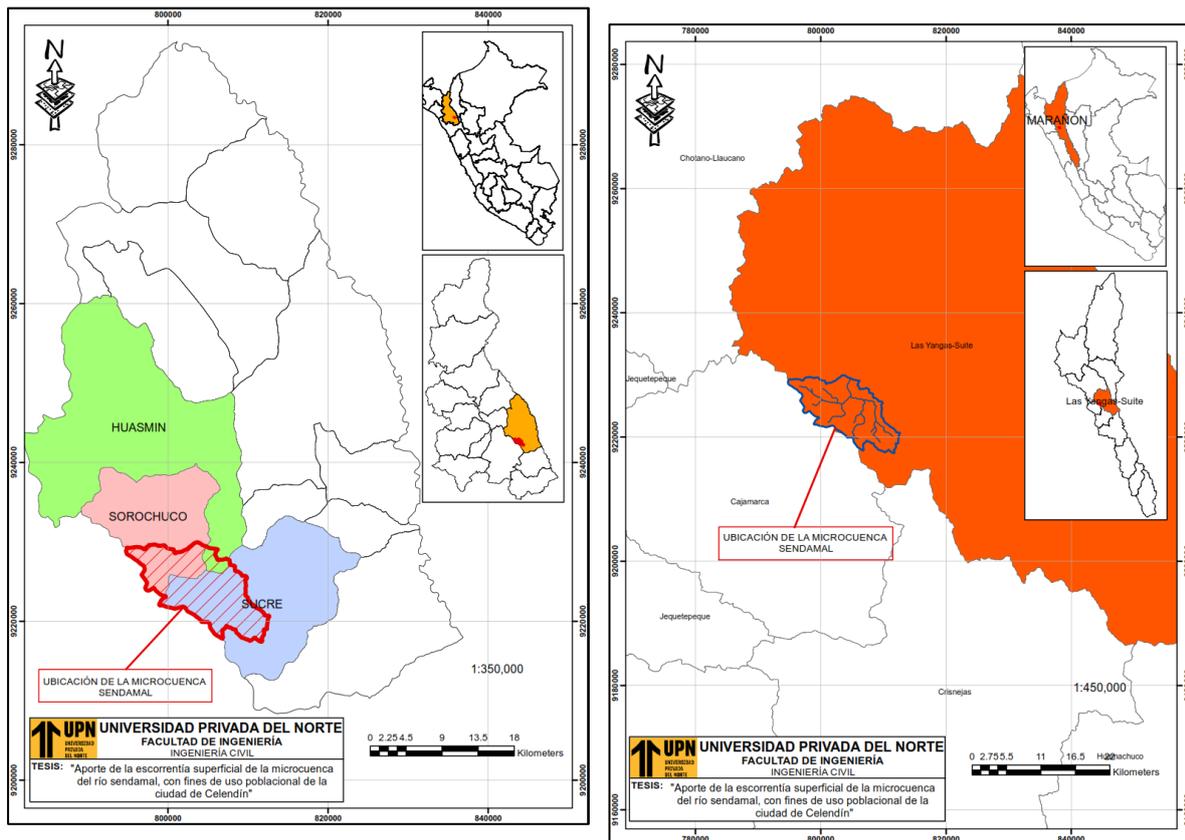


Figura N° 4 Ubicación Distrital e hidrográfica de la Cuenca

2.1.2. Demarcación hidrográfica.

El área de estudio comprende el ámbito de la cuenca del río chonta, de manera que las cuencas hidrográficas limítrofes de ésta son:

Por el norte : Cuenca Chotano-Llaucano.

Por el sur : Cuencas Crisnejas y Huamachuco.

Por el sur este : Cuencas Utcubamba y Huallaga central.

Por el oeste : Cuenca Cajamarca.

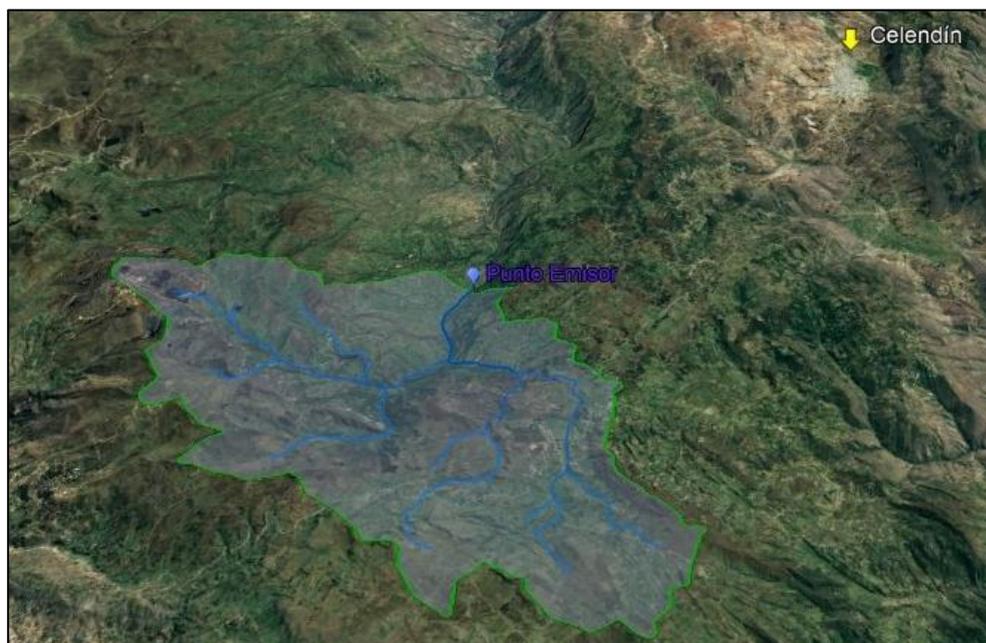


Figura N° 5. Ubicación referencial de la microcuenca Sendamal

2.1.3. Punto emisor

El punto emisor para realizar la investigación está ubicado en las siguientes coordenadas: Zona 17 M, E= 804786.70 N= 9229474.20 S y Z=2703 msnm.

2.2. EQUIPOS E INSTRUMENTOS

2.2.1. Equipos

- Correntómetro tipo hélice para medición de velocidades en ríos y canales.
- Vestuario de protección (poncho para aguas, botas de jebe, guantes)
- GPS navegador
- Cámara fotográfica
- Cronómetro
- Laptop lenovo core i5
- Impresora

2.2.2. Materiales y Equipo de gabinete

- Software: Arc Gis 10.8, Microsoft Office 2010
- Información meteorológica del SENAMHI

- Libros, papel bond A4 de 80 gr, libreta de campo, lapicero, wincha
- Modelos digitales, fotografías satelitales, cartas geográficas.
- Materiales de Campo: Libreta de Campo, Wincha.

2.3. CARACTERÍSTICAS DE LA MICROCUENCA “SENDAMAL”

2.3.1. Ecología

La microcuenca del río Sendamal se sitúa en la cabecera de la Sub-cuenca del río Las Yangas o Llanguat, que constituye parte de la Cuenca del río Marañón y Sistema del Amazonas, pertenecientes a la vertiente del Atlántico.

La microcuenca se extiende desde los 2,703 msnm, punto más bajo (punto emisor), hasta los 4,175 msnm, cota más alta.

El ámbito de estudio constituye el área de drenaje de 18 quebradas, cuyas aguas confluyen al río Sendamal, desde su nacimiento, hasta su desembocadura con el río Las Yangas.

El río Sendamal nace en la quebrada (Qda.) Quengomayo, sus aguas se originan de la Laguna Millpo, asimismo contribuyen con sus aguas, las lagunas La Rinconada y Dos Colores. Estas lagunas se encuentran al pie de los Cerros Caparrosa e Hilorico.

El río Sendamal toma su nombre en la unión de las Qdas. Chanche y Cocotuna. y ocurre poco antes de los 3,100 msnm. de altitud.

De acuerdo al Mapa Ecológico del Perú, publicado por la ONERN, la microcuenca Sendamal está ubicada en la Región Latitudinal Tropical, habiéndose identificando cuatro (04) Formaciones Ecológicas o Zonas de Vida.

El Mapa Ecológico está basado en el Sistema de Clasificación de las Zonas de Vida del Mundo, elaborado por el Dr. Leslie R. Holdridge.

Las Zonas de Vida identificadas son las siguientes:

- Bosque húmedo Montano Tropical (bh-MT)
- Bosque muy húmedo Montano Tropical (bmh-MT)
- Páramo muy húmedo Subalpino Tropical (pmh-SaT)
- Páramo Pluvial Subalpino Tropical (pp-SaT)

En la microcuenca del río Sendamal no existen estaciones climatológicas ni estaciones hidrométricas que muestren la variación de la precipitación y la escorrentía.

Bosque Húmedo Montano Tropical (bmh-MT)

Se ubica en la parte Este de la microcuenca, inmediatamente superior a la Zona de Vida Bosque Húmedo Montano Bajo Tropical, extendiéndose en la parte media, entre los niveles de 2,800 a 3,400 msnm.

La precipitación total anual promedio, de la Zona de Vida, varía de 498 mm a 1,154 mm y la biotemperatura media anual mínima es de 7.3 C y la media anual máxima, de 13.1 °C. De acuerdo al Diagrama Bioclimático de Holdridge, la evapotranspiración total anual promedio varía entre 0.5 y 1 veces la precipitación, ubicándose en la provincia de humedad: HÚMEDO.

El relieve es predominantemente empinado, dominando los suelos relativamente profundos, arcillosos, de reacción ácida, tonos rojizos a pardos y que asimilan al grupo edafogénico de Phaeozema. En las áreas muy empinadas, aparecen suelos delgados dando paso a los Litosoles y algunas formas de Rendzinas así como grupos transicionales pertenecientes a los Cambisoles.

La vegetación natural climax prácticamente no existe y se reduce a pequeños relictos o bosques residuales homogéneos, como el "chachacomo", "quinual", "ulcumano", "romerillo" o "intimpa" o pequeños bosques heterogéneos constituidos por especies de los géneros Gynoxis, Polilepis, Berberís, etc.

En las partes altas de la Zona de Vida o Subpáramos o praderas, se observa la presencia de grandes extensiones de pastos naturales altoandinos, constituidos principalmente por especies de la familia de las gramíneas como la *Stipa*, *Calamagrostis*, *Festuca* y *Poa*.

Esta Zona de Vida, a pesar de tener una precipitación no mayor de 800 mm anuales y la reducida evapotranspiración debido a las temperaturas bajas, permite llevar a cabo una agricultura de secano. Se cultiva preferentemente plantas autóctonas de gran valor alimenticio, como la papa, oca, olluco, mashua, chocho o tarhui, cañihua y al quinua. Si bien el clima de los niveles inferiores es favorable para el crecimiento de bosques naturales y artificiales, existe una enorme deficiencia de leña y madera para consumo.

Bosque Muy Húmedo Montano Tropical (bmh-MT)

Se ubica en la parte Oeste de la microcuenca, inmediatamente superior a la Zona de Vida Bosque Húmedo Montano Tropical, extendiéndose en la parte alta, entre los niveles de 3,400 a 3,600 msnm.

La precipitación total anual promedio de la Zona de Vida "varía de 838.4 mm a 1,722 mm y la biotemperatura media anual mínima es de 6.5 °C y la media anual máxima, de 10.90 °C. De acuerdo al Diagrama Bioclimático de Holdridge, la evapotranspiración total anual promedio varía entre 0.25 a 0.5 veces la precipitación, que la ubica en la provincia de humedad : PERHUMEDO.

El relieve es por lo general accidentado, con laderas fuertes sobre los 60%. Los suelos son un tanto ácidos, relativamente profundos, de textura media y pesada, con tonos rojizos o pardos. Así mismo se encuentran Cambisoles dístricos (poco fértiles) y éutricos (fértiles); y Litosoles.

La vegetación natural originaria está constituida por especies arbóreas de los géneros *Clusia*, *Brunellia*, *Rapanea*, *Eugenia* entre otros, algunos heléchos arbóreos de los géneros *Cyathea*, *Alsophilla*, varias especies de la familia *Melastomaceae*, y "carricillo", cubiertas mayormente con abundante epífitas.

El uso agrícola y pecuario es muy limitado, debido principalmente a la alta humedad y baja temperatura. En las zonas más altas y un poco más secas, se lleva a cabo un pastoreo de ganado vacuno y ovino en forma extensiva.

Debido a la topografía y a las características bioclimáticas, esta zona de vida no es apropiada para fines agropecuarios, sino más bien para destinarlas como zonas de protección.

Páramo Muy Húmedo Subalpino Tropical (bmh-Sat)

Se ubica en la parte Oeste de la microcuenca, inmediatamente superior a la Zona de Vida Bosque muy húmedo Montano Tropical, extendiéndose en la parte alta, entre los niveles de 3,600 a 4,000 msnm. La Biotemperatura media anual mínima, de la Zona de Vida, es de 3.8 °C y la media anual máxima de 6 °C. La precipitación total anual promedio varía de 584.2 mm a 1,254.8 mm. De acuerdo al Diagrama Bioclimático de Holdridge, la evapotranspiración total anual promedio varía entre 0.25 a 0.5 veces la precipitación total anual promedio, que la ubica en la provincia de humedad: PERHUMEDO.

El relieve es suave a ligeramente ondulado y colinado, con laderas de moderado a fuerte declive hasta presentar en muchos casos afloramientos rocosos. Los suelos son relativamente profundos, de textura media, ácidos, generalmente con influencia volcánica (Páramo Andosoles) o sin influencia volcánica (Páramosoles). Donde

predomina los materiales calcáreos, aparecen los Cambisoles éutricos y Rendzinas. Completan el cuadro adáptico suelos de mal drenaje (Gleysoles), suelos orgánicos (Histosoles), y Litosoles (suelos delgados).

Páramo pluvial Subalpino Tropical (pp-Sat)

Esta zona se distribuye en la parte Oeste de la microcuenca, en las inmediaciones de la Zona de Vida Bosque muy Húmedo Montano Tropical, ubicándose en la parte más alta, sobre los 3,600 msnm

La precipitación total anual máxima es de 1,277 mm y el promedio mínimo es de 911.59 mm y su temperatura media anual, estimada en base al 3 °C. De acuerdo al Diagrama Bioclimático de Holdridge, la evapotranspiración total anual promedio varía entre 0.125 a 0.25 veces la precipitación total anual promedio, que la ubica en la provincia de humedad: SUPERHUMEDO.

2.3.2. Clima

Precipitación

La precipitación es estacional y que se inicia en el mes de Octubre para finalizar en el mes de marzo; acumulando en este período el 76.96 % de la precipitación total anual. Le corresponde al mes de Marzo, la de mayor precipitación, con un valor promedio de 160.05 mm. que representa el 16.0 % de la precipitación anual.

El período seco ocurre entre los meses de Abril a septiembre, precipitando en este período, el 23.04 % del total anual, correspondiéndole al mes de julio, el valor más bajo con 9.42 mm. equivalente al 0.93 % del total anual.

Sobre la microcuenca Sendamal llueve, en promedio, una precipitación total anual de 1012.68 mm.

Temperatura

Para estimar los valores de la temperatura de la microcuenca, se ha relacionado las temperaturas medias anuales, en el centroide de la microcuenca.

La temperatura en el punto medio de la microcuenca, se ha obtenido en base al sistema de clasificación de las Zonas de Vida elaborado por L. R. Holdridge, habiéndose identificado, la ubicación de este punto, en la zona de vida Bosque Húmedo Montano Tropical (bh-MT). Estos valores son los siguientes :

$$T \text{ máxima media anual} = 13.1 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$T \text{ mínima media anual} = 7.3 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$T \text{ media anual} = 10.2 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Las temperaturas medias de la estación Weverbaver son las siguientes:

$$T \text{ máxima media anual} = 21.0 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$T \text{ mínima media anual} = 6.9 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$T \text{ media anual} = 13.9 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Los Factores de Corrección regional K, hallados son los siguientes:

$$K \text{ máximo} : 0.6238$$

$$K \text{ mínimo}: 1.0580$$

$$K \text{ medio} : 0.7338$$

Los valores de temperatura a nivel mensual, se obtuvieron al multiplicar los Factores de Corrección de Temperatura anual (máxima, media y mínima) por cada uno de los valores medios mensuales correspondientes a la estación Weberbaver.

De estos resultados se pueden apreciar que la temperatura máxima media mensual oscila entre 12.7 °C presentado en los meses de Setiembre, Noviembre y Diciembre.

La temperatura media mensual fluctúa entre 9.4 °C, en los meses de Diciembre y Enero.

La temperatura mínima media varía entre 4.5 °C, en el mes Julio, a 9.3 °C, en el mes de Marzo.

Humedad Relativa

La humedad relativa depende de la temperatura y del contenido de vapor de agua existente en el aire

Analizando la información registrada durante el período 1966/2016, se observa que la humedad relativa media es de 72 %. La variación mensual es pequeña durante todo el año; sin embargo cuando disminuye la temperatura al terminar el verano, disminuye también la capacidad de mantener el vapor de agua, debido a esto, los porcentajes de humedad relativa en invierno son ligeramente inferiores a los de verano.

La evaporación total anual es de 1,140.2 mm y su distribución a nivel mensual es variable; siendo el período de mayor evaporación de Junio a Setiembre, coincidiendo con los meses de menor temperatura y menor humedad relativa. Alcanza su mayor valor en el mes de Julio, a 135.3 mm.

El período de menor evaporación, son de Enero a Mayo, coincidentes con los meses de mayor precipitación, mayor temperatura y mayor humedad relativa. Presenta su menor valor, en el mes de Marzo con 72.4 mm.

Horas de Sol

Analizando los registros de horas de sol, para el período 1973/2016, podemos observar que este elemento meteorológico alcanza un valor total anual de 2,181.1 horas; variando su distribución durante el año entre 133 en el mes de Febrero y 222.4 horas, en el mes de Julio.

2.3.3. Clasificación Climática

Tomando los valores de los elementos meteorológicos, estimados, representativos del ámbito de estudio y siguiendo el criterio de la clasificación climática propuesta por Warren Thomthwait, a la microcuenca Sendamal le corresponde un Clima Húmedo (B) y Frío (C), con deficiencias de lluvias en invierno, y sin cambio térmico invernal bien definido.

Para estimar los caudales medios mensuales, el cual es el objetivo de la presente investigación, se recurrió al uso del modelo determinístico - estocástico de Lutz Scholz, que requiere como datos la precipitación media de la cuenca, la temperatura media anual y ciertos parámetros geomorfológicos de la microcuenca.

2.4. PROCEDIMIENTO

2.4.1. Recopilación De Información

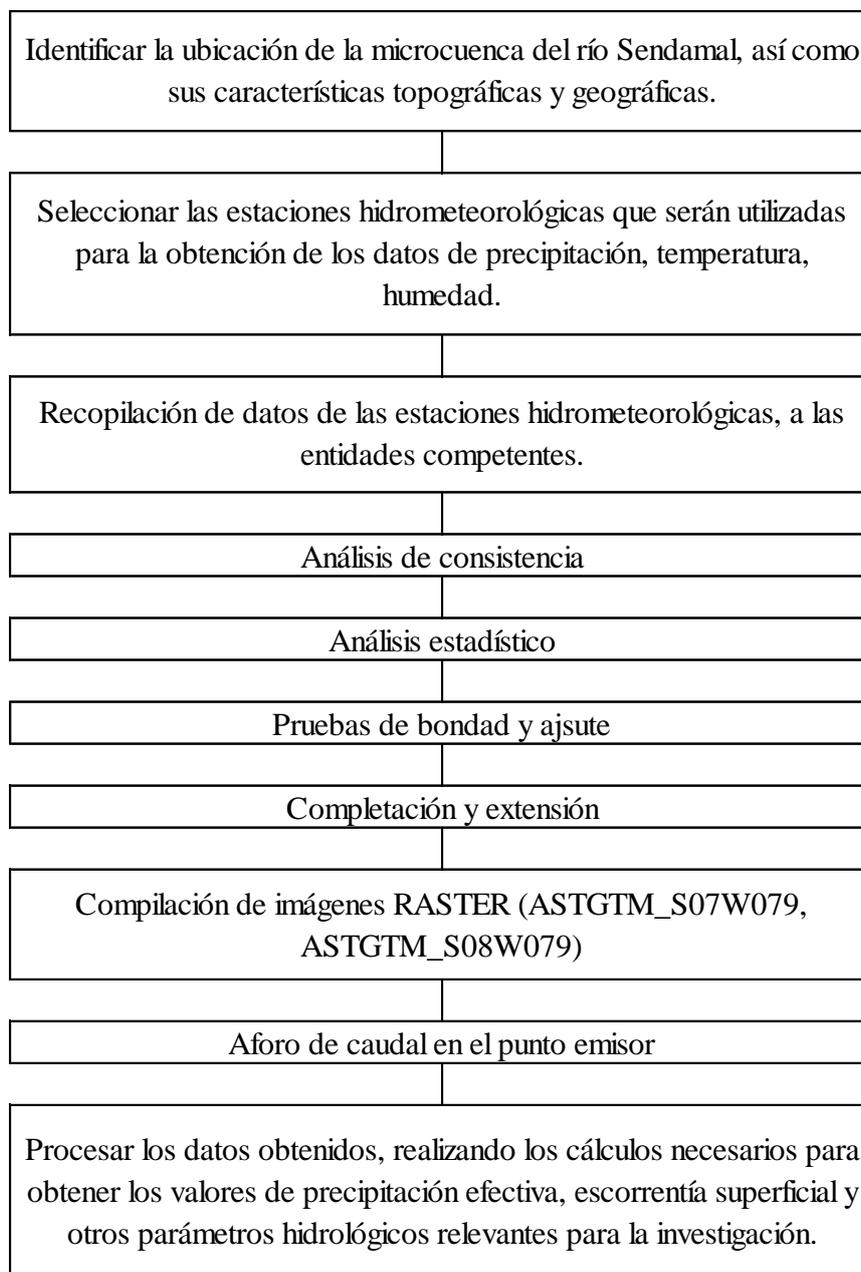


Ilustración N°. 1 Flujograma de recolección y procesamiento de datos.

La información meteorológica fue obtenida del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología, SENAMHI. Las variables climáticas empleadas en el estudio son las siguientes:

- Precipitación total mensual, registradas en 08 estaciones pluviométricas.
- Las variables climáticas, registradas a nivel mensual en la estación Weberbauer, son las siguientes: Temperatura media, máxima y mínima, Humedad relativa, Velocidad de viento.

Para el análisis cartográfico del presente estudio de la microcuenca del río Sendamal se compiló imágenes RASTER (ASTGTM_S07W079, ASTGTM_S08W079), del Ministerio de Ambiente.

Las estaciones seleccionadas para la investigación se muestran en el siguiente cuadro:

Tabla 3

Estaciones meteorológicas usadas en el presente el estudio.

Estacion	Coordenadas		Altitud
	Este	Norte	
Celendin	815563.05	9241556.56	2470
Encañada	796408.46	9212493.63	2980
Quinua	769157.00	9227473.00	3618
Llica	774495.40	9249499.82	2625
Huacataz	779848.35	9216275.63	3130
Weberbauer	777793.00	9207072.00	2660
Porcon	763297.05	9221895.41	3180
Maqui Maqui	780019.00	9228957.00	4240

Fuente: Elaboración propia.

2.4.2. Tratamiento cartográfico

El tratamiento de información cartográfica se realizó utilizando el software Arc Gis 10.8, donde se creó un mapa digital de elevación y a partir de

éste se delimitó la microcuenca Sendamal y se halló sus parámetros geomorfológicos correspondientes.

- La delimitación de la cuenca se hace sobre un plano con curvas a nivel siguiendo las líneas del Divortium Acuarum (parteaguas) formado por los puntos de mayor nivel topográfico.
- Una vez delimitada la cuenca se procedió a hallar el área y el perímetro, el número de orden de la cuenca y demás parámetros de mayor interés.

2.4.3. Procesamiento de la información meteorológica

Debido a la falta de registros de precipitación dentro del ámbito de la microcuenca, se realizó un análisis regional para estudiar la precipitación y poder transferir estos resultados, a nuestro ámbito de interés.

La no-homogeneidad e inconsistencia en series hidrológicas representa uno de los aspectos más importantes en los estudios hidrológicos, ya que, cuando no se identifica, elimina ni se ajustan a las condiciones futuras la inconsistencia y no-homogeneidad en la muestra histórica se puede inducir a un error significativo en todos los análisis futuros que se realicen, obteniéndose resultados altamente sesgados.

La información seleccionada fue analizada, procesada y sintetizada mediante sus parámetros estadísticos (media, desviación estándar), logrando así la obtención de datos confiables aptos para elaborar el modelo propuesto por Lutz Scholz.

Se cuenta con la información de 8 estaciones de las cuales se ha elegido 3 estaciones base (Augusto Weberbauer, Granja Porcón y Maqui Maqui);

teniendo en consideración que estas estaciones cuentan con una data de precipitaciones de 53 años.

Utilizando los métodos de completación de datos descritos en el capítulo anterior se logró hacer la completación de datos faltantes para las 5 estaciones restantes (Encañada, Huacatáz, Quinua, Llica, Celendín), logrando así obtener una data histórica de precipitaciones de 53 años.

El modelo estocástico determinístico Lutz Scholz, establece la estimación de variables previas para posteriormente determinar los caudales medios mensuales de la cuenca en estudio. Después de obtener la información meteorológica, completar los datos faltantes y hacer un análisis de consistencia procedemos a realizar la estimación de dichas variables en el orden que se describe a continuación.

2.4.4. Análisis de la Serie Histórica

Los registros históricos de precipitación de las ocho (08) estaciones, han sido sometidos a un análisis de consistencia y homogeneidad, usando el siguiente procedimiento:

Análisis Gráfico

Este análisis se realizó con los histogramas de las series históricas de cada estación, en forma visual, con la finalidad de observar su variación en el tiempo y detectar posibles saltos y/o tendencias en los registros.

Análisis de Consistencia

Para este análisis se utilizó el diagrama de doble Masa, con el cual se detectaron los puntos de quiebre significativos, que presentaron los registros de

dos estaciones, y se determinaron los períodos de la información dudosa, así como el período aparentemente confiable.

Con el fin de contar con el mayor récord histórico, se completaron los datos mensuales faltantes, con el promedio mensual, siempre y cuando, éstos no sean más del 10%.

Para realizar este análisis se agrupó a las estaciones, teniendo en cuenta su período de registro, altitud y latitud.

a. Precipitación media mensual de la microcuenca Sendamal.

Para la obtención de la precipitación media mensual se calculó con el método de Isoyetas cuyos resultados se muestran en el anexo correspondientes.

El método de las Isoyetas consiste en trazar, con la información registrada en las estaciones, líneas que unen puntos de igual altura de precipitación (interpolación de líneas).

La elaboración de los mapas de Isoyetas se realizó utilizando el software Arc Gis 10.8; para lo cual agrupamos los datos de precipitación en periodos de 5 años los cuales se muestran en el anexo correspondientes; obteniendo así 11 periodos a los cuales calculamos el promedio de precipitación para cada mes (de enero a diciembre); con estos datos y con ayuda del software Arc Gis y una hoja Excel hallamos la precipitación media mensual de la cuenca del río Sendamal para cada mes en los 11 periodos.

b. Coeficiente de escorrentía

Para hallar el coeficiente de escorrentía (c), hallamos la temperatura media anual y con esta calculamos el coeficiente de temperatura L, para remplazar L en la ecuación correspondientes, hallando así D (déficit de

escurrimiento); con este dato aplicando la ecuación de L. Turc hallamos el coeficiente de escurrimiento.

c. Precipitación Efectiva

Este parámetro se define como la fracción de la precipitación total utilizada para satisfacer las necesidades de agua del cultivo; quedan por tanto excluidas la infiltración profunda, la escorrentía superficial y la evaporación de la superficie del suelo.

Para hallar la precipitación efectiva primero hallamos la precipitación media mensual de la cuenca, esta precipitación media es afectada por el coeficiente de escorrentía calculado anteriormente, encontrando así la precipitación efectiva de la cuenca del río Sendamal.

La precipitación efectiva de la cuenca en estudio se muestra en la tabla correspondientes; la cual es generada para todas las precipitaciones medias (de enero a diciembre) de todos los periodos.

d. Retención de la cuenca

La retención de la cuenca “R” se produce en los almacenes naturales: acuíferos, nevados, lagunas y pantanos. Los parámetros utilizados para este parámetro se muestran en la tabla N° 9.

Para calcular la retención de la cuenca en estudio utilizamos la ecuación correspondientes, debido a que la retención de la cuenca esta entre los valores 50-80 mm/año el coeficiente de agotamiento lo calculamos con la formula.

Con el coeficiente de agotamiento se halla el gasto de la retención (G), que viene a ser el aporte a la escorrentía, de las aguas subterráneas en los meses de estiaje.

2.4.5. Generación de caudales

a. Caudales mensuales para el año promedio

Para generar los caudales medios mensuales para el año promedio, se utilizó la fórmula descrita anteriormente, que describe la ecuación básica de balance hídrico. Los caudales obtenidos se muestran en unidades de (mm/mes) para convertirlos a (m/s), es necesario multiplicarlos por el área de la cuenca, dividido entre el número de días del mes, 24 h, 60 mi, 60 seg.

b. Caudales mensuales para periodos extendidos.

Para calcular los caudales mensuales para periodos extendidos de la microcuenca Sendamal, inicialmente se calcularon los parámetros B_1 , B_2 , B_3 , S , r , sobre la base de los resultados del modelo para el año promedio, mediante una regresión con Q_t (caudales generados para el año promedio) como valor dependiente, Q_{t-1} y PE_t como valores independientes.

Para calcular B_1 , B_2 , B_3 .

- Determinamos los caudales (Q_t); calculamos el error (e) y los coeficientes estadísticos de regresión múltiple, generamos números aleatorios y posteriormente calculamos (Q_m) en unidades de (mm/mes).
- Se calculó la precipitación efectiva a partir de la precipitación media mensual para los 11 periodos en estudio.
- Se generó números aleatorios normalmente distribuidos para el mismo número de datos de la precipitación efectiva; con distribución de media igual a “0” y desviación estándar igual a “1”.

- c. Se calculó los caudales generados para el periodo extendido, para lo cual utilizamos la ecuación correspondientes

2.4.6. Oferta hídrica de la cuenca

Con los caudales medios mensuales generados con el modelo determinístico estocástico Lutz Scholz se realizó el ajuste a una distribución normal, para lo cual utilizamos la prueba de bondad de ajuste de Smirnov-Kolgomorv, esta prueba nos permite tomar criterios de aceptación o de rechazo para la función analizada.

La prueba de bondad de ajuste Smirnov-Kolgomorv se realizó siguiendo el orden descrito en el capítulo anterior, donde se describe a detalle.

Se determinó la disponibilidad hídrica con diferentes niveles de persistencia (75, 80, 90 y 95 %) para cada mes. Para realizar este análisis se utilizó el método de weibul descrito en el capítulo precedente.

Para el cálculo de la demanda hídrica se realizó la proyección de la población de Celendín por los métodos aritmético, geométrico, mínimos cuadrados y de la parábola, para determinar cual se ajusta mejor, con la finalidad de calcular el caudal de diseño y así obtener la demanda para uso poblacional.

CAPÍTULO III: RESULTADOS

3.1. ANÁLISIS CARTOGRÁFICO DE LA CUENCA EN ESTUDIO

Para nuestro estudio es de vital importancia evaluar la geomorfología de la cuenca para poder caracterizar la unidad geográfica de acuerdo a los parámetros calculados, tal como se muestra a continuación:

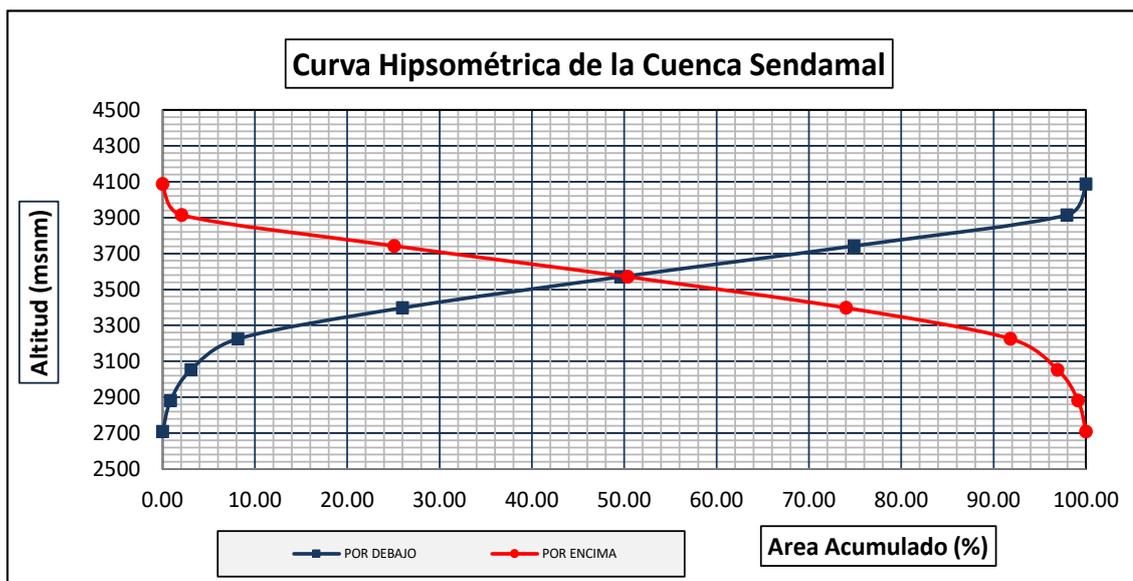
Tabla 4

Parámetros geomorfológicos de la microcuenca Sendamal

PARÁMETROS GEOMORFOLÓGICOS	
Área de la cuenca	114.77 km ²
Perímetro de la cuenca	58.47 km
Longitud del cauce principal	5.55 km
C. de Gravelius o índice de compacidad	1.54
Factor de forma	0.19
Pendiente de la cuenca	23.40 %
Altitud media	3 506.34 msnm
Pendiente del cauce principal	8.51 %
Rectángulo equivalente	a: 24.82 b: 4.62
Densidad de drenaje	0.45
Frecuencia de ríos	0.18
Tiempo de concentración	143.74 min.

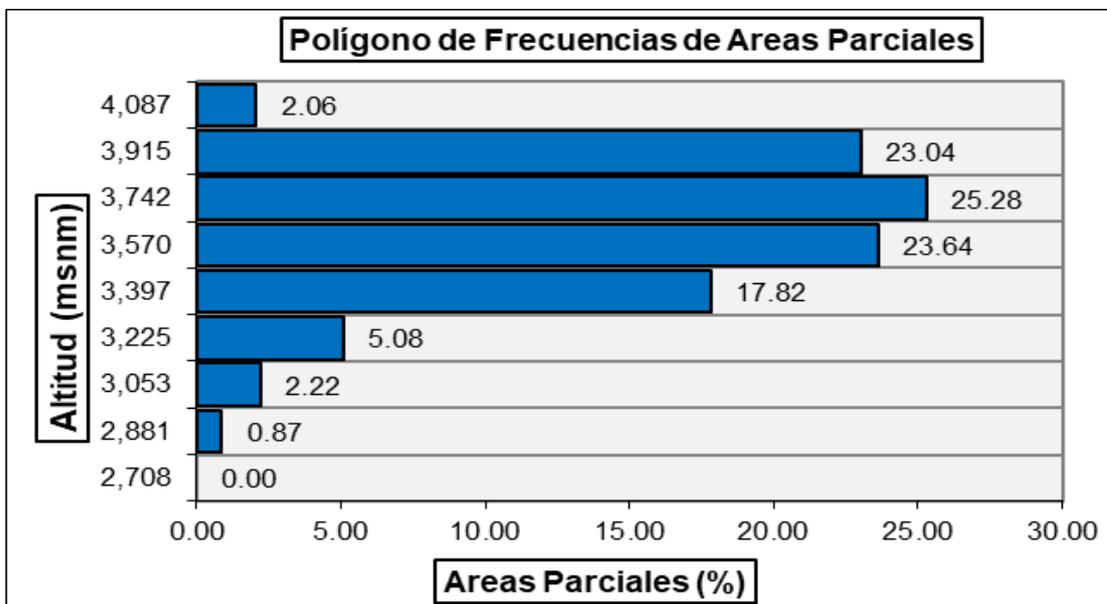
La microcuenca Sendamal tiene un **área de 114.77 km²** con un **perímetro de 58.47 km**, la cual lo podemos definir como una cuenca pequeña en su extensión geográfica, donde el punto de salida se encuentra en los límites de la misma, entendiéndose que se trata de una cuenca exorreica. El coeficiente de Gravelius o **índice de compacidad (Ic) es 1.54** por lo que se trata de una cuenca de forma oval oblonga o rectangular oblonga. **El factor de forma es 0.19** lo cual nos indica que la cuenca tiene mayor desarrollo en uno de sus lados (ancho), por lo que, la cuenca concentra lentamente el escurrimiento de una lluvia. La pendiente del cauce principal 8.51 %, está relacionado con el grado erosivo y la velocidad de la corriente, este parámetro también está relacionado con el tamaño de sedimentos que arrastra el río.

Figura 6 Curva Hipsométrica de la Cuenca Sendamal



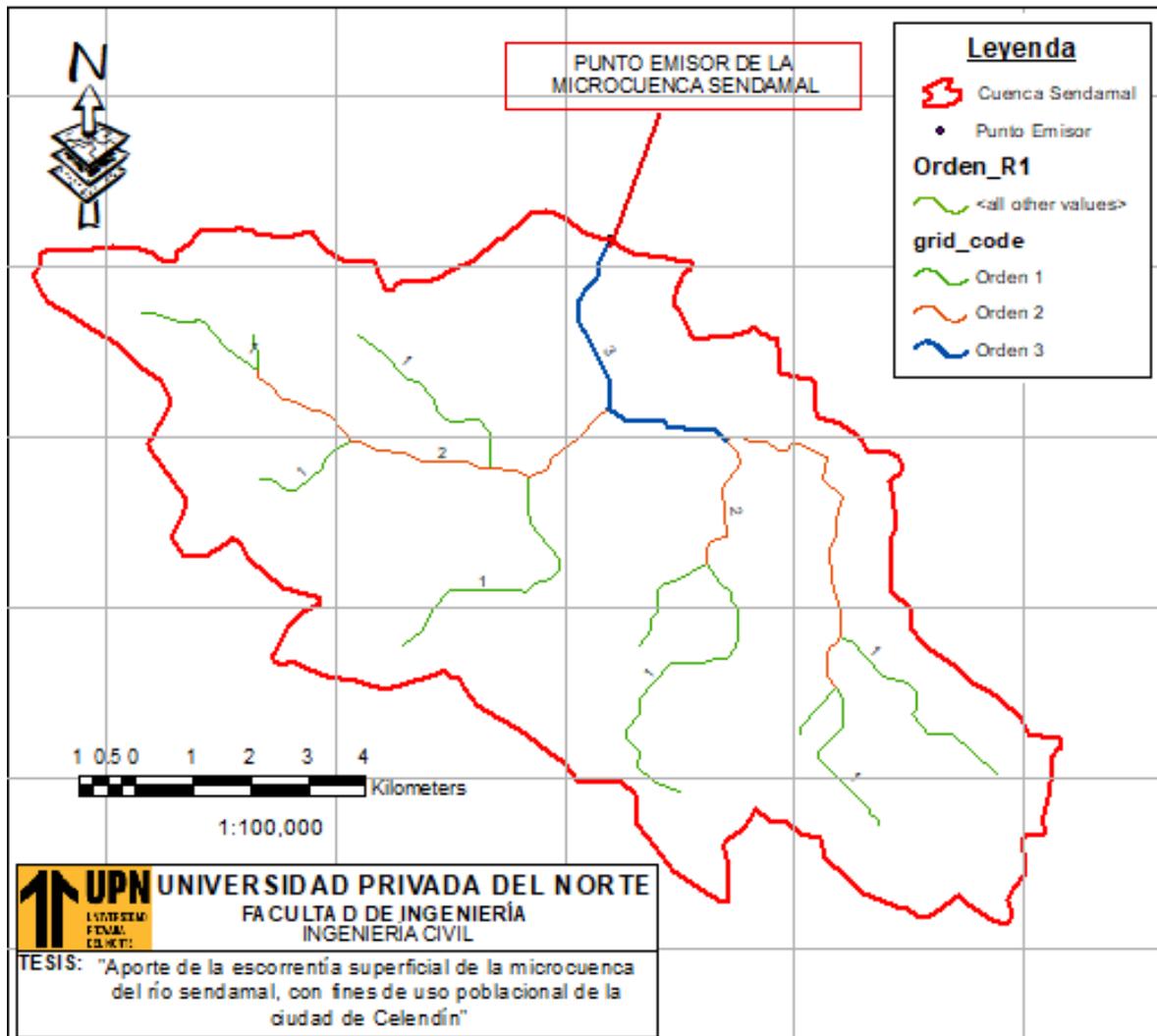
La curva hipsométrica de la cuenca en estudio nos indica que se trata de una cuenca en equilibrio, en plena madurez. **La pendiente de la cuenca es de 23.40 %**, este parámetro es de importancia, pues nos da un índice de la velocidad media de la escorrentía y su poder de arrastre y erosión sobre la cuenca.

Figura 7 Frecuencia de altitudes de la cuenca Sendamal.



La altitud media de la cuenca es de 3506.34 m.s.n.m. es un factor importante por la influencia que ejerce sobre la precipitación, sobre las pérdidas de agua por evaporación y transpiración y, consecuentemente sobre el caudal medio.

Figura 8 Punto emisor de la ,microcuenca Sendamal



Fuente: Elaboración propia.

En la imagen precedente de la cuenca en estudio se puede observar que pertenece a un orden

3. La cual se determinó con el uso del software Arc GIS

3.2. MODELOS DETERMINÍSTICOS PARCIALES

3.2.1. Precipitación media de la cuenca

Para la determinación de la precipitación media mensual se aplicó el método de Isoyetas, debido a que este método es considerado el más preciso, para la cual se utilizan curvas de igual precipitación. El trazo de estas curvas se realizó el software ARC GIS 10.8.

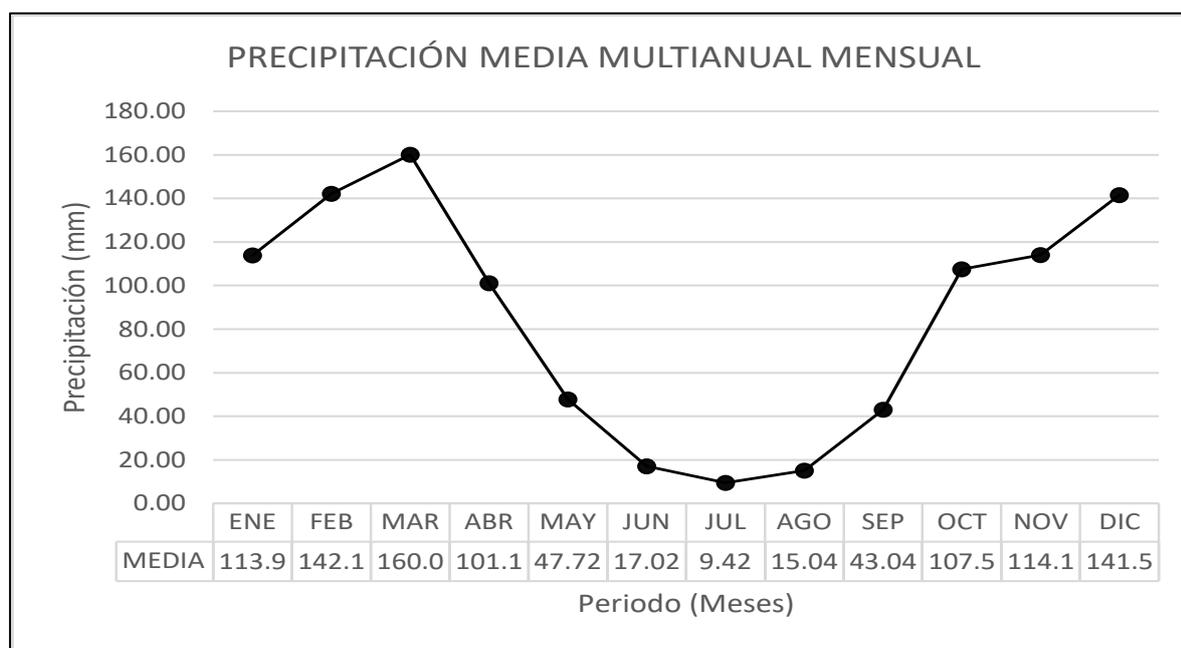
Tabla 5

Precipitación media multianual mensual (PMM) de la microcuenca Sendamal (1964 -2016)

MESES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
MEDIA	113.94	142.15	160.05	101.11	47.72	17.02	9.42	15.04	43.04	107.52	114.11	141.56	1012.68

Fuente: Elaboración propia.

Figura 9 Precipitación media multianual mensual (mm) de la microcuenca Sendamal (1964-2016)



3.2.2. Coeficiente de escorrentía

El método para el cálculo del coeficiente “C” ha sido usado por el presentado por L. Turc, como se muestra a continuación:

$$L = 300 + 25T + 0.05T^3$$

$$L = 541.43$$

Donde:

L : Coeficiente de temperatura.

T : Temperatura media anual. (°C).

H : Altitud media de la cuenca.

$$D = \frac{P}{(0.9 + (\frac{P}{L})^2)^{0.5}} \quad D = 482.86$$

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

$$C = 0.523$$

Donde:

C : Coeficiente de escurrimiento.

P : Precipitación total anual (mm/año).

D : Déficit de escurrimiento (mm/año).

3.2.3. Precipitación efectiva

Teniendo en cuenta que dicha precipitación da origen a la escorrentía directa y al flujo base. Esta se obtiene multiplicando la precipitación total por el coeficiente de escorrentía, tal que éste último toma en cuenta el flujo superficial y el flujo base.

Para estimar la precipitación efectiva (PE) de la cuenca Sendamal (periodo 1964-2016) se utilizó el método FAO aplicando a los datos de la Precipitación media multianual mensual, el coeficiente de escorrentía afectó a todos los datos de precipitación total de la cuenca en estudio.

$$PE_i = C * PT_c$$

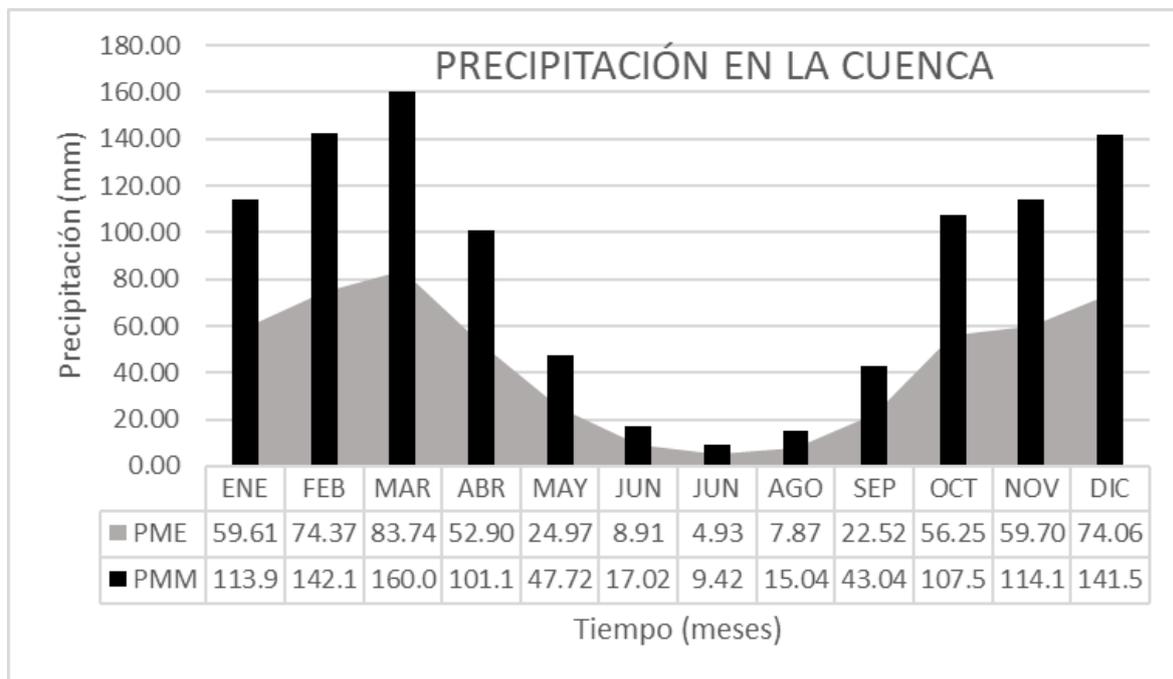
Tabla 6

Precipitación media efectiva mensual (PME) de la microcuenca Sendamal (periodo 1964 - 2016)

MESES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUN	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
MEDIA	59.61	74.37	83.74	52.90	24.97	8.91	4.93	7.87	22.52	56.25	59.70	74.06	529.81

Fuente: Elaboración propia.

Figura 10 Precipitación media multianual mensual y Precipitación efectiva media de la microcuenca Sendamal aplicando el coeficiente de escorrentía.



3.2.4. 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 determinó de la siguiente manera:

Tabla 7

Parámetros para calcular la retención en la cuenca Sendamal

Parametro	Simbol	Valor	Unidad
Coeficiente	Ca	20.000	%
Area de Cuenca	Ar	114.770	km ²
Almacenamiento Acuíferos	LA	251.175	mm/año
Pendiente del Cauce Principal	I	0.085	m/m
Area de Lagunas	AL	0.000	km ²
Almacenamiento Lagunas y Pantanos	LL	500.000	mm/año
Area de Nevados	AN	0.000	km ²
Almacenamiento de Nevados	LN	0.000	mm/año
T° promedio de la Microcuenca	T°	8.450	°C

Aplicando las ecuaciones de gasto de la retención (mm/mes) y caudal mensual (mm/mes)

$$R_i = CM_i - PE_i$$

$$CM_i = PE_i + G_i - A_i$$

Determinamos la retención de la cuenca.

$$R = \frac{[C_a AR LA + AL LL + AN LN]}{AR}$$

$$R = 50.24 \text{ mm/año}$$

3.2.5. Coeficiente de Agotamiento (α)

Según las características de la cuenca con coeficiente de agotamiento rapido con una retención comprendido entre 50 y 80 mm/año y vegetación poco desarrollada tiene un valor de 0.01805 días⁻¹.

$$\alpha = -0.00252LN(AR) + 0.030$$

3.2.6. Relación de caudales del flujo base

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 calculó:

$$Q_t = Q_0 e^{-\alpha(t)}$$

$$b_0 = e^{-\alpha(t)}$$

Tabla 8

Caudales del flujo base (b_0) para época de estiaje.

	b_0	
Mayo	0.572	0.572
Junio	0.582	0.333
Julio	0.572	0.190
Agosto	0.572	0.109
Septiembre	0.582	0.063

$$bm = \sum boi = 1.266$$

Al principio de la estación lluviosa el proceso de agotamiento de la reserva termina y parte de las lluvias más abundantes entra en los almacenes hídricos. El proceso de abastecimiento se muestra por un déficit entre la precipitación efectiva y el caudal real.

Analizando la contribución de la retención a los caudales, se constata que el abastecimiento es más fuerte al principio de la estación lluviosa y cuando los almacenes naturales: acuíferos y pantanos ya están recargados parcialmente, la restitución acaba poco a poco.

3.2.7. Gasto de la retención “Gi”

El aporte a la escorrentía de las aguas subterráneas en los meses de estiaje se obtuvo:

$$G_i = \frac{b_0}{b_m} R$$

Tabla 9

Aporte a la escorrentía de las aguas subterráneas

	Gi
Mayo	22.68
Junio	13.20
Julio	7.54
Agosto	4.31
Septiembre	2.51

3.2.8. Abastecimiento de la retención (Ai)

El volumen de agua que almacenado en la cuenca en los meses lluviosos bajo un determinado régimen de almacenamiento.

Tabla 10

Almacenamiento Hídrico durante la época de lluvias para la región Cajamarca (valores del coeficiente de abastecimiento, ai, en %)

Región	valores del coeficiente de abastecimiento, ai, en %						
	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	TOTAL
Cajamarca	25	-5	0	20	25	35	100

$$A_i = a_i(\%)R$$

Tabla 11 *Abastecimiento mensual, déficit de la precipitación efectiva*

	Ai
Octubre	12.559
Noviembre	-2.512
Diciembre	0.000
Enero	10.047
Febrero	12.559
Marzo	17.582
Abril	0.000

3.2.9. Generación de caudales

a. Caudales mensuales para el año promedio (Qm)

En la siguiente tabla se observa una variación de los caudales mensuales durante el año, los cuales fueron calculados por:

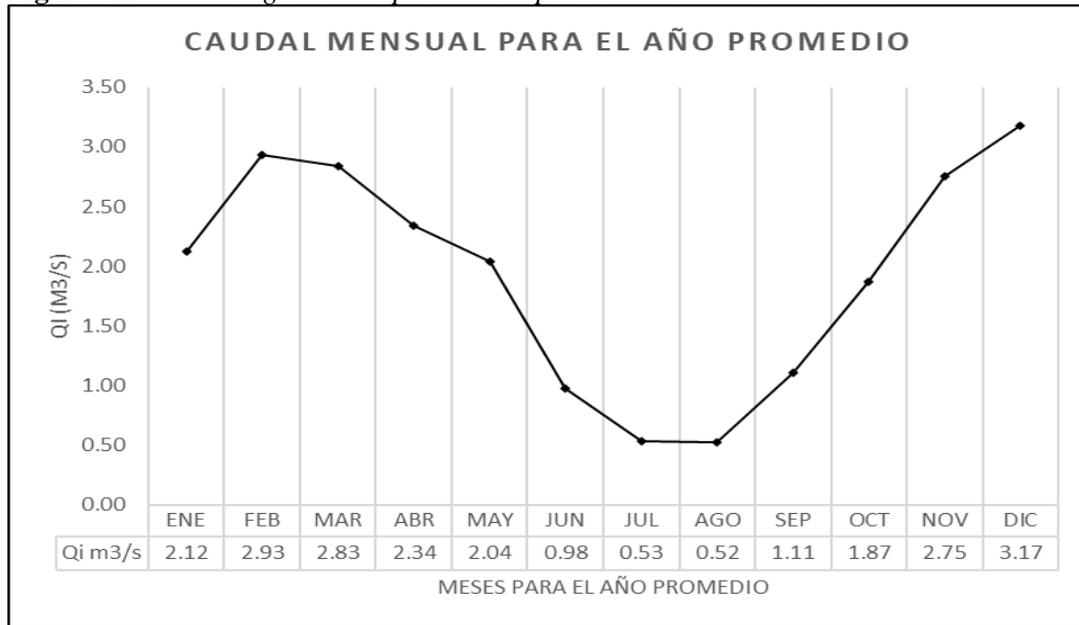
$$CM_i = PE_i + G_i - A_i$$

Tabla 12

Caudales mensuales generados para el año promedio

Mes	N° Dias	Precipitación		Contribución de la retención				Q. aportación	
		Medias mm	Efectiva mm	Gasto		Abastecimiento		Cmi mm/mes	Qi m3/s
				gi	Gi mm/mes	ai	Ai		
Enero	31	113.94	59.61			0.20	10.05	49.56	2.12
Febrero	28	142.15	74.37			0.25	12.56	61.81	2.93
Marzo	31	160.05	83.74			0.35	17.58	66.15	2.83
Abril	30	101.11	52.90				0.00	52.90	2.34
Mayo	31	47.72	24.97	0.572	22.68			47.64	2.04
Junio	30	17.02	8.91	0.333	13.20			22.10	0.98
Julio	31	9.42	4.93	0.190	7.54			12.47	0.53
Agosto	31	15.04	7.87	0.109	4.31			12.18	0.52
Setiembre	30	43.04	22.52	0.063	2.51			25.03	1.11
Octubre	31	107.52	56.25			0.25	12.56	43.69	1.87
Noviembre	30	114.11	59.70			-0.05	-2.51	62.21	2.75
Diciembre	31	141.56	74.06			0.00	0.00	74.06	3.17
Total		1012.7	529.8	1.3	50.2	1.0	50.2	529.8	23.2

Figura 11 Caudales generados para el año promedio de la cuenca Sendamal



b. Caudales mensuales para un periodo extendido

A fin de generar una serie sintética de caudales para periodos extendidos, se ha seguido un modelo estocástico que consiste en una combinación de un proceso markoviano de primer orden con una variable de impulso, que en este caso es la precipitación efectiva.

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

$$Q = g(PE_t)$$

Con la finalidad de aumentar el rango de los valores generados y obtener una aproximación cercana a la realidad, se utilizó, además, una variable aleatoria.

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

Finalmente se calculó usando la siguiente ecuación:

$$Q_t = B_1 + B_2Q_{t-1} + B_3PE_t + (S)\sqrt{(1 - r^2)}z$$

Tabla 13

Series y coeficientes estadísticos para la regresión múltiple

Mes	Q_t	Q_{t-1}	PE_t	$(Q_t)(Q_{t-1})$	$(Q_{t-1})(PE_t)$	$(Q_t)(PE_t)$	$(Q_{t-1})^2$	$(PE_t)^2$
Enero	49.56	74.06	59.61	3670.73	4414.84	2954.42	5485.23	3553.32
Febrero	61.81	49.56	74.37	3063.51	3685.96	4596.85	2456.46	5530.84
Marzo	66.15	61.81	83.74	4088.99	5175.76	5539.37	3820.58	7011.63
Abril	52.90	66.15	52.90	3499.39	3499.39	2798.23	4376.25	2798.23
Mayo	47.64	52.90	24.97	2520.32	1320.69	1189.53	2798.23	623.33
Junio	22.10	47.64	8.91	1053.07	424.32	196.84	2270.02	79.32
Julio	12.47	22.10	4.93	275.60	108.91	61.44	488.52	24.28
Agosto	12.18	12.47	7.87	151.86	98.12	95.83	155.48	61.92
Setiembre	25.03	12.18	22.52	304.80	274.26	563.59	148.32	507.11
Octubre	43.69	25.03	56.25	1093.48	1407.79	2457.68	626.36	3164.11
Noviembre	62.21	43.69	59.70	2718.12	2608.38	3714.00	1908.96	3564.05
Diciembre	74.06	62.21	74.06	4607.52	4607.52	5485.23	3870.26	5485.23
$\Sigma =$	529.81	529.81	529.81	27047.42	27625.94	29653.01	28404.69	32403.36
	ΣQ_t	ΣQ_{t-1}	ΣPE_t	$\Sigma(Q_t)(Q_{t-1})$	$\Sigma(Q_{t-1})(PE_t)$	$\Sigma(Q_t)(PE_t)$	$\Sigma(Q_{t-1})^2$	$\Sigma(PE_t)^2$

$$\Sigma Q_t = 12B_1 + B_2 \Sigma Q_{t-1} + B_3 \Sigma PE_t$$

$$\Sigma(Q_t Q_{t-1}) = B_1 \Sigma Q_{t-1} + B_2 \Sigma(Q_{t-1})^2 + B_3 \Sigma(Q_{t-1} PE_t)$$

$$\Sigma Q_t PE_t = B_1 \Sigma PE_t + B_2 \Sigma(Q_{t-1} PE_t) + B_3 \Sigma(PE_t)^2$$

Tabla 14

Factor constante

B_1	B_2	B_3	TI
12	529.81	529.81	529.81
529.81	28404.69	27625.94	27047.42
529.81	27625.94	32403.36	29653.01

Tabla 15

Matriz inversa

0.480853457	-0.007742	-0.00126
-0.00774168	0.0003307	-0.00016
-0.00126195	-0.000155	0.00018

Tabla 16

Parametros de modelo

Parámetros	
$B_1 =$	7.950
$B_2 =$	0.236
$B_3 =$	0.584

c. Cálculo del caudal estimado Q_t y del error $e = Q_t - Q_{\sim t}$

Tabla 17

Estimación del error

Mes	Q_{t-1}	PE_t	\hat{Q}_t	Q_t	e	e^2	\hat{Q}_t^2	Q_t^2
Enero	74.06	59.61	60.238	49.56	-10.68	113.96	3628.64	2456.46
Febrero	49.56	74.37	63.073	61.81	-1.26	1.59	3978.15	3820.58
Marzo	61.81	83.74	71.432	66.15	-5.28	27.87	5102.60	4376.25
Abril	66.15	52.90	54.452	52.90	-1.55	2.42	2965.06	2798.23
Mayo	52.90	24.97	35.015	47.64	12.63	159.52	1226.02	2270.02
Junio	47.64	8.91	24.397	22.10	-2.29	5.26	595.21	488.52
Julio	22.10	4.93	16.044	12.47	-3.57	12.78	257.42	155.48
Agosto	12.47	7.87	15.487	12.18	-3.31	10.95	239.86	148.32
Setiembre	12.18	22.52	23.973	25.03	1.05	1.11	574.71	626.36
Octubre	25.03	56.25	46.701	43.69	-3.01	9.06	2180.99	1908.96
Noviembre	43.69	59.70	53.121	62.21	9.09	82.63	2821.85	3870.26
Diciembre	62.21	74.06	65.879	74.06	8.18	66.97	4340.06	5485.23
Media	44.15	44.15	44.15	44.15	0.00	41.18	2325.88	2367.06
Total							27910.57	28404.69

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

$$S = 7.41$$

$$r = \left[1 - \frac{S^2}{S_{Qt}^2} \right]^{\frac{1}{2}} = 0.94$$

$$S_{Qt}^2 = \frac{1}{n-1} [\sum Q_t^2 - n(\bar{Q}_t)^2] = 455.71$$

$$Z = z(S)\sqrt{1 - r^2} = 2.57$$

Ecuación resultante:

$$Q_t = 7.950 + 0.236Q_{t-1} + 0.584PE_t + 2.57z$$

Tabla 18

Caudales generados Q_m (mm/mes) para un periodo extendido

Mes	z	Q_{t-1}	PE_t	Q_m
Enero	-1.04	74.06	59.61	57.56
Febrero	1.26	49.56	74.37	66.30
Marzo	0.51	61.81	83.74	72.74
Abril	-0.41	66.15	52.90	53.40
Mayo	-0.54	52.90	24.97	33.63
Junio	-0.95	47.64	8.91	21.95
Julio	0.19	22.10	4.93	16.53
Agosto	-1.70	12.47	7.87	11.12
Setiembre	0.71	12.18	22.52	25.79
Octubre	-0.77	25.03	56.25	44.71
Noviembre	0.26	43.69	59.70	53.78
Diciembre	1.57	62.21	74.06	69.90

z : números aleatorios para 12 meses (un año) con media cero y desviación estándar uno, distribución normal.

La generación de los caudales medios mensuales para los 11 periodos (desde 1964-2016 agrupados en periodos de 5 años y uno de 3 años) se hizo aplicando la ecuación integral:

$$(Q_t = 7.950 + 0.236 Q_{t-1} + 0.584 PE_t + 2.57 z)$$

El proceso de generación de caudales requiere un valor inicial, el cual se puede obtener en una de las siguientes formas:

- Tomar como valor inicial el caudal promedio de cualquier mes.
- Empezar el cálculo en el mes para el cual se dispone de un aforo.
- Empezar con un caudal cero, calcular un año y tomar el último valor como Q_0 .

En este estudio utilizamos las la primera metodología descritas anteriormente.

Tabla 19*Caudales medios mensuales (mm/mes) generados con el modelo determinístico estocástico Lutz Scholz.*

PERIODO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1964-4968	51.79	59.89	63.99	52.79	27.82	13.93	14.51	17.66	23.85	51.97	50.66	70.14
1969-1973	50.21	51.51	78.33	61.12	31.18	25.45	16.80	15.07	26.23	51.56	51.91	60.99
1974-1978	57.51	68.86	66.26	53.39	31.44	21.49	18.26	16.79	20.55	32.56	44.24	47.50
1979-1983	47.02	53.53	65.95	59.60	34.14	18.15	18.12	22.31	28.58	61.50	55.02	61.14
1984-1988	54.47	70.31	61.93	47.32	30.92	20.16	11.26	19.85	18.67	44.77	48.93	61.58
1989-1993	52.66	60.13	65.64	54.48	29.64	20.00	14.56	16.58	28.73	48.48	51.06	67.33
1994-1998	47.34	69.16	76.04	58.59	43.44	22.53	9.24	10.34	17.23	44.82	53.86	57.31
1999-2003	55.32	74.21	73.39	50.12	40.76	20.19	14.27	11.86	30.32	41.09	49.00	73.16
2004-2008	60.84	61.15	80.31	58.48	33.57	21.19	18.92	18.71	23.45	54.18	55.53	71.43
2009-2013	82.10	79.96	85.43	68.19	45.56	27.53	17.38	20.50	19.47	49.11	71.88	67.42
2014-2016	78.34	63.02	82.79	49.86	43.11	22.95	14.92	15.69	29.22	36.39	45.69	64.41
MEDIA	57.96	64.70	72.73	55.81	35.60	21.23	15.29	16.85	24.21	46.95	52.52	63.85
DESV. ES	11.76	8.66	8.33	6.06	6.36	3.59	3.03	3.58	4.71	8.24	7.34	7.35
MAX	82.10	79.96	85.43	68.19	45.56	27.53	18.92	22.31	30.32	61.50	71.88	73.16
MIN	47.02	51.51	61.93	47.32	27.82	13.93	9.24	10.34	17.23	32.56	44.24	47.50

Fuente: Elaboración propia

Tabla 20
Caudales medios mensuales (m³/s) generados con el modelo determinístico estocástico Lutz Scholz.

PERIODO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1964-1968	2.22	2.84	2.74	2.34	1.19	0.62	0.62	0.76	1.06	2.23	2.24	3.01
1969-1973	2.15	2.44	3.36	2.71	1.34	1.13	0.72	0.65	1.16	2.21	2.30	2.61
1974-1978	2.46	3.27	2.84	2.36	1.35	0.95	0.78	0.72	0.91	1.40	1.96	2.04
1979-1983	2.01	2.54	2.83	2.64	1.46	0.80	0.78	0.96	1.27	2.64	2.44	2.62
1984-1988	2.33	3.34	2.65	2.10	1.32	0.89	0.48	0.85	0.83	1.92	2.17	2.64
1989-1993	2.26	2.85	2.81	2.41	1.27	0.89	0.62	0.71	1.27	2.08	2.26	2.88
1994-1998	2.03	3.28	3.26	2.59	1.86	1.00	0.40	0.44	0.76	1.92	2.38	2.46
1999-2003	2.37	3.52	3.14	2.22	1.75	0.89	0.61	0.51	1.34	1.76	2.17	3.13
2004-2008	2.61	2.90	3.44	2.59	1.44	0.94	0.81	0.80	1.04	2.32	2.46	3.06
2009-2013	3.52	3.79	3.66	3.02	1.95	1.22	0.74	0.88	0.86	2.10	3.18	2.89
2014-2016	3.36	2.99	3.55	2.21	1.85	1.02	0.64	0.67	1.29	1.56	2.02	2.76
MEDIA	2.48	3.07	3.12	2.47	1.53	0.94	0.66	0.72	1.07	2.01	2.33	2.74
DESV. ES	0.50	0.41	0.36	0.27	0.27	0.16	0.13	0.15	0.21	0.35	0.32	0.31
MAX	3.52	3.79	3.66	3.02	1.95	1.22	0.81	0.96	1.34	2.64	3.18	3.13
MIN	2.01	2.44	2.65	2.10	1.19	0.62	0.40	0.44	0.76	1.40	1.96	2.04

Fuente: Elaboración propia

Tabla 21

Caudales medios mensuales (MMC) generados con el modelo determinístico estocástico Lutz Scholz.

PERIODO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1964-1968	5.94	6.87	7.34	6.06	3.19	1.60	1.67	2.03	2.74	5.96	5.81	8.05
1969-1973	5.76	5.91	8.99	7.02	3.58	2.92	1.93	1.73	3.01	5.92	5.96	7.00
1974-1978	6.60	7.90	7.60	6.13	3.61	2.47	2.10	1.93	2.36	3.74	5.08	5.45
1979-1983	5.40	6.14	7.57	6.84	3.92	2.08	2.08	2.56	3.28	7.06	6.32	7.02
1984-1988	6.25	8.07	7.11	5.43	3.55	2.31	1.29	2.28	2.14	5.14	5.62	7.07
1989-1993	6.04	6.90	7.53	6.25	3.40	2.30	1.67	1.90	3.30	5.56	5.86	7.73
1994-1998	5.43	7.94	8.73	6.72	4.99	2.59	1.06	1.19	1.98	5.14	6.18	6.58
1999-2003	6.35	8.52	8.42	5.75	4.68	2.32	1.64	1.36	3.48	4.72	5.62	8.40
2004-2008	6.98	7.02	9.22	6.71	3.85	2.43	2.17	2.15	2.69	6.22	6.37	8.20
2009-2013	9.42	9.18	9.81	7.83	5.23	3.16	1.99	2.35	2.23	5.64	8.25	7.74
2014-2016	8.99	7.23	9.50	5.72	4.95	2.63	1.71	1.80	3.35	4.18	5.24	7.39
MEDIA	6.65	7.43	8.35	6.41	4.09	2.44	1.76	1.93	2.78	5.39	6.03	7.33
DESV. ES	1.35	0.99	0.96	0.70	0.73	0.41	0.35	0.41	0.54	0.95	0.84	0.84
MAX	9.42	9.18	9.81	7.83	5.23	3.16	2.17	2.56	3.48	7.06	8.25	8.40
MIN	5.40	5.91	7.11	5.43	3.19	1.60	1.06	1.19	1.98	3.74	5.08	5.45

Fuente: Elaboración propia

Tabla 22

Oferta hídrica (mm/mes) según nivel de persistencia.

Persist.	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
70%	51.72	59.80	68.10	52.50	32.03	19.07	13.35	14.60	21.40	42.04	48.72	59.50
75%	50.30	58.61	66.94	51.66	31.20	18.56	12.92	14.10	20.76	40.90	47.79	58.41
80%	48.76	57.30	65.67	50.75	30.30	18.02	12.45	13.57	20.08	39.67	46.78	57.23
85%	47.03	55.82	64.22	49.70	29.28	17.40	11.93	12.97	19.30	38.28	45.62	55.88
90%	44.94	54.00	62.45	48.42	28.05	16.65	11.30	12.26	18.37	36.60	44.21	54.23
95%	42.01	51.43	59.90	46.57	26.32	15.61	10.43	11.27	17.08	34.25	42.20	51.87

Tabla 23

Oferta hídrica (m³/s) según nivel de persistencia.

Persist.	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
70%	2.22	2.84	2.92	2.32	1.37	0.84	0.57	0.63	0.95	1.80	2.16	2.55
75%	2.16	2.78	2.87	2.29	1.34	0.82	0.55	0.60	0.92	1.75	2.12	2.50
80%	2.09	2.72	2.81	2.25	1.30	0.80	0.53	0.58	0.89	1.70	2.07	2.45
85%	2.02	2.65	2.75	2.20	1.25	0.77	0.51	0.56	0.85	1.64	2.02	2.39
90%	1.93	2.56	2.68	2.14	1.20	0.74	0.48	0.53	0.81	1.57	1.96	2.32
95%	1.80	2.44	2.57	2.06	1.13	0.69	0.45	0.48	0.76	1.47	1.87	2.22

Tabla 24

Oferta hídrica (MMC) según nivel de persistencia.

Persist.	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
70%	2.26	2.88	2.95	2.32	1.38	0.85	0.55	0.59	0.91	1.73	2.09	2.55
75%	2.15	2.78	2.84	2.23	1.29	0.78	0.49	0.53	0.83	1.61	1.96	2.50
80%	2.04	2.67	2.72	2.13	1.20	0.71	0.44	0.47	0.75	1.48	1.82	2.45
85%	1.91	2.55	2.59	2.03	1.10	0.64	0.39	0.41	0.67	1.34	1.68	2.39
90%	1.77	2.41	2.44	1.91	0.98	0.55	0.33	0.35	0.58	1.18	1.51	2.32
95%	1.57	2.22	2.23	1.73	0.83	0.45	0.26	0.27	0.46	0.98	1.29	2.22

3.3. ANÁLISIS POBLACIONAL Y CAUDAL DE DISEÑO

3.3.1. Metodo de interes simple

CENSO (Año)	POBLACION (Habitantes)	ECUACIÓN
1,993	17,952	$P = P_0(1 + rt)$
2,007	22,170	$r = \frac{P_{i+1} - P_i}{P_i(t_{i+1} - t_i)}$
2,017	26,925	
2,019	27,545	

Combinaciones con dos censos					
1,993	2,007	=== >	r =	0.016783	
1,993	2,017	=== >	r =	0.020826	
2,007	2,017	=== >	r =	0.021448	

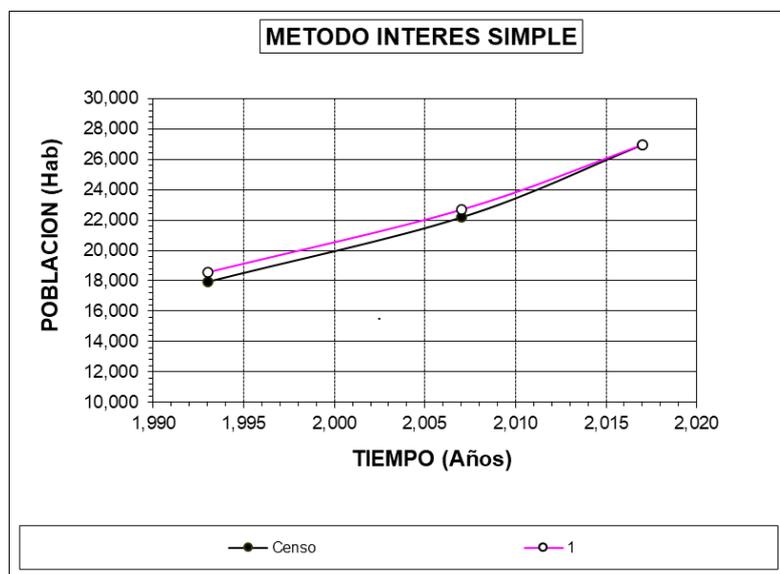
Combinaciones de tres censos					
1,993	2,007	2,017	=== >	r ₁ =	0.018727

Comportamiento histórico de las ecuaciones						
Curva	Tasa	1,993	2,007	2,017	Sumatoria	Diferencia
Censo		17,952	22,170	26,925	67,047	---
1	0.02	18,576	22,678	26,925	68,179	1,132

Curva seleccionada:

P ₀ =	26,925	habitantes
r =	0.0187	

Figura 12 Análisis poblacional con el método de interes simple



3.3.2. Metodo Aritmético

CENSO (Año)	POBLACION (Habitantes)	ECUACIÓN
1,993	17,952	$P = P_0 + r(t - t_0)$ $r = \frac{P_{i+1} - P_i}{(t_{i+1} - t_i)}$
2,007	22,170	
2,017	26,925	
2,019	27,545	

Combinaciones con dos censos					
1,993	2,007	=== >	r =		301.286
1,993	2,017	=== >	r =		373.875
2,007	2,017	=== >	r =		475.500

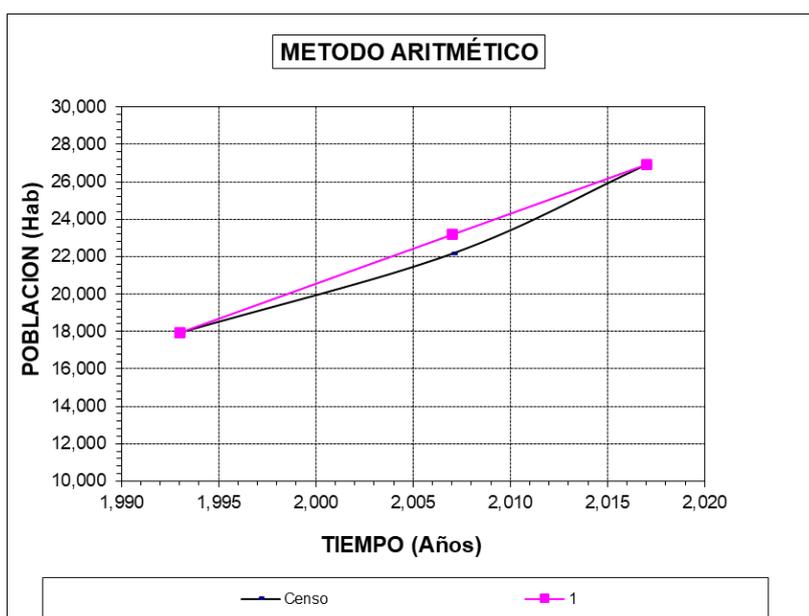
Combinaciones de tres censos					
1,993	2,007	2,017	=== >	r ₁ =	373.875

Comportamiento histórico de las ecuaciones						
Curva	Tasa	1,993	2,007	2,017	Sumatoria	Diferencia
Censo		17,952	22,170	26,925	67,047	---
1	373.88	17,952	23,186	26,925	68,063	1,016

Curva seleccionada:

P ₀ =	26,925	habitantes
r =	373.875	

Figura 13 Análisis poblacional con el método aritmético



3.3.3. Metodo Geometrico

CENSO (Año)	POBLACION (Habitantes)	ECUACIÓN
1,993	17,952	$P = P * r^{(t-t_0)}$ $r = \sqrt[t_{i+1}-t_i]{\frac{P_{i+1}}{P_i}}$
2,007	22,170	
2,017	26,925	
2,019	27,545	

Combinaciones con dos censos :				
1,993	2,007	=== >	r =	1.0152
1,993	2,017	=== >	r =	1.0170
2,007	2,017	=== >	r =	1.0196

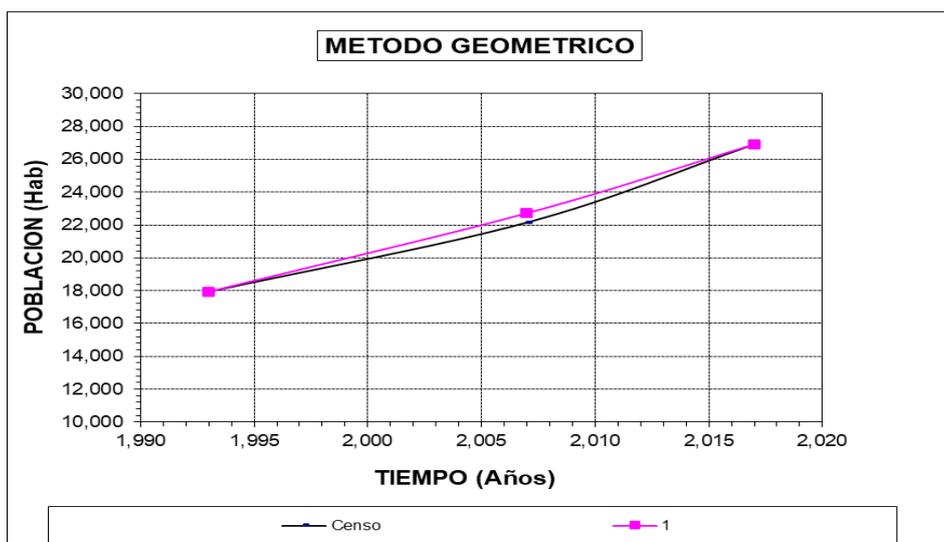
Combinaciones con tres censos :				
1,993	2,007	2,017	=== >	r1 = 1.0170

Comportamiento histórico de las ecuaciones :						
Curva	Tasa de	1,993	2,007	2,017	Sumatoria	Diferencia
Censo		17,952	22,170	26,925	67,047	---
1	1.02	17,952	22,741	26,925	67,618	571

Curva seleccionada:

Po =	26,925	habitantes
r =	1.017	

Figura 14 Análisis poblacional con el método Geométrico



3.3.4. Metodo de la Parabola

CENSO (Año)	POBLACION (Habitantes)	ECUACIÓN
1,993	17,952	$P = A * \Delta t^2 + B * \Delta t + C$
2,007	22,170	
2,017	26,925	
2,019	27,545	

Combinaciones con tres censos :

$$\begin{aligned}
 17952 &= 0.00 * A + 0.00 * B + 1.00 * C \\
 22170 &= 196.00 * A + 14.00 * B + 1.00 * C \\
 26925 &= 576.00 * A + 24.00 * B + 1.00 * C
 \end{aligned}$$

Matriz Inversa

$$\begin{vmatrix} 0.0030 & -0.0071 & 0.0042 \\ -0.1131 & 0.1714 & -0.0583 \\ 1.0000 & 0.0000 & 0.0000 \end{vmatrix} \times \begin{vmatrix} 17,952.00 \\ 22,170.00 \\ 26,925.00 \end{vmatrix}$$

Constantes

$$\begin{aligned}
 A &= 7.259 \\
 B &= 199.661 \\
 C &= 17952.000
 \end{aligned}$$

Ecuación

$$P = 7.26 * \Delta t^2 + 199.66 * \Delta t + 17952.00$$

Comportamiento histórico de las ecuaciones :

Curva	1993	2007	2017	Sumator.	Diferenc.
Censo	17952	22170	26925	67047	---
1.00	17952	20674	26925	65551.00	1496.00

Curva seleccionada:

A =	7.26
B =	199.66
C =	17,952.00

3.3.5. Metodo de los mínimos cuadrados

CENSO (Año)	POBLACION (Habitantes)	ECUACIÓN
1,993	17,952	$Y_i = a + bX_i$
2,007	22,170	
2,017	26,925	$Y_i = ae^{bX_i}$
2,019	27,545	

Año	Población Xi	Razon Yi (%)	Log Yi	X_i^2	$X_i Y_i$	$X_i \text{ Log } Y_i$
1,993	17,952	23.50	1.3711	3.22E+08	421,872.00	24,613.4
2,007	22,170	21.40	1.3304	4.92E+08	474,438.00	29,495.3
2,017	26,925					
$\Sigma =$	40,122.00	44.90	2.70	8.14E+08	896,310.00	54,108.68
Prom. =	20,061.00	22.45	1.35	4.07E+08	448,155.00	27,054.34

Según el crecimiento Aritmético $Y_i = a + bX_i$

$$\begin{aligned} 0 &= 1 a + 20,061.00 b - 22.45 \\ 0 &= 20,061 a + 4.07E+08 b - 448,155 \end{aligned}$$

Matriz Inversa

$$\begin{vmatrix} 91.47987592 & -0.004510238 \\ -0.004510238 & 2.24826E-07 \end{vmatrix} \times \begin{vmatrix} 22.45 \\ 448155.00 \end{vmatrix}$$

$$a = 32.438$$

$$b = -0.000497866$$

$$Y_i = 32.438 - 0.000497866 X_i$$

Según el crecimiento Geométrico $Y_i = ae^{bX_i}$

$$\begin{aligned} 0 &= 1 A + 20,061 B - 1.35 \\ 0 &= 20,061 A + 4.07E+08 B - 27,054.3 \end{aligned}$$

Matriz Inversa

$$\begin{vmatrix} 91.47987592 & -0.004510238 \\ -0.004510238 & 2.24826E-07 \end{vmatrix} \times \begin{vmatrix} 1.35 \\ 27054.34 \end{vmatrix} \quad \begin{aligned} A &= 1.544093515 \\ B &= -9.638E-06 \end{aligned}$$

$$a = 35.002$$

$$b = -2.21929E-05$$

$$Y_i = 35.002 * 2.7182818^{-0.0000221929 X_i}$$

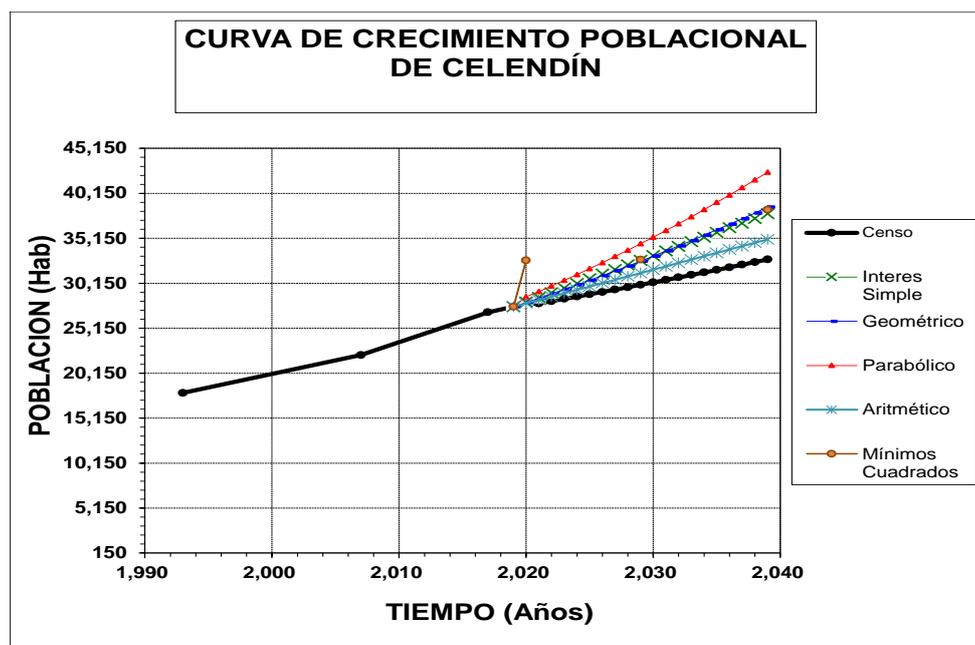
Años Post Censo	Población		Crecimiento		Incremento	
	Aritmético	Geométrico	Aritmético	Geométrico	Aritmético	Geométrico
0	26,925.00	26,925.00	19.03	19.26	5,124.54	5,184.89
10	32,049.54	32,109.89	16.48	17.16	5,282.18	5,511.24
20	37,331.72	37,621.13				

Tabla 25

Selección del modelo de crecimiento poblacional

N°	Año	Censo	Interes Simple	Aritmético	Geométrico	Parabólico	Mínimos Cuadrados		Curva Elegida
							Aritmético	Geométrico	
	1,993	17,952							
	2,007	22,170							
-	2,017	26,925							
Base	2,019	27,545	27,545	27545	27,545	27,545	27,545	27,545	27,545
1	2,020	27,792	28,060	27918	28,014	28,634	32,702	32,702	28,014
2	2,021	27,907	28,576	28292	28,491	29,233			28,491
3	2,022	28,158	29,092	28666	28,976	29,846			28,976
4	2,023	28,412	29,608	29040	29,470	30,474			29,470
5	2,024	28,667	30,124	29414	29,972	31,117			29,972
6	2,025	28,925	30,639	29788	30,482	31,774			30,482
7	2,026	29,186	31,155	30162	31,001	32,445			31,001
8	2,027	29,448	31,671	30536	31,529	33,131			31,529
9	2,028	29,713	32,187	30909	32,067	33,832			32,067
10	2,029	29,981	32,703	31283	32,613	34,547	32,702	32,776	32,613
11	2,030	30,251	33,219	31657	33,168	35,276			33,168
12	2,031	30,523	33,734	32031	33,733	36,021			33,733
13	2,032	30,798	34,250	32405	34,308	36,779			34,308
14	2,033	31,075	34,766	32779	34,892	37,552			34,892
15	2,034	31,354	35,282	33153	35,487	38,340			35,487
16	2,035	31,637	35,798	33527	36,091	39,142			36,091
17	2,036	31,921	36,314	33900	36,706	39,959			36,706
18	2,037	32,209	36,829	34274	37,331	40,790			37,331
19	2,038	32,499	37,345	34648	37,967	41,636			37,967
20	2,039	32,791	37,861	35022	38,614	42,496	37,985	38,319	38,614

Figura 15 Curva de crecimiento poblacional para el presente estudio, se seleccionó el método geométrico



POBLACIÓN PROYECTADA

DIST.	AÑOS				
	1993	2007	2017	2019	2039
		Censo		Pob. Proy. Met. Geo.	
CELENDÍN	17,952.00	22,170.00	26,925.00	27,545.00	38,614.00
TOTAL				27,545.00	38,614

2.0 DOTACIÓN

La dotación diaria por habitante se ajustará a los siguientes valores

Población	Clima	
	Frio	Templado
De 2 000 a 10 000 Hab.	120 Lts./Hab./Día	150 Lts./Hab./Día
De 10 000 a 50 000 Hab.	150 Lts./Hab./Día	200 Lts./Hab./Día
Más de 50 000 Hab.	200 Lts./Hab./Día	250 Lts./Hab./Día

Fuente: RM-192-2018-Vivienda

Dotación para el proyecto	120.00	Lts./Hab./Día
---------------------------	--------	---------------

3.0 VARIACIONES DE CONSUMO

Consumo promedio 53.63 Lts./Seg.

Máximo anual de la demanda diaria (K_1) 69.72 Lts./Seg.

Valor adoptado (K_1 : 1.2 - 1.50)

Máximo anual de la demanda horaria (K_2) 96.54 Lts./Seg.

Para poblaciones de 2 000 a 10 000 Hab. $K_2 = 2.5$

Para poblaciones > 10 000 Hab. $K_2 = 1.8$

Valor adoptado ($K_2 = 2.0$)

El gasto máximo maximórum 139.98 Lts./Seg.

Gasto máximo horario del día de máximo consumo

DISTRIBUCIÓN DE CAUDALES

DIST.	Pob. Proy.	Dotación	Q_p (Lts./Seg.)	$Q_{m\acute{a}x. Diario}$ (Lts./Seg.)	$Q_{m\acute{a}x. Horario}$ (Lts./Seg.)	$Q_{m\acute{a}x. M\acute{a}x.}$ (Lts./Seg.)
CELENDÍN	38,614	120	53.63	69.720	96.535	144.803

DATOS BÁSICOS DEL DISEÑO

ESTRUCTURA	CAPACIDAD REQUERIDA
Río o pozos	$Q_{m\acute{a}x. Diario}$
Conducción I	$Q_{m\acute{a}x. Diario}$
Conducción II	$Q_{m\acute{a}x. Diario}$
Conducción III	$Q_{m\acute{a}x. Diario} + Q_{incendio}$
Bomba de baja potencia	$Q_{m\acute{a}x. Diario} + Reserva$
Planta de tratamiento	$Q_{m\acute{a}x. Diario} + Reserva$
Bomba de baja potencia	$Q_{m\acute{a}x. horario} + Reserva$
Sistema de distribución	$Q_{m\acute{a}x. Horario} VS Q_{m\acute{a}x. Diario} + Q_{incendio}$

Tabla 26*Demanda para usos Agropecuarios*

Descripción	CAUDAL DERIVADO EN M ³ /S												
	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Total
Caudal derivado por canales m ³ /s	0.28	0.28	0.14	0.14	0.14	0.14	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	
Días por mes	31	30	31	31	28	31	30	31	30	31	31	30	
Demanda usos Agropecuarios (m ³)	749,952	725,760	374,976	374,976	338,688	374,976	725,760	749,952	725,760	749,952	749,952	725,760	7,366,464

Tabla 27*Demanda para usos Poblacionales*

Descripción	CAUDAL MÁXIMO MEDIO DIARIO M ³ /S												
	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Total
Q _{max.diario} m ³ /s	0.0697	0.0697	0.0697	0.0697	0.0697	0.0697	0.0697	0.0697	0.0697	0.0697	0.0697	0.0697	
Días por mes	31	30	31	31	28	31	30	31	30	31	31	30	
Demanda usos Poblacional (m ³)	186,738	180,714	186,738	186,738	168,667	186,738	180,714	186,738	180,714	186,738	186,738	180,714	2,198,690

Tabla 28*Caudal ecológico al 10 %*

Descripción	CAUDAL MÁXIMO MEDIO DIARIO M ³ /S												
	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Total
Al 10 %	0.20	0.23	0.27	0.25	0.31	0.31	0.25	0.15	0.09	0.07	0.07	0.11	
Días por mes	31.00	30.00	31.00	31.00	28.00	31.00	30.00	31.00	30.00	31.00	31.00	30.00	
Caudal Ecológico (m3)	538842	602827	732855	665237	742617	834755	640576	408555	243688	175531	193400	277842	6056726

Tabla 29

Balance Hídrico Mensualizado (m3)

DESCRIPCION	MASA DE AGUA MENSUALIZADA EN M ³												
	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Setiembre	Total
Reservorio inicio mes	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
Disponibilidad Hídrica al 75 %	4,687,200	5,495,040	6,696,000	5,785,344	6,725,376	7,687,008	5,935,680	3,589,056	2,125,440	1,473,120	1,607,040	2,384,640	54,190,944
Demanda usos Agropecuario	749,952	725,760	374,976	374,976	338,688	374,976	725,760	749,952	725,760	749,952	749,952	725,760	7,366,464.0
Demanda usos Poblacional	186,738	180,714	186,738	186,738	168,667	186,738	180,714	186,738	180,714	186,738	186,738	180,714	2,198,689.9
Caudal Ecológico al 10 % (m3)	538,842	602,827	732,855	665,237	742,617	834,755	640,576	408,555	243,688	175,531	193,400	277,842	6,056,726.0
Déficit	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Superávit	3,211,668	3,985,738	5,401,430	4,558,393	5,475,404	6,290,538	4,388,629	2,243,811	975,278	360,899	476,950	1,200,324	38,569,064
Reservorio fin de mes	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

En el balance hídrico se determinó que se tiene un Superávit a lo largo de todos los meses del año, lo cual garantiza la disponibilidad hídrica para uso poblacional y agropecuario, manteniendo el caudal ecológico en el cause del río Sendamal.

CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Limitaciones:

- No se cuenta con información pluviométrica suficiente en tiempo y espacio que garanticen la confiabilidad de los datos registrados, así como la poca información de los suelos y ecosistemas en el área de estudio.

Información comparativa

- La escorrentía superficial está directamente relacionado con la cobertura de la cuenca, mientras en el estudio denominado “*Modelamiento de la escorrentía en las cuencas de montaña, caso de estudio río Vilcanota*” se observa cambios de cobertura para los periodos 1988, 2001 y 2014, en los cuales se ha evidenciado que dichos cambios han propiciado un aumento promedio en la escorrentía de 20,70 m³/s a 76,94 m³/s, se espera mantenerse las tendencias observadas hasta el año 2030, por lo contrario en la cuenca Sendamal las actividades antrópicas no han influenciado en la distribución de la escorrentía superficial de la cuenca.
- En la investigación denominada “*Aplicación del modelo hidrológico de Lutz Scholz para determinar caudales medios mensuales en la subcuenca del río Quiroz*” se determinó la proporcionalidad y la relación directa del abastecimiento mensual del déficit de la precipitación efectiva, para el caso de la cuenca del río Sendamal los coeficientes de bastecimientos tienen la misma incidencia para los meses de octubre a abril.
- En referencia al estudio “*Disponibilidad hídrica de la microcuenca Toromacho, utilizando el modelo determinístico estocástico Lutz Scholz y el volumen transpuesto de la cuenca Tres Ríos*” se mantiene una relación de caudales de flujo base, los cuales mantienen similar tendencia para los meses de mayo a setiembre.

Implicancias

- El modelo matemático precipitación - escorrentía de Lutz Scholtz, es una metodología que garantiza resultados aproximados de disponibilidad hídrica de un área geográfica, en el caso de la cuenca del río Sendamal se cuenta con una **oferta hídrica de 0.55 m³/s** y por el contrario se tiene una **demanda para uso poblacional de 0.0697 m³/s**, el cual equivale al **12.67% de la disponibilidad hídrica**.

Conclusiones

- La cuenca del río Sendamal, tiene un **área de 114.77 Km²**, por lo cual es considerada una cuenca mediana, **altitud media 3 506.89 m.s.n.m.** y pendiente de ladera de 23.40% e **índice de Gravelius 1.54**, por ser este parámetro mayor a la unidad podemos decir que la cuenca es poco susceptible a inundaciones. El cauce principal tiene una **pendiente de 8.51%**, donde se ha observado que el agua es derivada para uso agrícola y pecuario fundamentalmente.
- Con la estimación de los parámetros físicos y meteorológicos de la cuenca y aplicando el modelo determinístico estocástico Lutz Scholz, se determinó los caudales medios mensuales generados por la cuenca del río Sendamal. Estos caudales varían en relación al régimen de precipitación pluvial de la cuenca; de tal forma que en los **meses lluviosos varía de 3.10 a 2.0 m³/s**; estos caudales incluyen la escorrentía directa y el flujo base y en los **meses de estiaje de 2.47 a 1.08 m³/s**
- El volumen de agua disponible (MMC) para diferentes usos, producida por la cuenca del río Sendamal, tomando como punto de descarga en las coordenadas E= 804786.70 N= 9229474.20 S y Z=2703 msnm. varía en función a las estación lluviosa y estación de estiaje. Para uso agrícola y pecuario el **mayor volumen es de 7.49 MMC (Julio)** y

el **menor es de 3.38 MMC (febrero)**; para el consumo humano es **1.86 MMC**; para caudal ecológico el volumen es de **5.04 MMC**.

- La precipitación pluvial registrada en las estaciones evaluadas, muestran un régimen característico de los meses lluviosos y meses con escasa precipitación pluvial, siendo el mes más lluvioso el mes de **marzo con 160.05 mm**, el mes con menor precipitación es **julio con 9.42 mm**. La precipitación efectiva se obtuvo al afectar a la precipitación media de la cuenca por el **coeficiente de escorrentía medio anual (0.523)**; esta precipitación da origen a la escorrentía directa y al flujo base.
- La precipitación total anual máxima es de **1,277 mm** y el promedio mínimo es de 911.59 mm y su temperatura media anual, estimada en base al 3 °C . De acuerdo al Diagrama Bioclimático de Holdridge, la evapotranspiración total anual promedio varía **entre 0.125 a 0.25** veces la precipitación total anual promedio.
- La demanda de agua para uso poblacional es de 0.069 m³/s, mientras que la oferta hídrica según nivel de persistencia al 75 % es de 0.55 m³/s (julio), por lo que se puede determinar que la oferta es mayor que la demanda.

REFERENCIAS

- Aguirre, N. (2007). Manual para el manejo sustentable de cuencas hidrográficas.
- Autoridad Nacional del Agua (2015). La Cultura del Agua. Disponible en: <http://www.ana.gob.pe/portal/gestion-del-conocimiento-girh/cultura-del-agua>
- Aybar, C. (2016). Tesis. Modelamiento de la escorrentía en cuencas de montaña: caso de estudio río Vilcanota. (Tesis Pregrado). Universidad Nacional Mayor de San Marcos.
- Ballesteros et al. 2005. Administración del agua en América Latina: situación actual y perspectivas. Santiago de Chile.
- Bustamante, E. (2018). Tesis Disponibilidad de agua de escorrentía en la captación huacaríz del río mashcón, generada a partir de información climática. (Tesis Pregrado). Universidad Nacional de Cajamarca.
- Caluana, Yugar. (2009). Material de apoyo didáctico para la enseñanza y aprendizaje de la asignatura de hidrología civ-233. Cochabamba – Bolivia.
- Chereque, W. Hidrología para estudiantes de ingeniería. Editorial Concitec. Lima – Perú
- CORPONARIÑO. (2009). Oferta y demanda hídrica. Bogotá, D.C.
- Cortez, J. (2018). Tesis *Disponibilidad hídrica de la microcuenca Toromacho, utilizando el modelo determinístico estocástico Lutz Scholz y el volumen transpuesto de la cuenca Tres Ríos*. (Tesis de Pregrado), Universidad Nacional de Cajamarca.
- Crisólogo, E. (2018). *Disponibilidad de agua en la cuenca del Río Chonta generada a partir de la información climática*. (Tesis de pregrado). Universidad Nacional de Cajamarca
- Gamarra, H. (2018). Aplicación del modelo hidrológico de Lutz Scholz para determinar caudales medios mensuales en la subcuenca del río Quiroz. (Tesis de pregrado). Universidad Nacional de Piura

Hernández, R. (2020). Metodología de la Investigación. Sexta edición. Editorial McGRAW-HILL.

Informe Regional América Latina y el Caribe. Resumen ejecutivo 2018

Lacuta, A. (2021). Tesis “Determinación de la oferta hídrica del río Ilave mediante la generación de descargas medias mensuales, aplicando el modelo determinístico - estocástico de Lutz Scholz”. Tesis de pregrado de la Universidad Nacional del Altiplano.

Lutz Scholz para cuencas de la sierra peruana entre 1979 y 1980 en el marco de la Cooperación Técnica de la República de Alemania a través del Plan Meris II.

Ministerio de desarrollo agrario y riego.

Olaya, V. (2012). Sistemas de información geográfica. Tomos I y II. Disponible libre formato Pdf.

Olivera, W. (2019). Tesis “Disponibilidad hídrica de la subcuenca del río Shullcas con fines agrícolas frente al escenario de cambio climático – Huancayo” del Perú. Tesis de pregrado de la Universidad Nacional del Altiplano.

PNUMA, GEMS. Program Water Quality Outlook. PNUMA Sistema Mundial de Vigilancia del Medio Ambiente, Programa del Agua, Instituto Nacional de Investigación sobre el Agua. Canadá. 2007.

Reglamento de la Ley de Recursos Hídricos Ley N° 29338

Vásquez, A et al. (2016). Manejo y gestión de cuencas hidrográficas. Editorial-UNALM. Lima – Perú.

ANEXOS

Anexo N° 1

Planilla de precipitación media mensual (mm) generada en la cuenca del río Sendamal.

MESES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
1964-1968	85.47	121.01	140.29	84.55	35.71	7.16	12.06	14.93	54.73	124.08	107.31	149.19	936.49
1969-1973	91.38	117.36	190.93	108.74	33.10	31.26	11.75	19.07	45.75	114.25	113.16	136.54	1013.29
1974-1978	110.30	145.54	138.08	91.58	47.92	16.49	8.99	14.83	30.38	74.55	85.13	106.13	869.92
1979-1983	94.24	122.72	138.73	101.80	37.47	8.61	8.73	13.05	43.82	142.35	108.43	127.06	947.01
1984-1988	107.22	147.16	113.53	82.03	45.36	14.30	10.00	17.72	31.78	96.27	107.55	138.67	911.59
1989-1993	91.38	128.70	162.76	101.33	37.23	21.43	4.92	9.68	59.42	120.26	115.29	156.85	1009.25
1994-1998	93.91	167.25	166.33	114.34	56.16	12.66	4.32	6.57	31.66	106.64	121.11	124.35	1005.30
1999-2003	120.62	172.40	153.77	97.76	53.19	26.76	8.28	12.30	65.66	83.13	100.60	158.27	1052.74
2004-2008	117.36	138.68	189.11	108.99	36.24	20.34	16.09	20.70	43.44	125.31	121.62	163.13	1101.01
2009-2013	173.05	168.68	186.13	137.93	80.95	21.05	13.46	21.35	25.24	132.57	171.15	145.45	1277.01
2014-2016	168.38	134.14	180.90	83.15	61.60	7.19	5.00	15.24	41.59	63.27	103.85	151.54	1015.85
MEDIA	113.94	142.15	160.05	101.11	47.72	17.02	9.42	15.04	43.04	107.52	114.11	141.56	1012.68
DESV. ESTANDAR	30.32	19.95	25.48	16.48	14.52	7.97	3.76	4.55	12.89	25.31	21.47	17.17	199.86
MAX	173.05	172.40	190.93	137.93	80.95	31.26	16.09	21.35	65.66	142.35	171.15	163.13	1366.25
MIN	85.47	117.36	113.53	82.03	33.10	7.16	4.32	6.57	25.24	63.27	85.13	106.13	729.31

Anexo N° 2.

Números aleatorios normalmente distribuidos.

PERIODO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1964-1968	0.48	1.07	-0.37	1.52	-1.36	-1.08	-0.16	0.67	-1.94	0.19	-0.91	1.81
1969-1973	-0.86	-1.61	-0.04	0.57	-0.51	0.23	-0.29	-1.04	0.29	0.98	-1.08	-0.36
1974-1978	0.57	1.12	-0.05	0.71	-1.46	0.42	0.97	0.00	-0.25	-1.17	1.01	-1.29
1979-1983	-0.36	-1.17	1.16	1.94	0.26	-0.19	1.25	2.37	0.77	1.29	-0.22	0.54
1984-1988	-0.26	1.77	1.05	-0.12	-0.80	0.21	-1.75	1.49	-1.43	1.17	-0.95	-0.11
1989-1993	0.88	0.17	-2.42	0.03	-0.99	-0.58	0.15	0.87	-0.50	-1.16	-1.38	-0.23
1994-1998	-2.02	-0.41	0.37	-0.87	1.75	0.18	-2.08	-0.70	-1.10	0.09	-0.65	-0.52
1999-2003	-1.17	0.21	0.37	-1.95	1.84	-2.16	-0.38	-1.25	-0.19	0.23	0.24	2.06
2004-2008	-0.09	-1.37	0.06	-0.67	0.29	-0.35	0.41	-0.01	-0.85	0.94	-0.92	0.21
2009-2013	1.72	0.43	0.68	-0.80	-1.25	0.93	-0.46	0.75	-0.40	-1.53	0.02	-0.75
2014-2016	1.18	-1.71	1.83	-1.18	1.78	1.02	0.01	-0.17	1.89	0.86	-1.00	-0.24

Prueba de bondad de ajuste del registro de caudales.

Mes : Enero

Serie de datos X:

N°	X
1	2.24
2	2.15
3	2.46
4	2.0
5	2.33
6	2.27
7	2.0
8	2.34
9	2.61
10	3.51
11	3.35

Cálculos del ajuste Smirnov Kolmogorov:

m	X	P(X)	G(Y) Ordinario	G(Y) Mom Lineal	Delta
1	2.0	0.0833	0.1508	0.1469	0.0674
2	2.0	0.1667	0.1508	0.1469	0.0159
3	2.15	0.2500	0.2746	0.2713	0.0246
4	2.24	0.3333	0.3576	0.3551	0.0243
5	2.27	0.4167	0.3856	0.3835	0.0310
6	2.33	0.5000	0.4413	0.4397	0.0587
7	2.34	0.5833	0.4504	0.4490	0.1329
8	2.46	0.6667	0.5554	0.5553	0.1112
9	2.61	0.7500	0.6692	0.6702	0.0808
10	3.35	0.8333	0.9405	0.9420	0.1072
11	3.51	0.9167	0.9600	0.9611	0.0433

Ajuste con momentos ordinarios:

Como el delta teórico 0.1329, es menor que el delta tabular 0.4101. Los datos se ajustan a la distribución Gumbel, con un nivel de significación del 5%

Parámetros de la distribución Gumbel:

Con momentos ordinarios:

Parámetro de posición (μ)= 2.251

Parámetro de escala (alfa)= 0.3936

Con momentos lineales:

Parámetro de posición (μ)= 2.2535

Parámetro de escala (alfal)= 0.3893

Mes : Febrero

Serie de datos X:

Nº	X
1	2.85
2	2.41
3	3.27
4	2.51
5	3.34
6	2.85
7	3.24
8	3.49
9	2.87
10	3.78
11	2.96

Cálculos del ajuste Smirnov Kolmogorov:

m	X	P(X)	G(Y) Ordinario	G(Y) Mom Lineal	Delta
1	2.41	0.0833	0.0167	0.0314	0.0667
2	2.51	0.1667	0.0496	0.0737	0.1171
3	2.85	0.2500	0.3504	0.3698	0.1004
4	2.85	0.3333	0.3504	0.3698	0.0171
5	2.87	0.4167	0.3732	0.3906	0.0435
6	2.96	0.5000	0.4742	0.4827	0.0258
7	3.24	0.5833	0.7308	0.7194	0.1475
8	3.27	0.6667	0.7514	0.7390	0.0848
9	3.34	0.7500	0.7945	0.7803	0.0445
10	3.49	0.8333	0.8653	0.8503	0.0320
11	3.78	0.9167	0.9428	0.9312	0.0261

Ajuste con momentos ordinarios:

Como el delta teórico 0.1475, es menor que el delta tabular 0.4101. Los datos se ajustan a la distribución Gumbel, con un nivel de significación del 5%

Parámetros de la distribución Gumbel:

Con momentos ordinarios:

Parámetro de posición (μ)= 2.8653

Parámetro de escala (alfa)= 0.3231

Con momentos lineales:

Parámetro de posición (μ)= 2.8482

Parámetro de escala (alfa)= 0.3528

Mes : Marzo

Serie de datos X:

Nº	X
1	2.73
2	3.32
3	2.83
4	2.82
5	2.67
6	2.76
7	3.24
8	3.13
9	3.41
10	3.65
11	3.54

Cálculos del ajuste Smirnov Kolmogorov:

m	X	P(X)	G(Y) Ordinario	G(Y) Mom Lineal	Delta
1	2.67	0.0833	0.0691	0.0968	0.0142
2	2.73	0.1667	0.1166	0.1474	0.0501
3	2.76	0.2500	0.1455	0.1767	0.1045
4	2.82	0.3333	0.2121	0.2416	0.1212
5	2.83	0.4167	0.2242	0.2531	0.1925
6	3.13	0.5000	0.6044	0.6015	0.1044
7	3.24	0.5833	0.7133	0.7026	0.1300
8	3.32	0.6667	0.7767	0.7628	0.1100
9	3.41	0.7500	0.8333	0.8180	0.0833
10	3.54	0.8333	0.8925	0.8776	0.0591
11	3.65	0.9167	0.9265	0.9133	0.0098

Ajuste con momentos ordinarios:

Como el delta teórico 0.1925, es menor que el delta tabular 0.4101. Los datos se ajustan a la distribución Gumbel, con un nivel de significación del 5%

Parámetros de la distribución Gumbel:

Con momentos ordinarios:

Parámetro de posición (μ)= 2.9409
 Parámetro de escala (alfa)= 0.2756

Con momentos lineales:

Parámetro de posición (μ)= 2.9259
 Parámetro de escala (alfal)= 0.3017

Mes : Abril

Serie de datos X:

Nº	X
1	2.36
2	2.71
3	2.38
4	2.66
5	2.1
6	2.4
7	2.58
8	2.2
9	2.58
10	3.0
11	2.21

Cálculos del ajuste Smirnov Kolmogorov:

m	X	P(X)	G(Y) Ordinario	G(Y) Mom Lineal	Delta
1	2.1	0.0833	0.0339	0.0525	0.0494
2	2.2	0.1667	0.1243	0.1519	0.0424
3	2.21	0.2500	0.1372	0.1650	0.1128
4	2.36	0.3333	0.3826	0.3978	0.0493
5	2.38	0.4167	0.4181	0.4305	0.0014
6	2.4	0.5000	0.4532	0.4626	0.0468
7	2.58	0.5833	0.7182	0.7084	0.1349
8	2.58	0.6667	0.7182	0.7084	0.0515
9	2.66	0.7500	0.7988	0.7857	0.0488
10	2.71	0.8333	0.8383	0.8246	0.0050
11	3.00	0.9167	0.9576	0.9486	0.0410

Ajuste con momentos ordinarios:

Como el delta teórico 0.1349, es menor que el delta tabular 0.4101. Los datos se ajustan a la distribución Gumbel, con un nivel de significación del 5%

Parámetros de la distribución Gumbel:

Con momentos ordinarios:

Parámetro de posición (μ)= 2.3517
 Parámetro de escala (alfa)= 0.2065

Con momentos lineales:

Parámetro de posición (μ)= 2.3418
 Parámetro de escala (alfal)= 0.2237

Mes : Mayo

Serie de datos X:

Nº	X
1	1.2
2	1.35
3	1.35
4	1.49
5	1.33
6	1.27
7	1.89
8	1.78
9	1.46
10	1.94
11	1.88

Cálculos del ajuste Smirnov Kolmogorov:

m	X	P(X)	G(Y) Ordinario	G(Y) Mom Lineal	Delta
1	1.2	0.0833	0.0669	0.0874	0.0164
2	1.27	0.1667	0.1413	0.1651	0.0253
3	1.33	0.2500	0.2271	0.2490	0.0229
4	1.35	0.3333	0.2588	0.2794	0.0745
5	1.35	0.4167	0.2588	0.2794	0.1578
6	1.46	0.5000	0.4436	0.4524	0.0564
7	1.49	0.5833	0.4929	0.4982	0.0905
8	1.78	0.6667	0.8310	0.8194	0.1644
9	1.88	0.7500	0.8900	0.8787	0.1400
10	1.89	0.8333	0.8947	0.8835	0.0613
11	1.94	0.9167	0.9155	0.9050	0.0012

Ajuste con momentos ordinarios:

Como el delta teórico 0.1644, es menor que el delta tabular 0.4101. Los datos se ajustan a la distribución Gumbel, con un nivel de significación del 5%

Parámetros de la distribución Gumbel:

Con momentos ordinarios:

Parámetro de posición (μ)= 1.4152
Parámetro de escala (alfa)= 0.2163

Con momentos lineales:

Parámetro de posición (μ)= 1.4063
Parámetro de escala (alfal)= 0.2316

De la misma manera se corroboró para los meses siguientes

Anexo N° 4.
Precipitación Mensual - A. WEBERBAWER

Departamento	CAJAMARCA					Provincia	CAJAMARCA			Distrito	CAJAMARCA	
ESTE	777793					NORTE	9207072			Altitud	2660 m.s.n.m.	
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
1964	78.00	74.50	120.00	72.30	31.90	15.20	8.50	16.90	27.20	64.30	97.20	60.90
1965	85.30	70.30	91.00	78.10	10.40	0.00	6.20	0.00	49.20	83.60	66.00	67.90
1966	62.70	45.90	54.50	47.90	40.00	0.00	0.00	0.70	13.10	76.80	62.70	18.70
1967	120.90	139.50	109.10	32.30	44.10	10.30	28.40	5.80	24.90	101.00	17.80	36.70
1968	58.00	81.00	67.70	26.60	14.90	1.60	1.60	16.20	50.00	66.40	54.60	70.80
1969	42.00	73.70	83.50	85.70	1.50	19.60	0.30	13.20	18.40	55.40	106.40	162.00
1970	71.00	41.80	79.90	54.50	33.80	19.90	3.20	2.50	18.20	103.00	51.40	54.10
1971	58.40	97.80	275.70	54.70	8.00	12.20	17.60	17.20	28.10	89.80	45.80	66.50
1972	55.50	67.60	113.80	76.20	18.10	4.40	3.40	20.60	29.00	31.40	66.50	50.20
1973	95.30	70.70	91.60	98.40	27.40	29.30	8.40	18.30	87.20	65.50	68.20	72.30
1974	64.10	128.20	95.20	58.50	4.60	17.30	6.50	23.60	38.70	70.50	53.90	76.40
1975	91.60	158.10	199.40	70.70	66.80	10.00	7.20	19.30	45.10	80.20	65.10	0.90
1976	130.40	62.90	81.30	55.20	43.00	23.00	0.10	4.40	12.30	32.20	71.60	44.40
1977	129.90	146.40	141.90	42.60	25.50	8.00	7.50	0.10	16.10	53.40	54.80	68.20
1978	12.70	34.40	48.50	37.00	65.60	3.90	4.40	3.80	23.80	24.40	54.00	44.80
1979	84.10	81.60	159.70	37.10	16.30	1.80	7.50	15.70	33.60	24.40	26.30	46.60
1980	34.90	42.40	65.00	29.30	6.90	15.10	3.20	5.60	2.30	130.40	111.00	106.70
1981	78.20	186.50	105.70	33.70	14.70	6.60	7.20	12.70	22.00	111.90	45.60	111.30
1982	71.70	102.90	75.70	88.70	38.20	7.80	2.10	6.60	43.90	124.80	67.30	87.40
1983	116.60	75.40	151.60	105.70	31.10	10.10	9.60	2.70	19.20	86.90	28.10	118.40
1984	24.70	233.60	123.80	80.00	69.50	25.10	23.40	18.70	36.70	68.60	97.60	104.10
1985	24.60	42.40	37.20	41.90	53.00	0.40	4.80	18.30	37.30	50.00	23.90	40.30
1986	84.40	47.70	96.80	120.20	16.20	0.60	1.20	14.60	1.20	43.60	66.20	51.80
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
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
1989	87.00	158.80	43.50	85.40	18.80	16.70	3.20	5.90	53.50	106.60	47.10	2.70
1990	101.80	68.50	58.30	27.40	39.80	24.60	0.80	7.10	20.10	87.60	99.10	72.30
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
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
1993	61.00	112.20	245.00	102.90	29.60	1.90	3.30	2.90	51.40	106.30	71.40	84.10
1994	116.90	103.10	170.20	144.90	29.80	11.10	5.50	9.70	31.80	69.80	60.80	65.90
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
1996	65.20	124.00	121.00	50.40	13.70	0.80	0.50	15.80	13.90	76.20	68.80	34.10
1997	63.80	152.90	26.50	40.40	17.00	15.40	0.20	0.00	27.40	50.80	111.90	129.40
1998	105.00	116.50	257.00	83.90	19.60	4.80	1.30	4.70	17.80	79.60	29.10	47.90
1999	94.80	242.70	69.50	64.40	53.70	22.80	22.10	1.20	81.40	21.70	77.00	68.50
2000	46.00	161.10	126.30	77.30	40.50	15.60	2.10	13.40	56.60	9.90	44.50	122.30
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
2002	27.00	60.80	133.10	77.20	23.00	8.80	10.70	3.40	14.60	90.30	99.90	86.10
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
2004	36.10	56.90	44.50	42.40	2.10	18.80	29.40	19.00	63.40	92.60	123.70	102.00
2005	84.90	119.30	136.00	54.00	7.20	4.50	0.60	3.50	31.20	92.30	30.00	87.80
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
2007	95.40	17.50	182.40	111.50	24.00	1.40	10.70	6.40	11.60	118.90	97.60	68.80
2008	80.20	133.30	118.40	99.10	22.70	15.40	2.30	11.70	34.70	96.50	72.20	34.40
2009	180.70	74.60	110.50	78.80	42.20	17.40	12.30	3.90	11.80	78.50	109.40	74.20
2010	49.50	112.90	154.00	88.40	17.90	4.60	2.20	1.30	1.80	28.70	23.50	59.20
2011	21.20	43.20	65.50	44.30	6.00	0.40	8.30	0.00	26.00	20.30	10.40	80.30
2012	105.50	104.90	96.10	46.30	35.80	0.70	0.00	0.00	19.10	49.20	44.90	21.20
2013	14.20	55.40	113.60	40.00	32.10	7.50	0.00	4.10	3.10	79.30	17.00	36.40
2014	57.60	35.60	95.90	35.90	29.20	5.30	1.90	3.80	28.50	26.60	45.90	116.80
2015	178.20	60.80	194.70	67.20	75.80	3.00	4.40	0.10	26.90	16.80	136.70	41.40
2016	83.30	85.30	119.00	58.50	7.00	1.60	2.10	16.10	23.40	61.70	14.50	63.80
PROM	77.45	94.34	114.01	64.60	27.07	9.94	6.28	8.95	29.84	65.09	62.84	68.51
D. EST.	39.62	48.18	58.52	26.34	18.08	8.44	7.07	7.63	19.09	31.02	29.83	31.67
MÁX	191.20	242.70	275.70	144.90	75.80	29.30	29.40	32.90	87.20	130.40	136.70	162.00
MÍN	12.70	17.50	26.50	26.60	1.50	0.00	0.00	0.00	1.20	9.90	10.40	0.90

Anexo N° 5. Precipitación Mensual - GRANJA PORCON

Departamento	CAJAMARCA				Provincia	CAJAMARCA				Distrito	PORCON	
ESTE	763297				NORTE	9221895				Altitud	3180 m.s.n.m.	
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
1,964	91.10	137.60	135.80	149.90	74.70	17.00	5.50	34.60	80.80	128.90	262.50	155.90
1,965	138.70	162.00	104.60	135.80	48.50	6.70	16.90	20.50	145.90	141.90	271.60	126.90
1,966	133.80	152.40	79.90	161.90	66.20	10.10	14.00	4.20	91.60	127.90	201.80	47.90
1,967	269.00	290.00	216.00	85.00	62.00	7.00	30.50	33.00	28.00	188.50	23.00	105.50
1,968	102.00	154.50	168.50	82.50	22.00	3.00	11.50	37.50	117.50	158.50	123.00	173.50
1,969	79.50	176.50	183.00	167.50	18.50	64.00	5.50	15.00	42.00	105.00	208.00	182.50
1,970	107.00	123.50	140.50	127.00	91.00	33.50	22.50	25.00	74.00	122.50	207.00	117.50
1,971	140.00	130.50	476.50	153.50	117.50	65.00	72.00	37.50	76.00	220.50	163.00	166.00
1,972	104.00	150.00	257.00	149.50	55.20	14.50	0.00	47.00	107.20	29.50	174.20	119.70
1,973	186.30	103.00	203.00	198.30	62.00	70.60	33.90	124.40	139.40	22.00	173.90	121.30
1,974	146.80	112.70	159.70	204.40	51.00	60.00	18.00	59.00	45.00	81.60	62.50	104.00
1,975	108.10	23.30	175.20	224.70	61.90	32.50	3.00	53.50	16.00	117.00	91.00	20.00
1,976	189.00	135.00	185.00	61.00	58.00	30.00	0.00	12.00	27.00	62.00	26.00	79.00
1,977	197.00	236.00	175.00	100.50	29.50	13.50	6.50	2.00	62.50	96.50	149.50	85.00
1,978	40.00	105.50	51.50	88.50	88.20	0.00	25.80	0.00	66.90	70.40	191.00	189.50
1,979	108.70	144.80	370.20	61.70	54.00	10.80	34.00	40.40	117.30	48.20	27.30	108.10
1,980	70.00	37.30	166.90	69.60	73.60	11.80	0.00	5.70	2.20	247.20	221.10	161.00
1,981	94.10	257.30	190.00	153.10	65.60	0.00	0.00	0.00	6.50	160.60	60.30	90.80
1,982	89.00	281.50	184.10	143.50	58.00	16.90	17.30	15.30	144.30	181.20	230.60	220.10
1,983	217.40	141.00	297.30	153.80	68.60	22.40	17.10	4.90	99.20	111.10	212.70	112.20
1,984	45.60	313.90	240.60	131.50	95.50	36.60	11.80	16.70	80.80	192.70	280.30	129.10
1,985	52.20	69.10	54.50	85.70	94.90	25.70	45.20	18.50	80.40	131.90	239.10	119.50
1,986	155.00	41.00	6.00	74.20	106.60	11.10	10.30	50.00	10.90	33.00	51.80	133.20
1,987	315.70	118.50	126.50	85.30	68.60	0.00	19.50	0.00	60.50	122.70	161.60	82.00
1,988	307.50	176.90	63.60	167.30	18.60	15.60	6.40	5.30	30.60	133.70	112.60	127.60
1,989	188.70	216.80	85.00	89.90	18.50	0.00	0.00	0.00	46.50	77.00	51.50	0.00
1,990	29.70	85.40	88.60	127.20	33.10	35.60	0.90	0.60	139.70	262.00	250.20	103.60
1,991	94.70	355.50	509.60	248.60	287.00	6.30	0.00	0.00	78.70	157.60	221.50	250.10
1,992	170.10	74.10	137.10	119.10	107.70	62.40	0.00	24.00	135.50	119.20	75.70	174.10
1,993	147.60	190.60	374.30	437.80	102.70	19.80	0.00	18.40	82.60	137.50	206.20	452.60
1,994	475.40	373.50	531.90	268.50	329.10	18.60	0.00	22.20	104.80	252.80	210.70	142.50
1,995	139.70	228.80	217.70	127.80	112.70	12.60	51.80	48.90	54.90	96.50	125.90	243.90
1,996	198.80	407.50	312.70	141.30	59.70	49.70	0.00	20.30	48.50	232.90	80.60	58.60
1,997	186.90	190.30	123.20	260.00	81.00	18.50	39.00	9.90	80.50	169.20	301.60	305.10
1,998	168.50	380.50	298.70	243.20	85.40	0.00	0.00	14.80	67.60	234.70	158.80	99.00
1,999	210.30	494.20	253.70	126.00	166.70	53.90	20.30	6.40	228.30	65.30	138.60	166.40
2,000	74.80	237.00	221.10	168.60	160.70	40.70	1.60	16.30	123.20	19.30	62.80	236.50
2,001	341.10	227.70	419.20	92.60	88.70	17.60	15.20	0.40	145.20	169.50	156.10	171.80
2,002	76.20	188.80	390.10	159.00	38.10	27.80	15.20	2.60	53.20	202.10	226.50	243.00
2,003	103.80	134.90	124.30	81.20	76.00	54.40	28.90	15.60	47.20	101.80	112.60	100.00
2,004	70.30	230.40	168.20	82.40	75.40	11.70	41.00	19.10	84.80	147.00	168.00	240.90
2,005	157.80	231.20	343.30	93.10	91.60	53.70	0.00	7.10	54.40	152.80	28.60	164.80
2,006	145.50	188.10	345.70	184.70	62.80	62.00	5.10	15.70	116.20	39.80	158.50	183.60
2,007	245.40	64.50	352.30	226.30	57.70	1.10	42.60	20.10	32.80	171.80	211.10	146.40
2,008	190.60	291.20	252.40	150.30	76.00	73.30	16.00	11.00	110.90	182.60	127.30	66.40
2,009	344.80	197.50	307.30	149.60	127.40	31.30	18.10	8.00	27.00	184.00	187.90	234.80
2,010	108.00	169.70	275.70	163.50	83.10	39.40	44.30	33.60	31.20	82.70	96.50	182.60
2,011	115.17	98.49	131.84	214.59	80.57	40.10	39.60	26.40	27.60	109.40	142.90	292.20
2,012	315.89	325.55	199.32	176.10	60.62	17.30	0.78	45.80	33.70	137.30	202.90	67.60
2,013	141.00	279.90	352.40	196.20	193.40	32.80	17.70	33.80	30.40	174.50	28.00	243.70
2,014	137.40	174.90	242.40	103.40	79.30	5.10	9.60	10.50	65.80	97.40	90.30	209.20
2,015	367.40	164.00	283.20	111.80	158.40	1.70	9.70	0.40	24.60	88.40	124.50	107.10
2,016	166.30	134.30	162.20	138.40	36.80	1.10	0.00	43.40	149.20	39.90	173.80	156.60
PROM	162.25	190.74	224.80	149.00	85.67	25.79	15.94	21.46	75.05	130.94	151.79	153.22
D. EST.	92.91	99.69	119.39	66.77	57.90	21.63	16.72	21.76	46.50	62.17	73.97	78.64
MÁX	475.40	494.20	531.90	437.80	329.10	73.30	72.00	124.40	228.30	262.00	301.60	452.60
MÍN	29.70	23.30	6.00	61.00	18.50	0.00	0.00	0.00	2.20	19.30	23.00	0.00

Anexo N° 6. Precipitación Mensual - MAQUI MAQUI

Departamento	CAJAMARCA				Provincia	CAJAMARCA				Distrito			
ESTE	780019				NORTE	9228957				Altitud	4240 m.s.n.m.		
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	
1,964	69.80	83.20	141.70	95.20	44.70	15.70	7.40	19.60	70.70	152.20	145.40	190.20	
1,965	87.70	125.80	145.70	79.30	34.80	7.50	11.20	7.70	96.40	119.20	102.10	144.80	
1,966	84.20	138.70	98.60	68.80	57.20	5.40	8.90	10.50	76.80	133.20	127.90	131.50	
1,967	122.30	217.30	192.80	69.80	51.40	6.10	14.10	10.70	16.90	182.80	149.60	169.30	
1,968	88.40	146.50	148.90	65.10	26.10	5.60	13.90	21.70	90.40	113.70	75.50	238.20	
1,969	66.90	172.30	157.50	102.80	33.10	58.00	6.20	15.90	39.70	127.60	130.10	159.70	
1,970	109.60	103.50	154.60	84.50	63.40	24.00	12.90	6.60	40.80	233.20	104.00	114.30	
1,971	129.20	189.90	311.10	97.90	76.40	48.70	29.90	20.10	41.60	124.90	78.40	223.90	
1,972	102.50	153.90	200.90	92.70	36.90	14.10	2.90	18.30	71.90	63.80	146.00	111.10	
1,973	150.00	144.90	213.00	155.30	43.60	40.60	11.40	22.00	108.90	65.40	149.50	185.20	
1,974	77.90	196.50	154.90	115.20	34.30	32.80	13.10	28.20	36.40	107.20	91.20	172.70	
1,975	95.00	189.40	135.80	121.80	43.30	12.90	5.00	20.10	17.90	74.20	113.10	79.00	
1,976	155.80	130.20	150.80	78.70	66.20	21.90	7.10	9.40	15.40	62.80	64.10	107.00	
1,977	155.20	155.70	146.70	71.50	36.50	13.20	11.70	6.00	56.40	109.30	173.80	172.30	
1,978	59.00	88.40	84.30	71.40	54.70	11.40	16.70	7.00	49.50	55.40	151.20	126.20	
1,979	106.50	157.40	244.70	101.30	52.10	11.40	20.30	18.30	91.60	33.40	86.70	159.90	
1,980	69.90	79.00	162.10	51.80	66.50	5.70	4.40	13.20	22.00	284.90	197.00	106.90	
1,981	93.90	224.60	155.50	98.80	44.80	3.40	4.10	18.00	17.20	197.10	54.20	137.70	
1,982	108.30	152.70	133.70	128.70	36.20	19.70	10.70	11.40	105.60	137.40	212.40	164.60	
1,983	161.30	104.00	194.20	148.80	42.10	19.70	13.10	12.50	76.90	151.80	107.00	116.10	
1,984	88.90	278.30	157.20	106.30	50.10	31.20	7.40	23.40	45.10	199.70	169.90	187.20	
1,985	51.60	88.70	101.60	56.50	76.30	31.10	18.10	21.00	67.20	43.90	87.50	163.40	
1,986	90.80	102.80	127.30	133.40	79.90	18.50	7.20	19.60	15.00	89.10	130.00	156.30	
1,987	179.60	139.80	138.40	72.00	47.00	11.70	13.90	18.10	53.30	66.30	146.20	127.50	
1,988	145.30	159.50	132.40	113.60	21.70	9.40	6.20	7.30	28.40	87.10	138.30	184.20	
1,989	113.90	188.20	131.70	127.10	20.10	11.10	5.30	16.60	49.80	141.50	88.40	53.30	
1,990	65.10	111.70	128.50	64.90	24.10	28.70	10.20	10.90	100.20	210.10	178.40	140.60	
1,991	63.60	135.10	267.30	93.90	105.30	13.50	2.30	9.40	69.60	82.30	135.70	210.30	
1,992	124.70	92.50	149.30	82.50	38.30	56.80	5.90	16.90	99.50	186.30	95.80	200.30	
1,993	105.80	162.00	220.80	111.80	37.40	18.00	11.30	5.10	70.70	109.10	115.00	244.40	
1,994	160.70	224.60	173.50	152.80	137.50	23.00	8.60	6.30	80.50	98.20	135.70	167.70	
1,995	20.60	145.00	154.60	84.50	72.50	14.20	3.90	3.60	22.20	70.40	156.20	168.90	
1,996	79.00	155.20	184.90	97.80	55.10	22.90	2.80	10.40	29.10	146.30	55.40	83.30	
1,997	94.20	125.20	74.90	63.50	25.10	9.40	6.10	2.30	25.90	89.70	136.40	118.60	
1,998	57.40	192.50	161.00	119.40	93.40	5.80	0.40	1.60	18.00	155.40	160.80	47.40	
1,999	162.40	315.20	137.40	69.60	101.40	93.20	17.00	7.20	123.60	58.00	110.20	238.00	
2,000	86.40	226.20	196.20	97.60	68.40	26.40	5.00	35.80	136.40	9.60	55.20	147.80	
2,001	243.20	148.80	257.40	99.60	65.40	6.80	12.80	3.40	72.00	124.60	170.40	193.60	
2,002	53.00	106.60	193.00	168.60	35.20	15.80	18.40	3.30	40.80	195.60	134.00	207.20	
2,003	92.40	101.60	113.80	25.60	9.40	13.20	4.40	4.40	13.40	18.00	22.40	118.70	
2,004	95.70	67.10	110.00	71.50	21.60	7.40	22.10	8.70	55.60	115.60	187.00	203.00	
2,005	116.30	140.20	325.70	122.90	30.50	17.50	11.40	17.80	36.80	292.40	73.90	229.40	
2,006	91.40	257.30	270.80	122.40	21.60	58.70	9.70	22.60	33.00	140.00	168.90	276.60	
2,007	120.10	72.40	236.20	137.40	67.30	6.30	51.00	37.10	33.20	234.00	194.80	108.20	
2,008	138.20	250.90	167.90	102.90	73.10	29.00	14.00	41.10	90.20	154.20	134.60	124.90	
2,009	263.70	173.70	256.30	198.40	134.60	74.40	24.90	38.30	44.90	181.60	200.40	170.10	
2,010	74.70	147.60	241.30	113.30	109.70	22.10	16.80	4.80	27.70	119.60	267.70	221.70	
2,011	118.60	161.00	251.00	218.90	28.90	13.20	8.90	6.60	74.60	73.10	149.30	191.80	
2,012	367.50	295.90	134.40	116.80	50.80	7.90	0.00	10.70	3.80	217.90	311.40	71.60	
2,013	96.80	144.00	172.70	76.50	162.60	9.90	26.70	43.90	12.20	149.10	80.00	161.00	
2,014	90.40	177.00	219.70	63.80	80.80	13.00	3.30	9.70	42.60	73.20	137.80	202.20	
2,015	308.50	131.10	239.00	110.00	124.50	9.90	11.10	12.90	47.00	52.30	140.70	157.40	
2,016	122.27	126.37	155.37	93.40	19.94	2.17	1.90	28.58	74.78	78.45	91.64	155.65	
PROM	116.53	156.57	175.64	101.67	57.24	20.94	11.21	15.22	54.34	124.38	132.44	159.30	
D. EST.	62.67	56.40	56.14	35.90	33.39	18.62	8.67	10.37	31.99	64.12	52.83	49.86	
MÁX	367.50	315.20	325.70	218.90	162.60	93.20	51.00	43.90	136.40	292.40	311.40	276.60	
MÍN	20.60	67.10	74.90	25.60	9.40	2.17	0.00	1.60	3.80	9.60	22.40	47.40	

Anexo N° 7. Precipitación Mensual - LA ENCAÑADA

Departamento	CAJAMARCA				Provincia	CAJAMARCA				Distrib	LA ENCAÑADA	
ESTE	796408				NORTE	9212494				Altitud	2980 m.s.n.m.	
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
1,964	67.60	58.70	139.80	138.00	30.30	8.10	6.70	20.30	30.90	113.30	124.80	133.80
1,965	44.10	62.40	147.10	126.60	34.40	2.50	5.10	9.10	41.50	130.70	98.50	125.50
1,966	43.00	42.00	64.00	81.70	47.60	6.10	10.40	2.70	55.80	107.00	93.50	44.40
1,967	121.30	154.80	144.70	129.70	43.10	7.50	9.10	7.90	25.80	177.60	37.20	135.00
1,968	47.00	78.90	55.00	90.70	36.40	1.30	3.30	14.40	53.70	116.90	101.60	141.40
1,969	29.70	131.20	121.30	91.10	22.10	23.40	8.20	14.30	40.50	82.60	166.30	100.00
1,970	84.40	39.00	90.60	80.80	40.80	31.10	6.40	1.70	31.30	190.60	76.30	118.20
1,971	33.30	51.10	145.90	266.10	18.70	21.10	10.50	11.90	42.10	182.40	67.90	125.20
1,972	11.80	43.60	121.30	106.90	23.90	6.60	4.60	6.10	52.50	50.20	99.30	122.20
1,973	126.00	92.20	86.60	97.80	17.80	60.30	0.50	5.60	88.70	117.90	97.70	107.70
1,974	98.50	111.60	102.20	94.80	20.60	25.20	0.60	23.90	92.20	135.70	84.50	100.20
1,975	79.60	117.60	260.40	212.70	77.20	3.60	13.10	12.10	51.30	163.90	71.40	47.30
1,976	75.80	160.30	93.80	77.60	42.40	13.10	2.40	5.80	13.70	61.50	95.20	62.50
1,977	106.30	158.00	147.60	142.70	27.20	21.90	1.40	3.30	35.20	93.20	98.70	100.10
1,978	25.80	61.20	73.80	93.90	100.20	5.80	14.20	4.40	36.30	43.30	70.80	147.20
1,979	60.60	154.70	142.40	178.10	38.90	2.50	10.60	14.10	32.80	35.00	37.20	117.50
1,980	34.30	36.50	156.70	77.00	42.70	7.30	0.60	6.90	10.30	197.80	122.30	134.50
1,981	76.10	145.70	57.20	100.70	45.70	23.80	0.60	15.70	24.50	165.80	88.90	97.30
1,982	75.10	18.00	114.00	82.50	56.00	1.00	8.40	2.40	71.50	187.50	88.70	149.50
1,983	148.40	39.70	174.20	163.20	78.20	44.30	7.50	11.90	9.80	128.20	41.40	115.70
1,984	21.40	223.50	110.30	120.80	49.00	15.10	6.50	11.50	5.30	121.60	124.60	114.20
1,985	15.40	65.30	70.90	51.70	49.30	10.60	38.20	11.70	28.40	114.20	44.10	93.80
1,986	134.10	74.80	97.60	98.50	40.00	3.60	0.30	8.90	9.60	77.50	123.30	137.60
1,987	221.30	140.80	121.20	66.30	33.40	6.40	10.00	10.50	57.00	57.10	124.70	112.60
1,988	125.90	112.70	87.20	57.10	16.70	8.40	0.10	2.50	55.10	109.30	97.30	118.60
1,989	58.30	147.80	118.90	121.30	37.00	28.90	4.40	7.70	56.00	184.20	70.30	31.60
1,990	99.90	110.40	79.60	79.10	34.20	32.00	1.50	6.30	24.00	131.20	141.50	112.60
1,991	39.20	112.80	180.80	137.00	42.90	6.30	0.60	2.20	42.50	36.60	105.60	127.00
1,992	42.30	54.60	87.20	75.70	32.70	26.50	3.30	8.40	42.00	112.70	37.50	150.00
1,993	78.90	186.10	279.80	259.50	53.50	10.50	0.60	8.30	72.80	169.80	105.70	160.00
1,994	125.90	166.70	316.90	225.60	52.30	20.90	1.60	5.00	47.40	49.70	149.00	124.60
1,995	42.00	135.50	137.80	70.90	41.10	17.50	5.50	4.00	30.50	115.30	98.70	107.50
1,996	86.90	172.60	297.70	142.00	29.40	1.30	1.80	6.80	33.00	153.40	71.50	69.60
1,997	64.90	145.10	88.60	30.90	20.30	19.10	0.60	3.90	31.20	101.50	100.00	169.30
1,998	102.10	196.00	223.30	165.20	71.50	6.20	0.50	8.40	36.30	132.70	40.40	86.60
1,999	115.30	294.80	108.70	93.70	102.80	62.90	11.00	9.30	132.80	30.30	125.30	143.40
2,000	46.90	155.90	184.70	137.90	89.70	18.20	0.90	20.00	88.10	4.70	50.40	117.40
2,001	238.90	72.40	203.80	236.80	60.70	0.50	2.70	0.80	30.90	129.30	101.80	86.40
2,002	42.90	89.40	241.10	182.50	12.60	14.10	4.40	1.10	28.80	159.20	152.10	161.00
2,003	33.10	80.60	145.50	101.80	37.80	38.30	0.00	9.90	41.90	93.80	124.40	85.00
2,004	95.40	72.50	54.60	137.20	39.80	5.80	21.70	0.50	44.20	173.20	108.50	171.20
2,005	119.60	107.10	260.80	146.30	42.00	12.40	1.20	7.00	13.40	205.50	38.20	145.40
2,006	74.60	134.70	292.10	167.40	14.80	41.80	11.40	4.90	65.40	61.20	106.90	91.70
2,007	93.10	44.80	259.40	143.20	70.90	0.00	9.40	5.30	26.40	133.10	127.50	92.90
2,008	93.56	165.10	156.67	142.30	46.07	30.42	4.92	12.08	59.66	156.90	93.78	64.89
2,009	185.16	106.70	190.72	167.08	82.81	34.14	9.99	8.91	21.96	155.10	140.24	139.01
2,010	53.60	110.12	198.55	143.30	54.36	16.01	8.71	5.38	13.69	77.43	94.45	130.11
2,011	55.14	72.75	130.10	171.23	25.62	11.71	8.68	4.42	36.27	66.11	69.69	161.65
2,012	178.06	171.12	125.38	121.97	44.83	5.88	0.09	7.54	16.04	135.36	153.00	56.00
2,013	44.10	96.90	181.50	39.40	115.40	11.20	3.60	19.10	0.00	157.00	39.50	94.50
2,014	90.30	119.10	195.20	95.30	79.80	0.00	0.30	0.60	44.10	91.90	100.10	133.90
2,015	185.10	75.70	254.70	77.30	104.10	3.30	5.30	0.00	3.00	27.80	166.20	27.00
2,016	139.20	95.20	123.70	73.80	3.20	23.10	0.80	1.90	61.70	85.10	8.20	201.90
PROM	85.49	110.69	151.77	122.88	46.69	16.22	5.75	7.91	40.37	114.92	94.28	114.04
D. EST.	51.67	54.48	69.20	53.14	25.41	14.67	6.52	5.48	25.11	50.52	36.73	36.63
MÁX	238.90	294.80	316.90	266.10	115.40	62.90	38.20	23.90	132.80	205.50	166.30	201.90
MÍN	11.80	18.00	54.60	30.90	3.20	0.00	0.00	0.00	0.00	4.70	8.20	27.00

Anexo N° 8. Precipitación Mensual - HUACATAZ

Departamento	CAJAMARCA			Provincia	CAJAMARCA				Distrito			
ESTE	779848			NORTE	9216276				Altitud 3130 m.s.n.m.			
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
1,964	103.90	96.70	173.20	89.60	41.40	16.80	8.80	23.50	33.00	94.30	128.80	106.80
1,965	103.30	93.70	149.10	107.50	23.30	5.00	8.80	5.90	38.80	113.20	144.80	91.90
1,966	87.10	53.10	115.60	72.30	54.80	6.40	4.70	5.10	50.50	125.40	93.30	78.20
1,967	149.90	164.30	148.40	59.10	66.80	7.60	23.10	11.20	33.00	115.20	47.50	73.90
1,968	80.90	87.50	127.20	51.60	27.40	8.90	6.60	32.30	48.00	74.80	117.50	129.50
1,969	54.60	77.70	152.90	92.50	16.10	17.20	4.90	17.90	44.30	83.10	137.90	181.30
1,970	87.00	43.10	133.70	86.50	49.60	14.60	8.30	5.40	34.80	148.40	120.90	99.60
1,971	67.00	122.10	327.90	72.30	21.50	11.80	17.60	26.90	41.50	90.30	101.80	98.70
1,972	69.50	92.60	143.50	91.40	21.40	10.90	6.20	33.80	38.70	75.00	128.50	113.40
1,973	128.70	97.40	156.80	104.80	26.00	22.40	9.80	26.90	63.50	73.90	128.70	96.70
1,974	91.20	172.60	160.50	83.20	12.20	17.30	10.90	42.30	91.30	87.60	46.30	111.80
1,975	133.40	179.40	194.80	100.20	63.80	7.70	9.50	28.90	53.60	70.50	108.90	34.20
1,976	172.60	93.60	141.90	57.40	57.30	16.90	1.40	4.90	20.80	75.30	49.00	72.40
1,977	226.20	184.90	179.30	55.30	96.40	12.00	11.40	2.20	22.20	68.80	70.50	81.50
1,978	28.10	68.80	93.50	81.70	75.10	8.40	15.20	3.10	27.20	59.90	89.40	62.30
1,979	88.00	102.80	209.20	60.90	25.60	0.10	17.10	31.90	48.80	14.20	33.20	54.60
1,980	53.00	48.80	97.10	48.20	10.20	9.00	1.30	8.50	15.30	147.60	201.40	81.50
1,981	72.30	222.60	86.80	46.30	25.60	27.30	15.40	9.60	10.00	95.30	101.40	113.70
1,982	77.00	101.90	113.20	69.10	32.00	11.40	1.40	0.20	74.60	162.80	91.10	170.50
1,983	131.30	51.00	196.00	159.30	33.40	9.20	5.90	3.20	28.60	84.30	76.80	143.10
1,984	72.20	332.80	168.60	115.20	85.40	21.10	15.80	29.80	39.90	124.60	92.80	90.80
1,985	80.90	48.90	59.40	60.30	43.90	0.70	3.00	23.50	60.90	76.40	58.00	113.10
1,986	108.90	89.60	87.60	91.20	28.10	0.20	2.50	30.80	9.90	124.60	92.80	90.80
1,987	144.40	95.50	74.50	97.30	32.30	4.70	14.10	26.70	62.30	77.00	86.80	72.10
1,988	131.10	124.60	107.00	110.20	26.70	6.80	4.70	2.40	45.00	80.00	82.80	119.20
1,989	120.50	181.60	138.10	109.20	23.00	12.60	5.90	8.80	46.70	82.80	76.50	81.10
1,990	134.30	91.30	126.00	52.10	39.40	21.10	6.60	11.20	28.60	137.60	140.30	112.40
1,991	67.40	100.20	132.80	72.50	22.70	8.30	5.30	1.40	58.20	79.70	143.20	124.50
1,992	66.00	45.40	119.60	49.10	31.50	15.60	9.60	21.40	35.10	104.50	70.60	79.20
1,993	84.90	117.90	240.30	114.50	34.60	4.30	9.80	3.30	69.20	93.50	150.50	135.90
1,994	139.50	114.20	160.10	163.30	36.70	9.80	2.40	1.40	34.10	63.70	133.00	170.60
1,995	66.70	123.40	147.10	86.50	36.20	10.20	13.10	14.00	37.70	82.40	91.40	131.80
1,996	89.70	125.90	147.40	92.90	26.30	9.00	5.80	22.60	37.60	81.90	70.20	87.00
1,997	87.80	167.50	50.20	72.40	29.00	16.90	5.80	1.60	43.80	111.10	192.40	157.60
1,998	120.50	135.10	263.00	108.70	22.60	8.50	5.30	8.60	28.10	121.30	122.10	80.70
1,999	138.50	265.50	129.20	97.80	62.50	17.00	20.10	0.60	82.50	64.80	109.00	99.90
2,000	67.50	182.20	122.10	105.90	55.20	14.30	3.30	17.70	75.30	61.00	80.20	153.40
2,001	225.60	105.20	226.90	89.20	58.50	5.80	10.30	4.10	30.30	94.40	103.60	110.60
2,002	36.80	83.60	133.10	103.70	37.60	6.50	10.50	9.20	68.70	110.00	164.30	120.10
2,003	61.90	91.90	91.70	56.50	31.90	19.10	2.90	18.30	26.20	82.10	119.40	132.30
2,004	97.80	129.50	133.70	76.00	41.00	11.40	9.20	7.90	32.80	93.00	104.60	131.80
2,005	132.10	107.30	146.90	86.50	45.80	11.10	7.60	18.30	25.20	131.60	50.40	158.80
2,006	99.80	105.90	173.00	89.90	19.00	20.20	8.20	9.90	61.40	87.60	101.50	139.00
2,007	125.70	79.40	139.00	111.50	32.10	5.50	10.10	18.30	39.90	108.10	155.50	93.20
2,008	115.96	178.67	151.46	102.33	38.06	21.86	7.49	21.98	62.00	128.64	104.69	62.28
2,009	229.48	115.46	184.38	120.16	68.40	24.54	15.21	16.22	22.82	127.17	156.56	133.41
2,010	66.44	119.17	191.95	103.06	44.90	11.51	13.27	9.78	14.23	63.48	105.43	124.86
2,011	68.34	78.73	125.77	123.14	21.16	8.42	13.22	8.05	37.70	54.20	77.79	155.13
2,012	220.69	185.18	121.21	87.71	37.04	4.23	0.14	13.72	16.67	110.98	153.26	43.47
2,013	64.30	117.02	172.36	77.39	79.62	9.47	9.95	23.91	10.57	117.15	36.86	113.45
2,014	80.79	95.34	154.00	54.03	43.30	5.10	3.44	7.52	37.69	54.39	82.40	157.18
2,015	246.27	92.11	210.29	82.68	86.61	3.16	6.58	4.29	30.20	42.30	141.49	82.99
2,016	107.54	95.01	128.74	79.25	13.15	1.16	1.45	27.59	59.79	58.84	72.06	106.14
PROM	107.65	118.41	148.27	87.38	39.89	11.15	8.51	14.50	41.31	92.28	104.53	108.69
D. EST.	50.20	55.18	49.56	25.62	20.35	6.51	5.18	10.81	19.14	29.43	38.00	33.73
MÁX	246.27	332.80	327.90	163.30	96.40	27.30	23.10	42.30	91.30	162.80	201.40	181.30
MÍN	28.10	43.10	50.20	46.30	10.20	0.10	0.14	0.20	9.90	14.20	33.20	34.20

Anexo N° 9. Precipitación Mensual - LA QUINUA

Departamento	CAJAMARCA				Provincia	CAJAMARCA				Distrito		
ESTE	769157				NORTE	9227473				Altitud	3618 m.s.n.m.	
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
1,964	72.30	106.90	125.50	122.40	73.60	22.50	8.00	19.00	84.00	185.30	207.10	173.90
1,965	164.30	127.60	168.50	107.00	62.10	14.60	9.40	6.90	85.30	154.70	162.80	150.80
1,966	94.10	148.70	82.40	83.90	70.80	19.50	11.30	5.10	87.00	160.20	165.20	114.30
1,967	183.50	216.40	255.00	67.20	77.20	20.50	10.10	4.50	39.00	198.80	189.40	176.10
1,968	110.60	153.60	158.50	94.90	71.70	14.80	7.40	19.20	133.80	165.10	101.10	196.20
1,969	87.90	149.80	172.90	129.30	75.20	38.90	7.80	22.60	66.10	156.20	165.70	196.40
1,970	123.40	135.20	122.50	98.90	96.70	22.40	8.50	3.80	74.30	233.90	170.70	154.30
1,971	151.60	211.60	298.30	94.90	105.50	42.80	31.50	20.90	99.00	132.10	107.90	238.20
1,972	110.50	168.20	217.80	111.20	58.90	16.10	3.40	19.30	130.90	75.50	223.20	113.30
1,973	161.70	150.80	194.30	174.90	67.40	49.00	13.40	21.40	152.00	81.50	218.90	199.00
1,974	88.00	171.30	135.10	124.50	62.20	36.70	10.20	22.80	59.30	152.30	119.70	157.50
1,975	98.60	170.30	168.60	143.10	65.00	23.30	3.10	16.70	46.70	114.70	196.00	123.80
1,976	198.40	118.10	186.80	108.10	84.60	26.00	4.30	5.20	76.00	95.80	87.80	164.50
1,977	167.10	162.80	235.00	146.20	69.60	15.00	8.80	2.80	85.00	153.80	217.30	136.40
1,978	64.50	111.70	120.50	85.10	67.70	11.60	12.70	8.40	95.70	88.50	220.80	129.60
1,979	105.50	152.00	299.80	85.50	61.20	14.80	13.10	16.70	118.50	68.10	132.50	121.00
1,980	103.00	106.90	218.20	69.50	67.90	18.10	3.90	14.50	53.60	231.30	244.60	137.80
1,981	82.50	210.90	260.70	67.90	90.30	15.40	6.90	15.50	51.30	182.30	77.70	195.20
1,982	104.30	127.40	258.80	154.60	74.10	16.80	11.80	11.50	122.20	177.00	240.80	196.00
1,983	201.80	126.00	340.30	205.70	75.80	25.90	8.90	10.40	93.30	156.60	156.30	95.90
1,984	96.90	226.20	275.20	131.90	83.10	33.10	4.50	18.30	95.80	218.70	216.50	148.10
1,985	81.10	106.00	101.30	97.40	89.60	21.10	14.10	17.70	101.60	77.80	101.90	223.60
1,986	123.20	113.20	132.80	180.90	91.40	19.80	6.60	19.50	50.40	117.60	194.90	175.60
1,987	208.60	166.40	183.70	125.90	75.00	18.90	12.10	11.20	65.30	91.70	189.10	120.80
1,988	199.90	122.70	138.20	177.80	56.50	15.20	5.30	7.20	60.20	108.90	176.40	133.20
1,989	129.30	172.20	133.90	168.20	61.60	12.10	5.80	5.30	98.40	164.10	102.90	72.00
1,990	77.30	116.70	141.70	96.60	63.50	34.80	7.80	12.20	83.80	214.80	225.00	168.60
1,991	62.20	159.20	253.40	96.20	118.00	10.80	2.90	9.00	110.80	152.40	173.40	180.10
1,992	152.90	124.50	155.90	118.70	61.40	37.40	3.50	5.30	114.20	238.80	125.90	183.10
1,993	93.00	163.60	229.80	149.60	60.90	33.50	6.40	8.30	104.80	182.10	148.40	167.20
1,994	174.30	251.90	172.30	222.60	133.60	14.80	4.60	2.30	70.60	132.30	172.10	148.80
1,995	57.00	202.20	181.10	122.20	110.50	10.90	8.90	7.70	89.50	107.30	230.90	224.00
1,996	129.10	140.50	222.60	88.80	86.30	37.70	4.90	19.80	40.10	179.30	63.90	88.70
1,997	89.50	109.70	169.90	103.20	71.40	16.50	14.60	4.60	67.50	117.50	157.10	147.20
1,998	62.90	198.30	137.60	99.20	105.00	12.90	2.20	5.40	58.50	200.20	167.10	53.20
1,999	21.60	300.00	128.60	74.00	102.00	73.40	21.80	32.40	147.40	84.00	192.90	194.80
2,000	57.20	199.70	254.00	105.80	95.10	30.20	1.60	14.80	155.60	23.40	60.40	194.10
2,001	348.20	149.60	476.70	149.10	113.00	20.30	41.90	1.10	100.60	129.00	265.20	222.30
2,002	120.40	130.60	305.00	235.50	63.50	16.30	20.80	0.00	75.70	199.70	104.70	189.50
2,003	105.40	93.70	89.40	100.60	41.90	3.60	0.00	0.00	46.00	81.90	79.80	113.80
2,004	79.80	166.90	199.90	180.60	112.30	19.30	25.70	14.00	122.20	224.30	248.70	360.90
2,005	87.90	217.10	296.20	76.40	66.80	37.10	0.80	13.70	26.40	321.80	66.80	169.40
2,006	73.40	194.60	363.00	136.70	47.80	32.50	9.90	29.20	66.80	116.30	168.90	141.00
2,007	156.70	66.50	269.70	170.70	63.50	3.60	49.30	12.70	35.80	229.10	259.80	103.60
2,008	135.41	237.75	213.13	147.60	78.10	44.91	9.27	18.64	122.22	207.79	165.76	92.39
2,009	267.98	153.64	259.46	173.31	140.36	50.41	18.83	13.75	44.99	205.40	247.87	197.92
2,010	77.58	158.58	270.12	148.65	92.14	23.64	16.42	8.30	28.04	102.54	166.93	185.24
2,011	79.81	104.76	176.99	177.61	43.42	17.29	16.36	6.82	74.30	87.55	123.16	230.15
2,012	257.72	246.42	170.57	126.52	76.00	8.68	0.17	11.63	32.86	179.25	242.65	64.48
2,013	75.09	155.71	242.55	111.63	163.38	19.45	12.32	20.28	20.83	189.23	58.36	168.32
2,014	94.35	126.87	216.72	77.94	88.86	10.47	4.26	6.38	74.29	87.85	130.47	233.18
2,015	287.59	122.56	295.93	119.25	177.72	6.50	8.14	3.64	59.53	68.32	224.02	123.12
2,016	125.59	126.43	181.17	114.30	26.99	2.38	1.79	23.40	117.85	95.03	114.10	157.46
PROM	125.71	157.56	208.64	126.04	81.85	22.91	10.53	12.30	81.43	149.05	165.50	161.25
D. EST.	64.28	46.27	76.21	40.20	28.45	13.62	9.52	7.61	33.79	58.76	58.10	52.55
MÁX	348.20	300.00	476.70	235.50	177.72	73.40	49.30	32.40	155.60	321.80	265.20	360.90
MÍN	21.60	66.50	82.40	67.20	26.99	2.38	0.00	0.00	20.83	23.40	58.36	53.20

Anexo N° 10. Precipitación Mensual - LA LLICA

Departamento	CAJAMARCA				Provincia	CAJAMARCA				Distrito			
ESTE	774495				NORTE	9249500				Altitud	2625 m.s.n.m.		
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	
1,964	76.00	88.90	137.40	107.70	33.80	29.60	12.50	58.30	44.30	89.20	90.20	81.60	
1,965	101.70	86.60	103.90	120.40	21.40	10.30	5.90	9.80	78.90	94.60	70.40	72.30	
1,966	73.50	61.70	71.50	79.80	21.30	6.20	3.60	10.20	49.60	123.00	58.60	32.00	
1,967	151.20	147.20	131.60	78.30	39.60	27.50	34.70	6.60	70.00	107.00	50.80	72.80	
1,968	56.00	108.20	96.80	72.70	31.00	8.70	8.20	38.10	55.50	98.20	41.90	107.40	
1,969	57.40	102.70	110.10	133.50	32.00	38.20	3.70	28.30	50.00	89.40	125.10	129.70	
1,970	109.90	74.50	118.40	99.10	48.80	33.90	6.20	3.60	54.00	101.00	81.40	92.30	
1,971	86.00	112.10	276.90	92.70	26.00	18.10	29.80	23.90	55.60	88.00	97.50	128.40	
1,972	73.00	88.20	131.20	106.40	39.60	12.60	5.10	6.70	61.60	46.10	83.10	121.00	
1,973	137.20	90.10	103.90	129.20	53.80	43.60	10.80	7.90	94.20	84.40	93.20	91.20	
1,974	79.10	154.10	100.90	88.60	43.60	38.30	11.80	54.00	67.00	52.60	63.50	109.20	
1,975	90.90	158.50	201.80	93.20	39.40	19.90	15.40	29.80	71.60	63.30	58.80	39.50	
1,976	123.80	85.10	100.20	65.20	44.10	49.50	3.50	12.00	37.60	58.70	66.60	70.00	
1,977	138.80	171.90	146.70	78.70	33.70	15.50	7.00	8.60	45.90	97.60	69.90	88.10	
1,978	30.00	38.00	66.60	81.40	29.10	10.30	10.80	11.60	60.10	62.30	86.60	104.40	
1,979	80.40	96.30	163.00	81.20	28.20	8.50	12.40	34.70	88.60	26.10	35.30	70.80	
1,980	54.10	59.60	80.00	70.60	35.80	26.10	6.30	16.20	54.50	134.20	141.10	90.00	
1,981	105.20	200.60	132.60	68.90	23.60	14.60	6.80	40.50	45.20	123.50	140.90	89.90	
1,982	97.40	112.20	114.80	112.50	33.70	18.20	1.80	3.60	68.50	98.80	107.00	112.30	
1,983	126.30	55.40	152.40	108.60	29.20	10.80	14.00	9.30	30.60	78.80	111.60	161.80	
1,984	49.80	228.70	150.00	129.10	49.80	27.30	18.00	60.60	30.50	82.10	40.70	40.40	
1,985	42.90	67.50	70.60	69.50	42.20	21.10	2.50	35.80	45.00	75.30	63.40	87.40	
1,986	99.40	108.50	100.60	144.10	82.20	1.50	0.00	48.10	56.60	78.50	85.90	150.10	
1,987	145.80	82.50	85.20	111.30	27.20	18.00	38.60	31.00	71.60	81.00	119.40	50.30	
1,988	126.40	119.80	86.30	92.30	6.30	36.90	0.00	5.00	58.50	56.80	132.80	63.60	
1,989	187.90	103.20	169.00	131.20	10.00	37.40	11.00	11.30	62.20	88.90	67.00	12.00	
1,990	59.20	85.50	54.80	82.10	59.50	59.10	2.00	10.00	46.30	118.50	121.90	40.40	
1,991	48.00	90.40	150.90	71.50	30.00	18.70	12.30	0.00	45.50	32.00	39.80	66.20	
1,992	54.00	35.90	54.00	72.80	23.50	35.00	11.50	12.60	84.00	111.90	64.50	68.40	
1,993	98.30	172.40	238.20	128.80	67.70	11.50	5.90	20.50	81.60	114.90	71.40	174.70	
1,994	110.40	109.30	247.30	145.30	29.60	16.00	0.70	0.00	52.70	75.80	123.60	125.90	
1,995	32.50	93.20	92.00	95.90	79.20	11.00	11.00	2.00	73.30	114.20	87.40	137.90	
1,996	75.70	181.50	174.50	83.60	50.70	9.80	15.40	24.60	50.30	189.10	45.50	27.70	
1,997	49.50	138.80	57.00	99.30	40.50	38.40	0.80	1.00	44.20	68.00	96.30	134.40	
1,998	81.60	130.90	228.90	165.90	63.50	10.30	0.00	0.40	32.30	142.30	108.90	75.40	
1,999	120.50	218.50	84.50	84.70	39.70	39.20	18.80	4.30	75.70	74.40	75.20	126.20	
2,000	64.90	150.90	122.80	100.90	44.10	30.10	10.20	41.40	71.60	61.40	88.00	119.00	
2,001	212.00	106.30	212.60	102.90	30.30	17.20	15.80	3.60	51.60	73.80	125.50	130.40	
2,002	42.70	74.00	142.00	120.30	31.00	28.60	12.90	13.40	56.90	90.80	100.50	164.40	
2,003	85.70	64.90	113.50	76.40	35.10	46.60	5.00	19.70	48.20	58.40	99.90	104.10	
2,004	86.10	97.40	140.50	89.00	69.50	21.10	11.00	11.80	48.00	98.60	72.40	158.60	
2,005	98.20	87.80	140.20	99.70	53.60	21.10	8.60	13.40	39.20	77.70	63.70	131.00	
2,006	94.50	91.60	188.70	102.70	58.20	30.00	7.10	17.60	52.10	61.30	91.00	140.80	
2,007	137.60	85.30	183.20	139.40	39.70	11.40	8.70	8.30	48.10	87.60	79.40	122.10	
2,008	104.27	165.53	137.53	118.64	39.62	45.23	8.63	28.03	81.98	119.20	84.89	56.21	
2,009	206.36	106.97	167.43	139.30	71.21	50.76	17.53	20.67	30.18	117.83	126.94	120.42	
2,010	59.74	110.41	174.31	119.48	46.74	23.80	15.29	12.47	18.81	58.82	85.49	112.71	
2,011	61.46	72.94	114.21	142.76	22.03	17.41	15.23	10.26	49.84	50.22	63.08	140.03	
2,012	198.45	171.56	110.07	101.69	38.55	8.74	0.16	17.49	22.04	102.83	124.27	39.23	
2,013	57.82	108.41	156.52	89.72	82.88	19.58	11.47	30.48	13.97	108.55	29.89	102.41	
2,014	72.65	88.33	139.85	62.64	45.08	10.54	3.97	9.59	49.83	50.40	66.82	141.88	
2,015	221.45	85.33	190.96	95.85	90.16	6.54	7.58	5.47	39.93	39.19	114.73	74.91	
2,016	96.71	88.03	116.91	91.87	13.69	2.40	1.67	35.17	79.05	54.52	58.43	95.80	
PROM	96.80	109.70	134.64	101.31	41.52	23.07	9.80	18.49	54.62	85.50	84.76	98.11	
D. EST.	46.39	43.14	50.60	24.62	18.57	13.87	8.03	15.56	17.83	30.36	28.78	39.09	
MÁX	221.45	228.70	276.90	165.90	90.16	59.10	38.60	60.60	94.20	189.10	141.10	174.70	
MÍN	30.00	35.90	54.00	62.64	6.30	1.50	0.00	0.00	13.97	26.10	29.89	12.00	

Anexo N° 11. Precipitacion Mensual - CELENDÍN

Departamento	CAJAMARCA				Provincia	CELENDÍN				Distrito	CELENDÍN	
ESTE	815563				NORTE	9241557				Altitud	2470 m.s.n.m.	
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
1,964	77.00	86.20	168.37	98.44	41.14	11.34	5.70	8.28	38.27	127.21	159.59	123.21
1,965	96.23	101.17	143.03	93.26	22.61	2.37	7.36	2.53	62.41	132.49	131.76	108.43
1,966	83.72	91.59	95.32	80.54	47.20	2.50	4.03	1.68	35.77	128.52	120.11	56.07
1,967	151.63	185.10	206.08	56.49	47.24	6.18	18.64	4.99	17.64	177.63	56.92	90.88
1,968	75.89	109.87	149.74	51.62	18.34	2.09	5.34	8.62	57.04	125.25	82.06	145.49
1,969	57.07	118.40	166.97	111.32	12.28	27.82	2.28	5.57	22.18	106.63	147.62	181.16
1,970	89.41	73.89	150.75	81.25	49.64	17.17	7.42	3.24	27.29	174.80	108.24	90.37
1,971	96.84	123.74	431.26	91.31	43.53	23.39	24.15	8.63	31.62	162.07	87.37	137.48
1,972	79.48	104.86	224.53	99.51	28.43	6.46	1.93	9.83	43.31	48.57	120.64	87.88
1,973	130.24	93.42	199.48	140.88	36.28	29.43	10.85	16.03	78.87	67.70	122.52	119.60
1,974	85.29	135.18	165.89	109.66	19.79	21.74	8.05	12.51	29.83	102.26	71.40	114.38
1,975	94.65	126.86	225.70	122.20	57.41	11.13	4.31	10.31	23.86	108.48	90.78	25.41
1,976	148.69	93.06	163.66	65.52	49.69	17.47	1.55	2.89	12.27	58.65	65.47	72.94
1,977	150.03	159.67	195.37	65.50	27.94	7.55	6.39	0.87	28.05	96.98	115.52	104.59
1,978	32.58	62.53	77.52	60.09	64.11	3.60	9.19	1.54	30.24	54.07	118.85	106.62
1,979	94.85	110.92	303.52	63.80	31.08	4.40	12.41	8.36	50.89	40.29	45.64	94.96
1,980	52.65	48.48	152.76	45.98	32.97	8.70	2.18	3.05	5.97	246.08	171.80	130.33
1,981	85.10	200.86	181.64	81.05	30.35	3.19	3.66	4.51	13.26	180.36	55.90	122.47
1,982	85.40	149.46	153.38	115.81	39.56	9.17	5.73	3.81	62.08	175.53	152.90	148.85
1,983	150.26	92.94	256.86	132.85	39.02	10.89	9.11	2.35	39.34	135.51	96.89	126.76
1,984	48.43	248.92	208.56	101.81	66.30	20.97	12.43	7.63	36.46	164.43	170.82	140.57
1,985	38.45	58.13	78.38	57.22	63.90	9.68	12.60	7.42	41.38	84.85	95.45	95.13
1,986	100.33	58.07	109.36	118.02	46.97	5.27	3.57	9.07	5.38	65.18	86.62	103.59
1,987	168.92	106.45	115.78	67.16	29.48	3.69	10.11	4.45	36.17	81.33	122.20	88.17
1,988	161.94	129.29	97.67	119.62	14.33	6.16	2.30	7.59	37.82	108.48	101.90	121.74
1,989	115.94	169.71	103.13	102.09	18.33	8.53	2.37	3.04	38.70	133.92	64.03	14.86
1,990	73.04	79.61	111.86	61.61	33.14	20.17	2.62	2.67	50.96	200.51	166.78	103.89
1,991	60.21	155.35	339.12	110.83	84.98	3.68	0.65	1.14	31.10	91.55	122.58	159.04
1,992	99.39	55.51	139.68	74.93	38.15	27.99	3.04	5.79	58.21	134.93	63.10	114.90
1,993	92.55	136.00	346.66	181.09	42.83	6.99	3.69	2.62	47.96	141.85	122.69	227.15
1,994	206.69	189.26	331.36	178.40	106.66	11.31	3.96	4.37	45.88	151.14	123.29	117.02
1,995	57.36	138.14	171.72	79.04	48.52	5.14	13.83	6.41	17.73	83.61	102.51	149.72
1,996	97.51	187.49	239.58	74.50	28.00	0.00	0.50	0.00	24.40	176.30	62.60	17.20
1,997	51.90	109.20	74.20	168.10	15.90	11.20	0.00	0.00	33.50	89.20	119.40	154.10
1,998	74.40	156.10	242.40	169.50	49.30	0.00	0.70	0.00	18.30	174.30	91.80	44.80
1,999	177.50	319.10	100.40	13.00	54.10	49.20	5.80	6.60	107.80	53.60	130.20	241.90
2,000	107.70	224.00	220.60	112.40	45.00	54.80	1.90	9.80	60.70	5.70	53.40	160.40
2,001	249.50	134.90	445.00	50.60	39.60	1.30	5.40	0.00	32.20	104.30	162.20	97.00
2,002	57.90	90.50	289.10	172.60	27.90	1.90	29.30	0.00	2.00	208.60	122.00	151.80
2,003	48.70	71.10	158.60	92.70	27.30	21.20	1.70	0.90	39.50	80.90	95.80	116.40
2,004	51.30	63.50	101.70	106.60	32.90	0.00	20.50	2.50	50.30	94.40	225.40	143.20
2,005	79.30	103.40	236.50	69.30	16.50	0.00	0.00	0.00	39.00	250.30	26.60	166.70
2,006	98.50	136.10	349.80	62.40	3.40	11.80	9.10	3.90	66.30	118.30	123.10	144.60
2,007	91.60	17.60	275.80	122.20	27.60	3.00	6.00	9.90	20.00	215.30	152.90	123.20
2,008	98.50	180.20	98.80	98.70	48.50	28.00	11.00	21.00	21.00	132.00	142.50	38.80
2,009	212.10	75.90	223.50	150.90	71.40	5.80	6.10	0.00	38.20	98.70	139.50	116.00
2,010	84.70	200.40	176.30	61.80	69.90	2.80	18.70	3.90	39.00	60.40	123.00	135.10
2,011	71.11	84.43	176.94	137.55	24.22	8.59	11.14	2.88	30.42	69.08	81.39	170.22
2,012	229.63	198.61	170.52	97.98	42.38	4.31	0.12	4.90	13.45	141.45	208.10	79.70
2,013	76.60	58.90	167.10	66.70	63.00	21.10	16.50	33.20	4.70	166.50	35.30	116.80
2,014	78.10	136.70	166.60	84.00	126.80	1.30	0.30	4.40	33.20	70.00	62.20	79.20
2,015	179.20	25.20	235.60	114.80	77.30	5.50	3.10	0.00	0.60	35.70	96.90	44.30
2,016	100.30	178.30	131.50	42.90	6.70	2.10	1.80	2.00	30.60	140.50	19.40	213.60
PROM	102.95	123.48	193.31	96.00	42.07	11.13	7.00	5.43	35.15	120.31	108.26	116.58
D. EST.	49.82	58.47	86.55	37.81	23.53	11.65	6.51	5.79	20.06	54.30	43.57	47.59
MÁX	249.50	319.10	445.00	181.09	126.80	54.80	29.30	33.20	107.80	250.30	225.40	241.90
MÍN	32.6	17.6	74.2	13.0	3.4	0.0	0.0	0.0	0.6	5.7	19.4	14.9