

UNIVERSIDAD AMAZÓNICA DE PANDO

ÁREA DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL



TESIS DE GRADO

**“CARACTERIZACIÓN HIDROLÓGICA Y FISIOGRÁFICA DE LA SUBCUENCA DEL
ARROYO VIRTUDES (ZONA C, COBIJA) PARA SU GESTIÓN Y CONSERVACIÓN”**

Postulante:

Univ. Helio Alcoba Rodríguez

Tutor Colectivo:

Ing. Fabricio Ocampo Vedia

Asesor:

Ing. Mirko Fabricio Ulloa Quintana

COBIJA – PANDO – BOLIVIA

2026

AGRADECIMIENTO

Gracias a Dios por darme la vida y por permitirme cumplir mis metas trazadas.

A mis padres por el gran sacrificio y apoyo incondicional que me dieron en esta etapa prioritaria de mi vida, por el ánimo, consejos, valores, para poder concluir la carrera universitaria, y también por enseñarme, jamás a desistir y a enfrentar cualquier obstáculo.

A cada docente por el empeño que ponen y por su compromiso con la carrera de estar y contar con su apoyo desde el inicio hasta la etapa final de la elaboración de mi proyecto de grado.

Al Ing. Mirko Fabricio Ulloa Quintana, por brindarme todo su apoyo académico y moral como asesor.

A los ingenieros, compañeros y amigos que me brindaron su amistad y hermandad, colaborándome académicamente en los momentos difíciles y buenos.

DEDICATORIA:

La presente Tesis de Grado está dedicada, en primer lugar, a Dios, por concederme el don de la vida, la salud, la fortaleza y la sabiduría necesarias para culminar satisfactoriamente esta importante etapa de mi formación profesional.

A mis padres, Felicia Rodríguez Cortez y Gastón Alcoba Fernández, por su amor, sacrificio, orientación y apoyo permanente, valores que han sido fundamentales en mi crecimiento personal y académico, y que han contribuido significativamente al logro de esta meta.

De manera muy especial, a mi querida esposa, Daniela G. Ayala Ríos, por su comprensión, paciencia, compañía y apoyo incondicional durante todo este proceso, brindándome la motivación y la confianza necesarias para perseverar y alcanzar este importante objetivo.

A todos ellos expreso mi más sincero agradecimiento y profunda gratitud, pues este logro es también el resultado de su dedicación, confianza y constante respaldo.

RESUMEN GENERAL

El presente proyecto de tesis de grado contiene la información de una determinación, las características físicas y el régimen hídrico de la subcuenca del Arroyo Bajo Virtudes ubicada en la zona "C" municipio Cobija.

Para ello, se obtuvo una imagen DEM (modelo digital de elevación), para la determinación de las características de la subcuenca con el software ArcMap ArcGIS versión 10.3, y con los datos de precipitación oficiales del SENAMHI y AASANA de Cobija - Pando, datos de las estaciones de BRASIL, lugares más cercanos a nuestra región y datos virtuales de la estación satelital de la NASA Giovanni.

Se procede al rellenar la estación, con la cual obtuvimos los datos de las precipitaciones mensuales, anuales y 24 hrs. máximas diarias, mediante ecuaciones y métodos estadísticos probabilísticos de la hidrología para lograr la actualización de las curvas IDF (Intensidad Duración y Frecuencia) para distintos periodos de retorno.

Se realizó la medición de caudales para los volúmenes del arroyo Virtudes durante nueve meses, con el equipo Mini-molinete M1 de Seba y/o método flotador, en la zona de aforo ubicado en el puente Ponderosa para obtener el comportamiento del flujo en tiempo de estiaje y época de llenura.

paralelamente se realizó los monitoreos del nivel freático, pH, temperatura, conductividad y oxígeno disuelto en 5 pozos perforados en la subcuenca alta del arroyo Virtudes, con la finalidad estudiar sus variables en el tiempo y encontrar su correlación entre ellas, en función de la variación del nivel en cada pozo de las arterias del arroyo Bajo Virtudes, en diferentes zonas de la subcuenca.

Relacionar caudal y nivel piezométrico con parámetros de calidad de agua para comprender su interacción.

INDICE DE CONTENIDO

1. CAPÍTULO I	1
1.1 INTRODUCCIÓN	1
1.2 ANTECEDENTES	2
1.3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	5
1.4 HIPÓTESIS	6
1.5 OBJETIVOS	6
1.5.1 Objetivo general	6
1.5.2 Objetivos específicos	7
1.6 JUSTIFICACION	7
1.7 METODOLOGÍA	9
1.8 ALCANCE	11
1.9 HERRAMIENTAS Y PROGRAMAS SOFTWARE	12
1.9.1 Equipo y software	12
1.9.2 Punto de aforo	12
1.9.3 Aforos mini-molinete SEBA M1	13
1.9.4 Método flotador	17
2. CAPÍTULO II. FUNDAMENTOS TEORICO Y ESTADO DE ARTE.	19
2.1 FUNDAMENTOS DE LAS CUENCAS HIDROGRÁFICAS	19
2.1.1 Definición de cuenca hidrográfica	19
2.1.2 Definición de subcuenca	19
2.1.3 Clasificación de cuencas	19
2.2 PARÁMETROS FISIOGRÁFICOS Y GEOMORFOLÓGICOS DE UNA CUENCA	20
2.2.1 Importancia de la caracterización para gestión y conservación.	20
2.2.2 Delimitación de cuencas mediante Sistemas de Información Geográfica (SIG)	20
2.2.2.1 Modelos Digitales de Elevación (DEM) y su utilidad.	20
2.2.3 Flujo de trabajo en SIG para delimitación	21
2.2.3.1 Validación y limitaciones	21
2.3 RÉGIMEN HIDROLÓGICO Y PRECIPITACIÓN EN LA AMAZONÍA	21
2.3.1 Conceptos básicos: precipitación y régimen hidrológico	21
2.3.1.1 Fuentes de datos: redes de estaciones y productos satelitales	22

2.3.2	Tendencias y variabilidad reciente en Amazonía	22
2.4	CURVAS INTENSIDAD – DURACIÓN – FRECUENCIA (IDF)	22
2.4.1	Definición y aplicación.....	22
2.4.2	Metodología para su obtención.....	23
2.4.3	Actualización y escenarios futuros	23
2.5	MEDICIÓN DE CAUDALES Y MÉTODOS DE AFORO.....	23
2.5.1	Principios del aforo.....	23
2.5.2	Mini-molinete (SEBA M1) — características y uso	24
2.5.3	Método del flotador y su aplicación	24
2.5.4	Buenas prácticas y registro continuo	24
2.6	MONITOREO DE AGUAS SUBTERRÁNEAS Y CALIDAD DE AGUA.....	24
2.6.1	Nivel freático y su importancia	24
2.6.2	Parámetros de calidad: pH, conductividad, temperatura, oxígeno disuelto.....	25
2.6.3	Integración de datos superficie-subsuelo.....	26
2.7	GESTIÓN Y CONSERVACIÓN DE SUBCUENCAS.	26
2.7.1	Principios de la Gestión Integrada de Recursos Hídricos (GIRH).	26
2.7.2	Estrategias aplicadas en la Amazonía.....	26
2.7.3	Relevancia local: Cobija y la subcuenca Virtudes.....	26
3.	CAPÍTULO III: DISEÑO METODOLÓGICO.....	27
3.1	ENFOQUE DE LA INVESTIGACIÓN	27
3.2	TIPO Y NIVEL DE INVESTIGACIÓN	27
3.3	DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN	27
3.4	ÁREA DE ESTUDIO.....	27
3.5	POBLACIÓN Y MUESTRA.....	28
3.5.1	Población	28
3.5.2	Muestra	28
3.6	TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS	28
3.7	INSTRUMENTOS DE INVESTIGACIÓN	28
3.8	PROCEDIMIENTO METODOLÓGICO	29
3.9	MÉTODOS DE ANÁLISIS DE DATOS.....	29
3.10	ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN	30

4. CAPÍTULO IV. INGENIERIA DE PROYECTOS.....	31
4.1 GEOMORFOLOGÍA DE CUENCAS	31
4.1.1 Delimitación de la subcuenca bajo virtudes	31
4.1.1.1 Procesamiento del (DEM) en ArcGIS 10.3.....	31
4.1.1.2 Georreferencia el ArcGIS a la zona de estudio	32
4.1.1.3 Corrección del (DEM)	32
4.1.1.4 Dirección de flujo	33
4.1.1.5 Flujo acumulado	33
4.1.1.6 Red de drenaje o ríos	34
4.1.1.7 Punto de salida.....	35
4.1.1.8 Subcuenca bajo virtudes	36
4.1.2 características físicas de la cuenca.....	37
4.1.2.1 Área de subcuenca (A).....	37
4.1.2.2 Perímetro de subcuenca (P)	38
4.1.2.3 Longitud de la subcuenca (P).....	39
4.1.2.4 Longitud del río principal	40
4.1.2.5 Ancho medio de la subcuenca (a)	40
4.1.3 Geomorfología de cuencas	41
4.1.3.1 Parámetros de forma	41
4.1.3.1.1 Índice de compacidad de Gravelius (Ic)	41
4.1.3.1.2 Factor de forma (Ff).....	42
4.1.3.1.3 Coeficiente de forma (Kf).....	43
4.1.3.1.4 Factor de elongación (Re).....	43
4.1.3.1.5 Relación de circularidad (Rci)	44
4.1.3.1.6 Rectángulo equivalente o rectángulo.....	45
4.1.3.2 Geomorfología de cuencas.....	49
4.1.3.2.1 Curva hipsométrica.....	49
4.1.3.2.1.1 Relación hipsométrica curva hipsométrica	50
4.1.3.2.1.2 Altitud mediana de la subcuenca	51
4.1.3.2.1.3 Altitud media ponderada.....	51
4.1.3.2.1.4 Altitud media simple.....	52
4.1.3.2.1.5 Relación hipsométrica.....	52

4.1.3.2.2	Polígono de frecuencia de áreas parciales.....	53
4.1.3.2.3	Índice de pendiente.....	53
4.1.3.2.4	Pendiente de la subcuenca Sc	53
4.1.3.2.5	Pendiente media del cauce principal.....	54
4.1.3.2.6	Clasificación de pendiente.....	56
4.1.3.2.7	Diagramas de frecuencia altimétricas	57
4.1.3.2.8	Relación de relieve	58
4.1.3.2.9	Tiempo de concentración.....	58
4.1.3.2.9.1	Formula de Kirpich.....	58
4.1.3.2.9.2	Formula de Temez	59
4.1.3.2.9.3	Formula de Pasini	59
4.1.3.2.9.4	Promedio del tiempo concentración.....	60
4.1.3.3	Parámetros de drenaje o desagüe de la subcuenca	60
4.1.3.3.1	Red de drenaje	60
4.1.3.3.2	Orden de los cauces	61
4.1.3.3.3	Longitud de los cauces.....	63
4.1.3.3.4	Indicadores de bifurcación.....	63
4.1.3.3.4.1	Densidad de drenaje	63
4.1.3.3.4.2	Constante de estabilidad del río	64
4.1.3.3.4.3	Densidad hidrográfica.....	65
4.1.3.3.4.4	Relación de bifurcación	65
4.1.3.3.4.5	Frecuencia de los cauces.....	66
4.1.3.3.4.6	Longitud promedio del flujo superficial	66
4.1.3.4	Tabla de resumen	67
4.2	ANÁLISIS DE LAS PRECIPITACIONES DE LA ZONA DE ESTUDIO.....	69
4.2.1	Estaciones meteorológicas.....	69
4.2.2	Análisis de consistencia.....	75
4.2.2.1	Análisis de consistencia (Hydrognomon)	75
4.2.3	Estación meteorológica completa.....	89
4.2.4	Precipitación máxima 24 horas	89
4.2.5	Distribuciones de probabilidad teóricas	91

4.2.5.1	Probabilidad Gumbel	91
4.2.5.2	Probabilidad log Pearson tipo III	93
4.2.5.3	Probabilidad Normal.....	96
4.2.6	Prueba de Smirnov- Kolmogorov.....	100
4.2.6.1	Prueba de Smirnov- Kolmogorov (Hidroesta 2)	104
4.2.6.2	Prueba de Smirnov- Kolmogorov (Hydrognomon)	105
4.2.6.3	Resumen de Prueba de Smirnov- Kolmogorov.....	108
4.2.7	Curvas Intensidad Duración y Frecuencia (IDF).....	108
4.2.7.1	Precipitaciones para cada periodo de retorno.....	108
4.2.7.2	Precipitaciones procesadas a duraciones en horas	110
4.2.7.3	Regresiones de intensidad duración periodo de retorno.....	111
4.2.7.4	Curva Intensidad Duración y Frecuencia (IDF).....	117
4.3	AFOROS EN EL ARROYO BAJO VIRTUDES	121
4.3.1	Resumen de aforo	130
4.4	MONITOREO DEL NIVEL FREÁTICO Y VARIABLES DE CALIDAD DE AGUA.....	131
4.4.1	Área de estudio	131
4.4.2	Pozos monitoreo	132
4.4.3	Potencial de hidrógeno (pH).....	132
4.4.4	Resultados.....	132
4.4.4.1	Profundidad de cada pozo de monitoreo.....	133
4.4.4.2	Volumen de agua	133
4.4.4.3	Temperatura.....	133
4.4.4.4	RELACIONAR CAUDAL Y NIVEL PIEZOMÉTRICO CON PARÁMETROS DE CALIDAD DE AGUA PARA COMPRENDER SU INTERACCIÓN.	139
4.4.4.5	Microcuencas de aporte a la subcuenca arroyo Virtudes	175
5.	CAPITULO V: RESULTADOS	177
5.1	Delimitación de la subcuenca	177
5.2	Características físicas y parámetros geomorfológicos de la Subcuenca	177
5.2.1	Características Físicas de la subcuenca	177
	Longitud del rio principal.....	179
5.2.2	Parámetros de forma.....	180
5.2.3	Parámetros de relieve.....	181
5.2.4	Parámetros de drenaje.....	183

5.3	Análisis de Precitaciones	186
5.4	Actualización de las Curvas IDF	187
5.5	Aforos en el punto de control de la subcuenca	189
5.6	Nivel freático y Variables de calidad del agua.....	189
6.	CONCLUSIÓN y RECOMENDACIÓN.....	191
6.1	Conclusión	191
6.2	Recomendaciones	192
	CAPITULO VI: BIBLIOGRAFÍA	194
7.	CAPITULO VII: ANEXO	195
7.1	Fotografías de aforos con el equipo “Minimolinete M1” de seba	195
7.2	Fotografías de aforos por el método flotador	196
7.3	Kit de toma de muestra de agua pH, temperatura, conductividad y oxígeno.....	197
7.4	Herramienta de perforación, extractor de muestra.....	198
7.5	Equipo Mini-molinete M1 de seba.....	198
7.6	Perforaciones.....	199

Índice de Figuras

Figura 1.1 Cuencas hidrográficas	4
Figura 1.2 Arroyo Virtudes	5
Figura 1.3 Punto de aforo	13
Figura 1.4 Manual del mini molinete M1 de SEBA.....	14
Figura 1.5 Cálculo de caudal método mini-molinete M1	16
Figura 1.6 Método del flotador para caudales	18
Figura 4.7 Modelo de elevación digital (DEM)	31
Figura 4.8 Corrección del (DEM)	32
Figura 4.9 Dirección de flujo	33
Figura 4.10 flujo acumulado.....	33
Figura 4.11 Valor de la Ramificación hídrica	34
Figura 4.12 Red hídrica	35
Figura 4.13 Punto salida.....	35
Figura 4.14 Mapa de la subcuenca Bajo Virtudes.....	36
Figura 4.15 Delimitación de la Subcuenca Bajo Virtudes	37
Figura 4.16 Perímetro de la Subcuenca Bajo Virtudes.....	38
Figura 4.17 Longitud de la subcuenca.....	39
Figura 4.18 Longitud del río más largo	40
Figura 4.19 Mapa de curvas de nivel	46
Figura 4.20 Mapa de áreas parciales	47
Figura 4.21 Rectángulo equivalente	48
Figura 4.22 curva hipsométrica de la cuenca	50
Figura 4.23 Diagrama de frecuencias altimétricas. Fuente: Libro de UMSS.....	53

Figura 4.24 Mapa de cotas de nivel de la Subcuenca.....	55
Figura 4.25 Mapa de la red de drenaje	61
Figura 4.26 Mapa de orden del número de ordenes	62
Figura 4.27 Ubicación satelital de las estaciones meteorológicas.....	70
Figura 4.28 Curva de doble masa (AASANA SENAMHI)	77
Figura 4.29 Curva de doble masa (BRASILEIA)	78
Figura 4.30 Curva de doble masa (EPITACIOLANDIA).....	79
Figura 4.31 Curva de doble masa (FLORESTA)	80
Figura 4.32 Hietograma de precipitación (AASANA).....	83
Figura 4.33 Hietograma de precipitación (BRASILEIA).....	84
Figura 4.34 Hietograma de precipitación (EPITACIOLANDIA).....	85
Figura 4.35 Hietograma de precipitación (FLORESTA)	86
Figura 4.36 hietograma de precipitación combinado	87
Figura 4.37 hietograma de curva de intensidad duración y frecuencia (IDF).....	118
Figura 4.38 hietograma de curva de intensidad duración y frecuencia (IDF) arroyo Bahía	119
Figura 4.39 Ubicación de los puntos (sujal).....	131
Figura 4.40 Ubicación de los puntos (zofra)	132
Figura 4.41 Precipitación vs nivel total de agua pozo 1 Sujal	140
Figura 4.42 Precipitación vs nivel total de agua pozo 2 Sujal	141
Figura 4.43 Precipitación vs nivel total de agua pozo 1 Zofra.....	142
Figura 4.44 Precipitación vs nivel total de agua pozo 2 Zofra.....	143
Figura 4.45 Precipitación vs nivel total de agua pozo 3 Zofra.....	144
Figura 4.46 Relación caudal y nivel piezométrico Sujal pozo 1	145
Figura 4.47 Relación caudal y nivel piezométrico Sujal pozo 2	146

Figura 4.48 Relación caudal y nivel piezométrico Zofra pozo 1	147
Figura 4.49 Relación caudal superficial y nivel piezométrico Zofra pozo 2.....	148
Figura 4.50 Relación caudal superficial y nivel piezométrico Zofra pozo 3.....	149
Figura 4.51 Relación entre el pH vs nivel de agua Sujal pozo 1	150
Figura 4.52 Relación entre temperatura de agua vs nivel de agua Sujal pozo 1	151
Figura 4.53 Relación entre conductividad de agua vs nivel de agua Sujal pozo 1.....	152
Figura 4.54 Relación entre oxígeno disuelto en el agua vs nivel de agua Sujal pozo 1	153
Figura 4.55 Variable en el tiempo vs nivel de agua Sujal pozo 1	154
Figura 4.56 Relación entre el pH vs nivel de agua Sujal pozo 2.....	155
Figura 4.57 Relación entre temperatura de agua vs nivel de agua Sujal pozo 2	156
Figura 4.58 Relación entre conductividad de agua vs nivel de agua Sujal pozo 2.....	157
Figura 4.59 Relación entre oxígeno disuelto en el agua vs nivel de agua Sujal pozo 2.....	158
Figura 4.60 Variable en el tiempo vs nivel de agua Sujal pozo 2	159
Figura 4.61 Relación entre el pH vs nivel de agua Zofra pozo 1	160
Figura 4.62 Relación entre temperatura de agua vs nivel de agua Zofra pozo 1	161
Figura 4.63 Relación entre conductividad de agua vs nivel de agua Zofra pozo 1	162
Figura 4.64 Relación entre oxígeno disuelto en el agua vs nivel de agua Zofra pozo 1	163
Figura 4.65 Variable en el tiempo vs nivel de agua Zofra pozo 1	164
Figura 4.66 Relación entre el pH vs nivel de agua Zofra pozo 2	165
Figura 4.67 Relación entre temperatura de agua vs nivel de agua Zofra pozo 2	166
Figura 4.68 Relación entre conductividad de agua vs nivel de agua Zofra pozo 2.....	167
Figura 4.69 Relación entre oxígeno disuelto en el agua vs nivel de agua Zofra pozo 2	168
Figura 4.70 Variable en el tiempo vs nivel de agua Zofra pozo 2	169
Figura 4.71 Relación entre el pH vs nivel de agua Zofra pozo 3	170

Figura 4.72 Relación entre temperatura de agua vs nivel de agua Zofra pozo 3	171
Figura 4.73 Relación entre conductividad de agua vs nivel de agua Zofra pozo 3	172
Figura 4.74 Relación entre oxígeno disuelto en el agua vs nivel de agua Zofra pozo 3	173
Figura 4.75 Variable en el tiempo vs nivel de agua Zofra pozo 3	174
Figura 4.76 Delimitación de las microcuencas del arroyo Virtudes	176

Índice de Tablas

Tabla 4.1 Áreas parciales.....	48
Tabla 4.2 Áreas parciales y curvas hipsométricas de la subcuenca.....	49
Tabla 4.3 Áreas parciales entre curva.....	51
Tabla 4.4 Clasificación de pendiente de la cuenca	56
Tabla 4.5 Pendiente del terreno	56
Tabla 4.6 Pendiente media de la subcuenca	57
Tabla 4.7 Polígono de frecuencia	57
Tabla 4.8 Longitud total de la red de drenaje	63
Tabla 4.9 Tabla de resultados de la subcuenca del arroyo bajo virtudes.....	67
Tabla 4.10 Ubicación de las estaciones meteorológicas.....	70
Tabla 4.11 Registros históricos de precipitación (mm) Anual	71
Tabla 4.12 Análisis de curvas de doble masa para las estaciones	76
Tabla 4.13 Tabla de comparación de curva doble masa.....	81
Tabla 4.14 Método promedio aritmético	89
Tabla 4.15 Registros histórico de precipitaciones (mm) 24 hrs máximas.....	90
Tabla 4.16 Calculo de probabilidad Gumbel.....	93
Tabla 4.17 Calculo de probabilidad Log. PEARSON TIPO III	96
Tabla 4.18 De distribución NORMAL	98
Tabla 4.19 Cálculo de probabilidad normal	99
Tabla 4.20 Nivel de significado para la prueba SMIRNOV_KOLMOGOROV.....	101
Tabla 4.21 Prueba de ajuste komogorov smairnov estacion (AASANA)	102
Tabla 4.22 Resultados de la prueba de ajuste KOLMOGOROV SMIRNOV.....	103
Tabla 4.23 HIDROESTA 2 (Gumbel).....	104

Tabla 4.24 HIDROESTA 2 (Log PEARSON TIPO III)	104
Tabla 4.25 HIDROESTA 2 (Normal).....	105
Tabla 4.26 Las 3 probabilidades HYDROGNOMON.....	106
Tabla 4.27 Grafica de probabilidades HYDROGNOMON.....	107
Tabla 4.28 Distribución log PERSON TIPO III para distintos periodos de retorno	109
Tabla 4.29 Duración en horas.....	110
Tabla 4.30 Precipitaciones máximas para diferentes tiempos de duración de lluvias.....	110
Tabla 4.31 Intensidades de lluvias para diferentes tiempos de.....	111
Tabla 4.32 Registros para cada periodo de retorno registros.....	112
Tabla 4.33 Coeficiente de regresión potencial	116
Tabla 4.34 Regresión potencial	116
Tabla 4.35 Curva de intensidad duración y frecuencia	117
Tabla 4.36 Resumen de aforo del mes enero 2025	121
Tabla 4.37 Resumen de aforo del mes de febrero 2025	122
Tabla 4.38 Resumen de aforo del mes de marzo 2025	123
Tabla 4.39 Resumen de aforo del mes de abril 2025.....	124
Tabla 4.40 Resumen de aforo del mes de mayo 2025	125
Tabla 4.41 Resumen de aforo del mes de junio 2025.....	126
Tabla 4.42 Resumen de aforo del mes de julio 2025.....	127
Tabla 4.43 Resumen de aforo del mes de agosto 2025	128
Tabla 4.44 Resumen de aforo del mes de septiembre 2025	129
Tabla 4.45 Caudal medios mensuales.....	130
Tabla 4.46 Caudales máximos y mínimos mensuales	130
Tabla 4.47 Ubicación del nivel freático.....	131

Tabla 4.48 Resumen de datos del nivel freático Sujal pozo 1	134
Tabla 4.49 Resumen de datos del nivel freático zofra Sujal pozo 2.....	135
Tabla 4.50 Resumen de datos del nivel freático Zofra pozo 1	136
Tabla 4.51 Resumen de datos del nivel freático Zofra pozo 2	137
Tabla 4.52 Resumen de datos del nivel freático Zofra pozo 3	138
Tabla 4.53 Resumen de volúmenes del nivel freático	139
Tabla 4.54 Ubicación de las microcuencas.....	175

Índice de Ecuaciones

Ecuación 1.- Mini-molinete SEBA 1.....	15
Ecuación 2.- De continuidad (caudal).	15
Ecuación 3.- Método flotador.	17
Ecuación 4.- Índice de compacidad de Gravelius (I_c).	41
Ecuación 5.- Factor de forma (F_f).	42
Ecuación 6.- Coeficiente de forma (K_f).	43
Ecuación 7.- Factor de elongación (R_e)	44
Ecuación 8.- Relación de circularidad (R_{ci}).	44
Ecuación 9.- Del rectángulo equivalente (L mayor).....	46
Ecuación 10.- Del rectángulo equivalente (l menor).....	46
Ecuación 11.- Relación hipsométrica	50
Ecuación 12.- Altitud media ponderada.	51
Ecuación 13.- Altitud media ponderada	51
Ecuación 14.- Altitud media simple	52
Ecuación 15.- Relación hipsométrica	52
Ecuación 16.- Índice de pendiente.....	53
Ecuación 17.- Pendiente de la subcuenca (Sc)	54
Ecuación 18.- Relación de relieves.....	58
Ecuación 19.- Kirpich.....	58
Ecuación 20.- Témez	59
Ecuación 21.- Paisini	59
Ecuación 22.- Densidad de drenaje (D_d).....	63
Ecuación 23.- Constante de estabilidad del río (D_h).....	64

Ecuación 24.- Densidad hidrográfica	65
Ecuación 25.- Relación de bifurcación.....	65
Ecuación 26.- Frecuencia de los cauces (Fc).....	66
Ecuación 27.- Longitud promedio del flujo superficial (Lo).....	66
Ecuación 28.- Probabilidad Gumbel.....	92
Ecuación 29.- Probabilidad log Pearson tipo III.....	94
Ecuación 30.- Probabilidad Normal	97
Ecuación 31.- Smirnov- Kolmogorov	100
Ecuación 32.- Intensidad de precipitación ($I=P/t$)	111
Ecuación 33.- Curva (IDF)	117

CAPÍTULO I

1.1 INTRODUCCIÓN

El agua es un recurso natural indispensable para la vida y el equilibrio de los ecosistemas, siendo su manejo un factor clave para el desarrollo socioeconómico. En la Amazonía boliviana, específicamente en el municipio de Cobija, el recurso hídrico es un pilar fundamental para la planificación urbana y la conservación ambiental. Sin embargo, la gestión integral del agua se ve obstaculizada por la carencia de información técnica sobre el comportamiento hidrológico de las microcuencas locales.

En la **subcuenca del arroyo Virtudes** (Zona C de Cobija), esa falta de datos técnicos se podría manifestar en problemas críticos como deficiencias en el drenaje, procesos de erosión, riesgo recurrente de inundaciones, podría verse afectada a una sequía tiempo adelante, y el deterioro de la calidad del agua.

A pesar de ser una fuente estratégica que abastece de agua potable a la población y sustenta actividades agropecuarias, no se disponía de estudios profundos que permitieran comprender su dinámica fisiográfica e hidrológica.

Ante este escenario, la presente investigación surge con el propósito de **generar información técnica confiable** que sirva de base científica para la toma de decisiones. El estudio se enfoca en caracterizar físicamente la subcuenca y analizar su régimen hídrico mediante una metodología **descriptivo-aplicada**. Para ello, se integra el uso de herramientas **Sistemas de Información Geográfica (SIG)** y modelos digitales de elevación (DEM), junto con la recolección de datos de campo, que incluyen aforos de caudales y el monitoreo de variables de calidad de agua y niveles freáticos.

Desde la perspectiva de la **Ingeniería Civil**, este trabajo no solo aporta insumos esenciales (como mapas temáticos y curvas de intensidad-duración-frecuencia actualizadas) para el diseño de infraestructuras hidráulicas, sino que también promueve la gestión sostenible del agua frente a los desafíos impuestos por el cambio climático y la presión antrópica en la región amazónica. En última

instancia, esta caracterización busca establecer una base técnica sólida para el **manejo, conservación y protección** de la fuente de abastecimiento de la zona C de Cobija.

1.2 ANTECEDENTES

El municipio de Cobija se encuentra en el departamento de Pando, entre los sectores pertenecientes a la provincia Nicolás Suárez, en la región fisiográfica de la Llanura Chaco-Beniana. Esta área se caracteriza por grandes planicies, formaciones de erosión intensa, colinas con fuerte y llanuras aluviales sin disección (ZONISIG, 1997).

Cuentan con microcuencas, subcuencas y corresponde la cuenca del Amazonas, la ciudad de Cobija se divide políticamente en tres zonas (A, B y C), la zona "C" cuenta con más de 10 mil habitantes, el arroyo Virtudes es de suma importancia para la zona C, debido a que es la fuente principal de abastecimiento de agua potable las 24 horas del día y sustenta actividades de ganadería extensa y agricultura a pesar de su importancia, no se han realizado estudios hidrológicos ni geológicos profundos sobre las microcuencas, subcuencas y la cuenca en general. Esto es preocupante ya que algunas microcuencas están causando impactos negativos en la ciudad, como socavaciones e inundaciones, mientras que otras se utilizan para satisfacer necesidades sociales, explotando sus recursos hídricos para consumo humano, agricultura y ganadería, como ser la subcuenca del arroyo Bajo Virtudes. Fuente: (Construcción Sistema de Abastecimiento de Agua Potable Zona "C" – Cobija)

El área de estudio cuenta con un sistema de agua potable denominado zona "C" – Cobija, la obra tiene los siguientes componentes; una obra de toma para la captación y acumulación de aguas, un cárcamo de bombeo, línea de aducción, una Planta de Tratamiento de Agua Potable PTAP compacta, una tubería de impulsión por bombeo hasta un tanque de almacenamiento elevado, desde donde se realiza la distribución por gravedad a toda la red garantizando las presiones correspondientes, el presente proyecto de tesis es importante para una mejor gestión de los recursos hídricos de la cuenca del arroyo Bajo Virtudes, para lo cual se realizaron estudios geológicos y geomorfológicos. Fuente: (Construcción Sistema de Abastecimiento de Agua Potable Zona "C" – Cobija)

Cuencas hidrográficas.

Actualmente todas las cuencas que escurren en Cobija captan y evacuan aguas pluviales del área urbana y algunas de ellas de áreas todavía en estado casi natural. En algunas se presentan efloraciones de flujos de aguas subterráneas muy pequeños.

Fuente: (Construcción Sistema de Abastecimiento de Agua Potable Zona “C”– Cobija)

El área del municipio de Cobija se encuentra dentro de la Cuenca hidrográfica del río Acre en su totalidad. Esta Cuenca hidrográfica tiene poco más de 30.000 km² y cubre territorios de Bolivia, Brasil y Perú. Todas las cuencas llegan a verter sus aguas ya sea en el Arroyo Bahía como en el Río Acre. Dado que el Arroyo Bahía confluye en el Río Acre, éste último se constituye en receptor final de todas las aguas superficiales de la ciudad de Cobija.

Fuente: (Construcción Sistema de Abastecimiento de Agua Potable Zona “C”– Cobija)

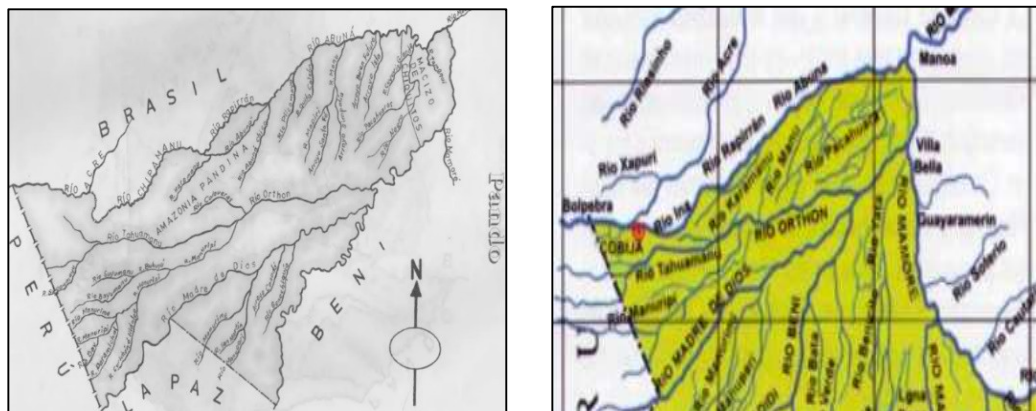
El río Acre es un afluente de la margen izquierda del río Purús que nace en el Perú y desagua en la margen derecha del río Solimoes (nombre dado al río Amazonas antes de su encuentro con el río Negro) en territorio brasilero. El río Acre demarca el límite del municipio al norte y al mismo tiempo el límite fronterizo Entre Bolivia y Brasil. Recorre territorio boliviano en dirección Oeste-Este, desde Bolpebra hasta Cobija en una extensión de 125 km, recibiendo aguas de las sub cuencas de los arroyos Bahía, Virtudes, Noaya, Buenos Aires, Madre de Dios, San Miguel y Piapi. En la ciudad de Cobija, cambia de dirección para Sur – Norte, entrando en territorio brasilero y desaguando en el río Purús.

Fuente: (Construcción Sistema de Abastecimiento de Agua Potable Zona “C”– Cobija)

En el extremo sudoeste del Municipio se encuentra la cuenca del río Avemanu, también conocido como Garapé Preto, el cual desemboca en el río Tahuamanu el arroyo Bahía define la delimitación de la frontera Este entre Brasil y Bolivia. La cuenca de este arroyo, tiene un área aproximada de 185 km² de los cuales, 35% de su área se encuentra en el Municipio de Cobija y 31% en el Municipio de Porvenir. El restante de su área se encuentra en territorio brasilero, en el municipio de Epitaciolandia, en el Estado de Acre. Cerca de 50% de la ciudad de Cobija se encuentra dentro de esta microcuenca.

Fuente: (Construcción Sistema de Abastecimiento de Agua Potable Zona “C”– Cobija)

Figura 1.1 Cuencas hidrográficas



Fuente: (Construcción Sistema de Abastecimiento de Agua Potable Zona “C”– cobija)

- **Disponibilidad de agua**

En los barrios que comprende la zona de intervención se han podido identificar dos posibles fuentes de aguas superficiales (arroyo Bahía y arroyo Virtudes).

por supuesto que, siempre es posible recurrir al aprovechamiento de las aguas subterráneas mediante pozos profundos, las fuentes superficiales corresponden a vertientes de agua que se encuentran próximas a la comunidad, y cualquiera de ellas puede ser objeto de aprovechamiento para el sistema de abastecimiento de la zona.

- **Aforo de la fuente de agua potable del proyecto**

Existen varios métodos para determinar el caudal de agua de una fuente y los más utilizados en los proyectos de abastecimiento de agua potable.

Son los métodos volumétricos y de velocidad – área. El primero es recomendable que sea utilizado para calcular caudales hasta un máximo de 10 l/s y el segundo para caudales mayores a 10 l/s.

Figura 1.2 Arroyo Virtudes



Fotografía 1 – Arroyo Virtudes



Fotografía 2 – Obtención de datos técnicos

1.3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La subcuenca del arroyo Virtudes, ubicada en la zona C del municipio de Cobija, representa un componente fundamental del sistema hídrico local, ya que contribuye significativamente al drenaje natural y a la regulación del flujo superficial. Esta zona, caracterizada por su topografía irregular y suelos de alta susceptibilidad a la erosión, cumple un papel crucial en la mitigación de los efectos de las lluvias intensas que caracterizan el clima amazónico. Sin embargo, a pesar de su relevancia ambiental e hidrológica, la subcuenca no cuenta con estudios técnicos recientes que permitan conocer su comportamiento fisiográfico e hidrológico de manera precisa.

El principal problema radica en la falta de información técnica sistematizada sobre las características hidrológicas y fisiográficas de la subcuenca del arroyo Virtudes. Esta carencia de datos impide comprender adecuadamente el funcionamiento del sistema hídrico local, limitando la capacidad de las autoridades y de los profesionales en ingeniería civil para planificar obras hidráulicas, o implementar medidas de conservación ambiental. En consecuencia, la toma de decisiones en materia de gestión del recurso hídrico se realiza con base en información incompleta o desactualizada, lo que puede generar errores en la planificación y ejecución de proyectos.

Entre las principales causas que originan esta situación se identifican varios factores interrelacionados

En primer lugar, la falta de estudios hidrometeorológicos continuos ha limitado el conocimiento sobre la dinámica de escorrentía y el comportamiento del caudal del arroyo Virtudes. Asimismo, la deficiencia en el monitoreo, sumada a la insuficiente gestión ambiental local, ha contribuido al deterioro de la cobertura vegetal, intensificando los procesos erosivos. Por otro lado, la falta de estudios técnicos específicos elaborados por instituciones locales o académicas ha impedido disponer de información confiable para modelar el comportamiento hidrológico de la subcuenca.

Las consecuencias derivadas de esta problemática. La ausencia de información técnica y de herramientas de análisis actualizadas dificulta la gestión integral del recurso hídrico, generando vulnerabilidad frente a eventos climáticos extremos, como las inundaciones que se producen con frecuencia durante las épocas de lluvia. Del mismo modo, la falta de estudios detallados impide establecer estrategias de mitigación adecuadas, lo que provoca afectaciones a la infraestructura urbana, pérdidas materiales y deterioro ambiental. Finalmente, a nivel social y ambiental, la falta de una gestión técnica adecuada aumenta la exposición de la población a riesgos naturales, comprometiendo la sostenibilidad de los ecosistemas hídricos locales.

1.4 HIPÓTESIS

En base al modelo digital de elevación (DEM) se procura hacer la delimitación sus respectivos parámetros Fisiográficos, Geomorfológicos de declividad y Red de drenaje de la subcuenca para un mejor apoyo a su manejo y conservación sostenible de la subcuenca.

1.5 OBJETIVOS

1.5.1 Objetivo general

Caracterizar las condiciones físicas y el régimen hídrico de la subcuenca del arroyo BAJO VIRTUDES (zona C. cobija) mediante herramientas, Sistema de Información Geográfica (SIG), y análisis hidrometeorológicos para generar insumos técnicos que apoyen su manejo y conservación sostenible de la subcuenca.

1.5.2 Objetivos específicos

1. Delimitar la subcuenca del arroyo VIRTUDES a partir de un modelo digital de elevación (DEM) utilizando el software ArcGIS 10.3.
2. Analizar los parámetros Fisiográficos, Geomorfológicos de declividad y Red de drenaje de la subcuenca, mediante herramientas (SIG) y softwares complementarios.
3. Evaluar las precipitaciones históricas con datos de estaciones meteorológicas SENAMHI, AASANA de Cobija-Pando, ANA telemetría del Brasil y plataformas satelitales de la (NASA).
4. Actualizar las curvas IDF para cobija. con datos pluviométricos recientes y distintos periodos de retorno.
5. Medir caudales del arroyo VIRTUDES durante nueve meses, en el puente Ponderosa, usando el Mini-molinete M1 de Seba y/o método flotador.
6. Monitorear del nivel freático, y calidad de agua (pH, temperatura, conductividad y oxígeno disuelto) en cinco pozos de la subcuenca del arroyo Virtudes.
7. Relacionar caudal y nivel piezométrico con parámetros de calidad de agua para comprender su interacción.

1.6 JUSTIFICACION

Este estudio se justifica porque existe un vacío de información sobre la subcuenca del arroyo Virtudes, pese a su importancia estratégica para el municipio de Cobija y la zona C. Sin datos técnicos fiables, la gestión del recurso hídrico resulta ineficiente, lo que podría generar riesgos de escasez, contaminación y degradación ambiental.

En el ámbito teórico, el presente trabajo de tesis aportará conocimiento sobre el régimen hídrico y las características fisiográficas de la subcuenca. En el ámbito práctico, brindará insumos técnicos (mapas temáticos, curvas IDF, datos de caudales y calidad de agua) para la planificación de otros proyectos hidráulicos y ambientales.

Los beneficiarios directos serán el municipio de Cobija, las comunidades de la zona C y la Universidad Amazónica de Pando. Asimismo, este trabajo tendrá pertinencia regional, considerando los impactos del cambio climático y la presión antrópica en la Amazonía boliviana.

El recurso natural que tiene un impacto más sensible en la vida humana es el agua dulce o continental. Es la fuente de la vida, y sin ella es imposible imaginar cualquier forma de desarrollo. En este contexto, la presente tesis de investigación adquiere una relevancia particular e importante, ya que aborda la conservación y manejo racional de un sistema hídrico esencial para la ciudad de Cobija y su población.

Desde la perspectiva profesional, esta investigación fortalece las competencias del ingeniero civil en el ámbito del análisis hidrológico, la modelación geoespacial y la aplicación de metodologías modernas para la gestión sostenible del agua. Además, promueve la capacidad técnica para diagnosticar y diseñar soluciones hidráulicas y ambientales con base científica y criterios de sostenibilidad.

Desde la perspectiva académica, el trabajo contribuye a la formación integral del estudiante, integrando conocimientos de hidrología, geomorfología, gestión de recursos naturales y planificación territorial. A su vez, fomenta la investigación aplicada y la generación de información técnica que servirá como base para futuras tesis, proyectos institucionales o municipales relacionados con la gestión del recurso hídrico.

En síntesis, esta investigación responde a una necesidad técnica real del municipio de Cobija, aportando una base científica sólida para la gestión integral del agua. Su ejecución contribuirá tanto al fortalecimiento de la práctica profesional del ingeniero civil como al desarrollo

sostenible de la región amazónica boliviana, en concordancia con los lineamientos del Plan Nacional de Cuencas 2021–2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible.

1.7 METODOLOGÍA

La presente investigación adopta un enfoque descriptivo, aplicado y de campo. Su propósito es caracterizar hidrológica y fisiográficamente la subcuenca del arroyo Virtudes (Zona C, Cobija), mediante la integración de mediciones in situ, análisis de datos hidrometeorológicos y procesamiento geoespacial mediante Sistemas de Información Geográfica (SIG).

El diseño metodológico se estructura en tres fases:

- 1 recopilación y revisión de información secundaria (mapas, datos de precipitación, registros de caudales).
 - 2 trabajo de campo para la obtención de datos primarios (aforos, medición de parámetros de calidad de agua, levantamiento GPS).
 - 3 procesamiento, análisis e interpretación de resultados mediante software especializado
- **Ubicación geográfica y temporal**

El estudio se desarrollará en la subcuenca del arroyo Virtudes, ubicada en la zona C del municipio de Cobija, departamento de Pando, región amazónica boliviana. Complementado con el análisis de registros históricos de precipitación y caudales. Variables y parámetros de estudio.

Las principales variables y parámetros considerados en la caracterización se resumen en la siguiente tabla:

Variable / Parámetro	Unidad	Técnica / Instrumento	Fuente / Método
Precipitación	mm	Registros SENAMHI, AASANA	Series históricas y satelitales (CHIRPS, GPM-NASA)
Caudal superficial	m ³ /s	Aforo con molinete SEBA M1 y método del flotador	Promedio de 3 mediciones por sección
Pendiente media	%	Análisis de DEM (ArcGIS Pro)	Modelo ALOS/ASTER
Densidad de drenaje	km/km ²	Delineación de red de drenaje	SIG
Calidad del agua	pH, T, S/cm, OD	Sensores multiparamétricos portátiles	

- **Métodos, técnicas e instrumentos**

Se emplearán métodos cuantitativos y geoespaciales de análisis. Los instrumentos principales incluyen:

Mini molinete SEBA M1 y método del flotador para medición de caudales, sensores multiparamétricos portátiles para parámetros de calidad de agua (pH, temperatura, conductividad, oxígeno disuelto) GPS de precisión y cámara digital para registro geográfico y fotográfico Software ArcGIS, Excel para el procesamiento, modelación y análisis hidrológico

- **Procesamiento y análisis de datos**

Los datos recolectados serán depurados y procesados en formato digital. Las curvas Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF) se elaborarán con base en registros históricos y análisis de probabilidad de precipitaciones. Los parámetros fisiográficos se obtendrán a partir de Modelos Digitales de Elevación (DEM) y se calcularán índices hidrológicos como pendiente media, densidad de drenaje, coeficiente de compacidad y tiempo de concentración.

1.8 ALCANCE

El presente estudio se desarrolló en la subcuenca del arroyo Virtudes, ubicada en la zona C del municipio de Cobija, departamento de Pando, región amazónica de Bolivia. El alcance del trabajo comprende la caracterización hidrológica y fisiográfica de esta subcuenca, considerando su delimitación geográfica y parámetros físicos.

La investigación abarcara trabajos de campo, mediciones de caudales y monitoreo de calidad del agua, complementados con el procesamiento digital y análisis geoespacial de los datos obtenidos.

En cuanto a su alcance temático, el estudio abordará los siguientes aspectos:

Delimitación y análisis fisiográfico de la subcuenca mediante modelos digitales de elevación (DEM) y herramientas SIG.

Evaluación de la precipitación y elaboración de curvas Intensidad–Duración–Frecuencia (IDF). Medición y estimación de caudales superficiales. Determinación de parámetros básicos de calidad del agua. En cuanto a las limitaciones del estudio, se consideran las siguientes:

Disponibilidad limitada de registros hidrometeorológicos históricos en la zona de estudio. El nivel de profundidad del estudio es descriptivo–aplicado, con énfasis en la caracterización técnica de los componentes hidrológicos y fisiográficos del sistema. Su ejecución permitirá disponer de información actualizada y confiable que sirva como base para la gestión integral de los recursos hídricos del municipio de Cobija.

En síntesis, el alcance de esta investigación se limita al análisis y diagnóstico técnico de la subcuenca del arroyo Virtudes, orientado a comprender su comportamiento hidrológico y fisiográfico con fines de conservación, planificación y gestión sostenible del recurso hídrico.

1.9 HERRAMIENTAS Y PROGRAMAS SOFTWARE

1.9.1 Equipo y software

A continuación, se presentará las herramientas y programas de software cada una de ellas integran diferentes tipos de aporte para concluir el proyecto que nos permitirán realizar todo el proceso y facilitar todos los cálculos, planillas a detalles y poder así cumplir con claridad y eficaz todos los objetivos específicos mencionados para este proyecto.

1. Imagen satelital resolución de 12,5 x 12,5 (DEM).
2. Datos de precipitación de las estaciones meteorológica ubicada en la zona de estudio.
3. Wincha de 50 m
4. Cámara fotográfica
5. Laptop personal Intel Core i7
6. Programa de cómputo: Paquete Microsoft Office 2016 (Excel, Word),
7. Software: ArcGIS 10.3, Hidroesta 2, Hydrognomon 4, Google Earth Pro
8. Equipo Mini-molinete M1 seba
9. Balsas flotante para el cálculo del tiempo
10. GPS

1.9.2 Punto de aforo

En el arroyo Bajo Virtudes se realizó aforos de caudales durante 9 meses de un ciclo hidrológico en la subcuenca ubicado dentro de la zona llamada ponderosa en la sección transversal del arroyo con la finalidad de observar cómo se comporta el caudal durante ese periodo de tiempo de estiaje y llenura que tiene el arroyo, ubicado en las coordenadas UTM, Este: 522076.85 m E, Norte: 8776692.09 m S y Elevación 214 m.s.n.m. ver figura 1.3.

Figura 1.3 Punto de aforo



Fuente: Google Earth Pro.

1.9.3 Aforos mini-molinete SEBA M1

Usando como método de aforo el instrumento mini-molinete M1 DE SEBA y el método flotador, se tomó estos dos métodos debidos que sólo contamos con un mini-molinete M1 de SEBA, para arroyos con menor profundidad como riachuelos, por el motivo que no contamos con un molinete para arroyos de mayor profundidad en la Universidad Amazónica de Pando.

Por el motivo de que el instrumento no cuenta con un seguro en la hélice y son de diámetros para arroyos de menor profundidad, se optó para complementar el método flotador en tiempos de llenura, es decir en momentos de lluvias.

Ya que es el más clásico en estas circunstancias, en este caso optamos por la hélice de diámetro 50 mm para arroyos no tan profundos la mínima y máxima profundidad es de 20 cm a 70 cm, que presentó la sección de aforo.

Figura 1.4 Manual del mini molinete M1 de SEBA

Minimolinete M1

El **minimolinete M1 de SEBA** sirve para medir la velocidad de la corriente del agua en laboratorios, modelos, arroyos, ríos y canales con reducido nivel de agua, así como en tuberías de pequeño diámetro.

Ventajas especiales:

- empleo universal
- baja velocidad de arranque
- transmisión de muy baja fricción
- realizado en materiales totalmente anticorrosivos
- sistema modular

Descripción:

El equipo completo está constituido por el molinete propiamente dicho, la barra-soporte con pie, cable y la caja-contador de impulsos (fig.7).



fig. 7: Mini molinete M1 sobre barra 9 mm dia.

Dimensión y rango de medida de las hélices

diámetro	paso de la hélice	velocidad máx. con caja-contador Z1	velocidad de arranque
50 mm	250 mm	2,5 m/s	0,03 m/s
50 mm	500 mm	5,0 m/s	0,05 m/s
50 mm	100 mm	2,5 m/s	0,025 m/s
50 mm	50 mm	1,0 m/s	0,025 m/s
30 mm	100 mm	2,5 m/s	0,03 m/s
30 mm	50 mm	1,0 m/s	0,03 m/s

Determinación de la velocidad de la corriente

Se recomienda el tarado del minimolinete con la hélice correspondiente, a fin de poder determinar la velocidad de la corriente de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$V = k \cdot n + \Delta$$

donde:

V = velocidad de la corriente (m/s)

k = paso hidráulico de la hélice (m) *

n = revoluciones de la hélice por segundo

Δ = constante del molinete (m/s) *

*) determinados mediante ensayos en canal de tarado

Maleta de instrumentos

El minimolinete, con piezas de re- cambio y accesorios pero sin contador, se conserva en una maleta realizada en aluminio y resistente a la intemperie, con compartimentos individuales de plástico para cada una de las piezas. (fig. 8)

Dimensiones: 553 x 225 x 90 mm

Peso: 3,2 kg

Piezas de recambio

Dos rodamientos de bolas especiales, aceite para el molinete, herramientas tales como destornillador y llave especial.

Accesorios

Hélices, barra-soporte con pie, 4m de cable de unión, pinza especial para sujeción a barra-soporte de 20mm de diámetro y pieza para desplazamiento.



fig.8: caja de transporte

El minimolinete M1 de SEBA es de empleo universal, pero a pesar de ello no puede sustituir completamente a un molinete de tamaño mayor.

Fuente: www.seba.de (manual del mini molinete seba m1).

El ancho de la sección medida diariamente se dividió en seis partes iguales para tener áreas y velocidades iguales y en cada área se colocaba la hélice del mini-molinete girando por 30 segundos ya programado en el contador Z6 y con una velocidad de arranque de 0.030 m/seg.

profundidades medidas multiplicadas por un porcentaje de 40% ya que las profundidades no eran mayores a un metro si sobre pasa se multiplica por un porcentaje de 60 % o 80 % había que promediar las velocidades, pero resultaron ser menor se optó por 40% teniendo así las revoluciones sobre segundo.

Lo cual vendría la determinación de la velocidad de la corriente aplicando la ecuación del Manual del equipo.

$$V = K * N + \Delta$$

Ecuación 1.-Mini-molinete SEBA 1.

Donde:

V = velocidad de la corriente m/seg

K = paso hidráulico de la hélice m

n = revolución por segundo m/seg

Δ = Constante del molinete m/seg

Luego tener los caudales diarios usando la ecuación de continuidad que es:

$$Q = A * V$$

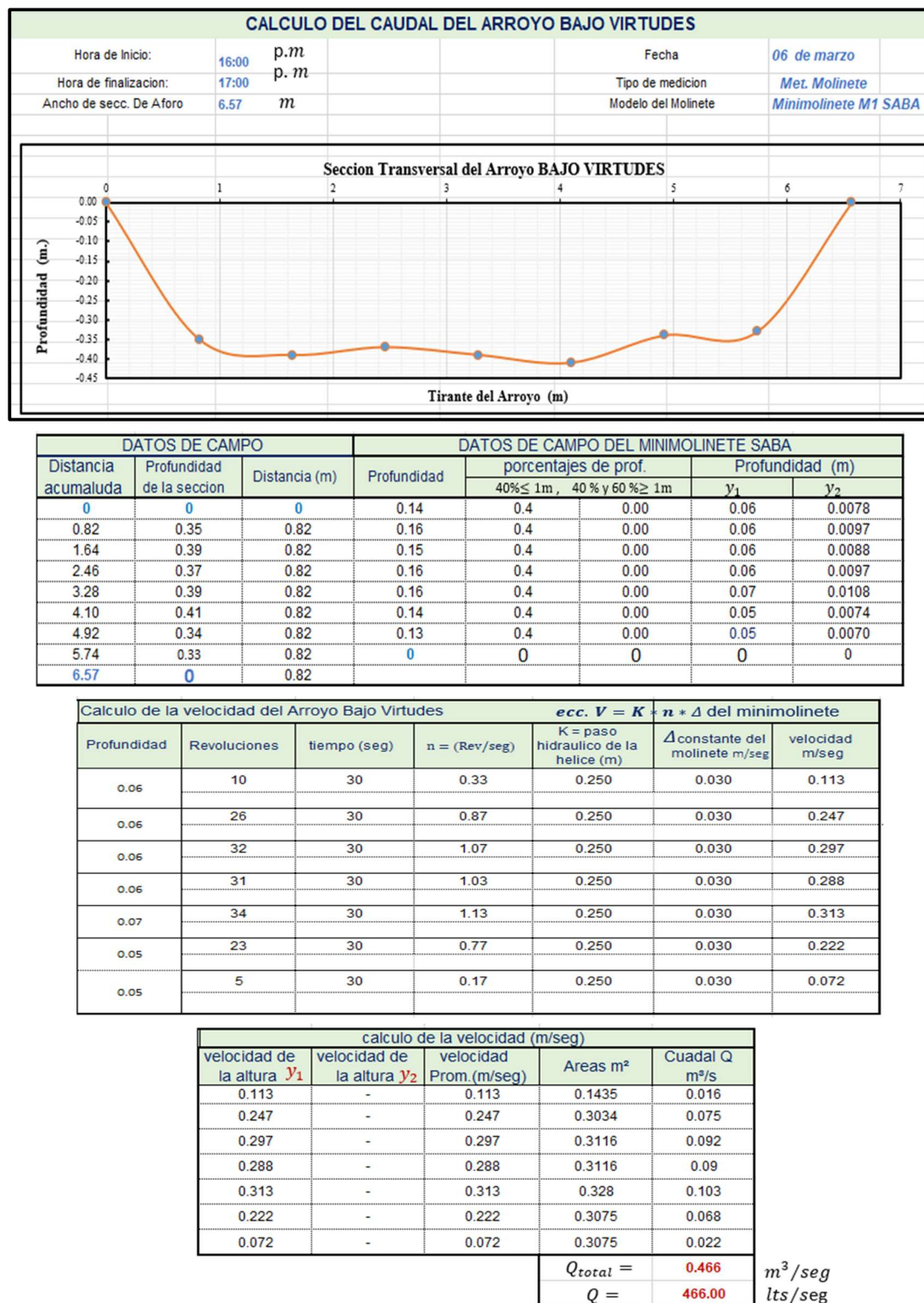
Ecuación 2.- De continuidad (caudal).

A = Área m²

V = Velocidad de la corriente m/seg

Ver imagen 1.4 y 1.5 manual del equipo y la hoja de cálculo que se usó para el método mini-molinete M1 de SEBA.

Figura 1.5 Cálculo de caudal método mini-molinete M1



Fuente: Elaboración propia.

1.9.4 Método flotador

Para la estimación del caudal del arroyo se aplicó el **método del flotador**, técnica hidrométrica de uso frecuente en estudios de campo cuando no se dispone de equipos especializados o cuando las condiciones del flujo dificultan la utilización de instrumentos como correntómetros o molinetes hidrométricos. Este método se empleó principalmente **durante días de lluvia**, cuando el nivel del agua y el caudal del arroyo aumentaban considerablemente, alcanzando profundidades **mayores a un metro**, lo que permitía obtener mediciones más representativas del comportamiento hidráulico del flujo.

Una vez obtenidas las velocidades y las áreas solo quedan multiplicar por un factor de error o correlación en este caso tomamos el 0.80 y tendrás el caudal aforado.

El estudio se realizó en un tramo del cauce ubicado en la zona de análisis del arroyo Virtudes en la ciudad de Cobija, seleccionando previamente una sección del río que presentara condiciones adecuadas para el aforo, tales como un tramo relativamente recto, con flujo, uniforme, sin remolinos pronunciados ni presencia de obstáculos como piedras grandes, troncos o vegetación que pudieran alterar la velocidad natural del agua.

1. Flotador de madera (palo de balsa) de aproximadamente 20 cm de longitud y 7.62 cm de diámetro, elegido por su buena flotabilidad y fácil visibilidad sobre la superficie del agua.
2. Wincha de 50 m
3. Cámara fotográfica
4. Cronómetro, empleado para registrar con precisión el tiempo de recorrido del flotador.

$$Q = k * v * A$$

Ecuación 3.- Método flotador.

Donde:

V = velocidad de la corriente m/seg

K = factor de correlación 0.7 - 0.90 de error

A = Área de la sección m²

Figura 1.6 Método del flotador para caudales

CALCULO DEL CAUDAL DEL ARROYO VIRTUDES METODO FLOTADOR							
Hora de Inicio:		13:45	p.m	fecha		01 de marzo	
Hora de finalizacion:		15:00	p.m	Tipo de medicion		Met. Flotador	
Ancho de secc. De Aforo		6.75	m	D _{Recorrida} =		10.00 m	
Factor de corrección		0.83					
DATOS RECOLECTADOS DE CAMPO						caudal	
n°	Distancia acumulada	Profundidad (m)	Distancia (m)	Tiempos (s)	velocidad (m/seg)	Areas m²	Cuadal Q m³/s
1	0.00	0.00	0.00	12.55	0.80	0.211	0.15
2	0.96	0.44	0.96	11.71	0.85	0.432	0.30
3	1.92	0.46	0.96	11.88	0.84	0.422	0.29
4	2.88	0.42	0.96	0.00	0.00	0.418	0.29
5	3.84	0.45	0.96			0.437	0.30
6	4.80	0.46	0.96			0.427	0.29
7	5.76	0.43	0.96			0.206	0.14
8	6.75	0.00	0.96			0.000	0.00
9			0.00				
10							
11							
					0.83m/s	2.554 m²	1.761 m³/seg

Q = Caudal en m/s,

Vs = Velocidad Superficial m/s,

Ap = Área transversal de la sección, m²

K=Factor de corrección, q depende del material del fondo del canal (Tabla 6.2.-)

DATOS:

$$ecc. Q = K * V_s * A$$

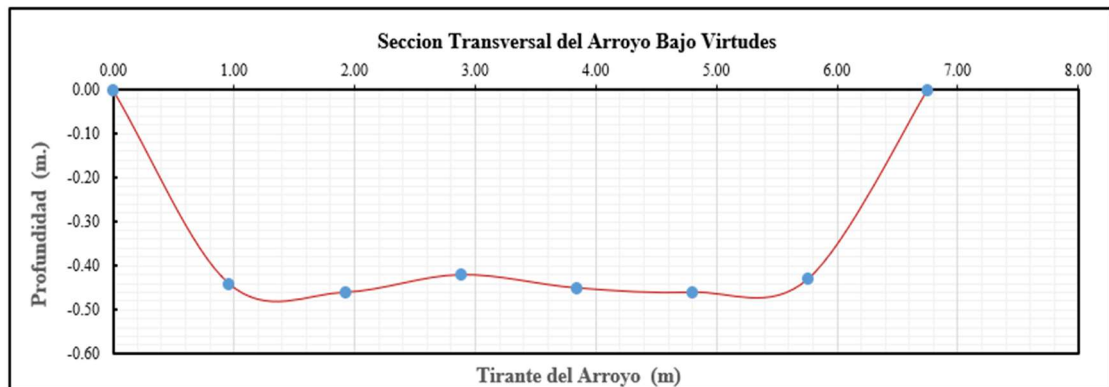
$$k = 0.83$$

$$v_s = 0.83 \text{ m/s}$$

$$A_p = 2.55 \text{ m}^2$$

$$Q_{total} = 1.761 \text{ m}^3/\text{seg}$$

$$Q = 1761.00 \text{ lts/seg}$$



Fuente: Elaboración propio.

CAPÍTULO II. FUNDAMENTOS TEORICO Y ESTADO DE ARTE.

2.1 FUNDAMENTOS DE LAS CUENCAS HIDROGRÁFICAS.

2.1.1 Definición de cuenca hidrográfica.

Una cuenca hidrográfica es la unidad fisiográfica que recoge la precipitación y la conduce, por gravedad, a un punto de salida o desembocadura mediante una red de drenaje. La delimitación natural se define por las divisorias de agua (*divortium aquarum*) y su estudio integra procesos de escorrentía, infiltración y almacenamiento superficial y subterráneo (Chow, Maidment, & Mays, 1994). En términos operativos, la cuenca es la unidad mínima de gestión del recurso hídrico, pues concentra la relación entre usos de suelo, geomorfología y régimen hidrológico (Bateman, 2007).

2.1.2 Definición de subcuenca.

Una subcuenca es una porción de la cuenca principal que drena hacia un afluente o punto intermedio. Se trata de una unidad de escala local que permite identificar aportes puntuales (micro-cuencas) y evaluar la respuesta hidrológica con mayor resolución espacial (Cahuana, 2009). En el perfil que presentamos, la subcuenca objeto de estudio es la del arroyo Virtudes (Zona C, Cobija), la cual, por su extensión y características, corresponde a una subcuenca con respuesta rápida a eventos pluviométricos.

2.1.3 Clasificación de cuencas.

La clasificación por tamaño es útil para entender escalas de respuesta hidrológica: cuencas grandes ($> 250 \text{ km}^2$) presentan respuesta más amortiguada a eventos, mientras que cuencas.

pequeñas ($< 250 \text{ km}^2$) muestran respuestas rápidas y mayor influencia de la cubierta vegetal y la rugosidad superficial (Chereque, 1989). Esta distinción condiciona la elección de métodos de aforo, resolución del DEM y la necesidad de mediciones en campo.

2.2 PARÁMETROS FISIAGRÁFICOS Y GEOMORFOLÓGICOS DE UNA CUENCA.

Los parámetros más utilizados en la caracterización incluyen:

- Área y perímetro (base para cálculos de escurrimiento).
- Longitud del cauce principal y perfil del cauce (influye en el tiempo de concentración).
- Pendiente media y pendiente del cauce (afectan velocidad del flujo).
- Densidad de drenaje y orden de la red (indicadores de evolución geomorfológica).
- Curva hipsométrica

Estos parámetros, obtenidos de SIG/DEM y validables con trabajo de campo, permiten estimar la velocidad de respuesta de la cuenca y las zonas de aporte (Cahuana, 2009; Niipele et al., 2019).

2.2.1 Importancia de la caracterización para gestión y conservación.

La caracterización fisiográfica y geomorfológica es la base para identificar zonas de recarga, áreas críticas de erosión e inundación y para diseñar medidas de conservación (Fattorelli & Fernández, 2011). En contextos amazónicos como Cobija, donde la presión antrópica y la variabilidad climática pueden alterar rápidamente el régimen hídrico, disponer de parámetros actualizados es un requisito para planeamiento y obras hidráulicas (Andes Amazon Fund, 2022).

2.2.2 Delimitación de cuencas mediante Sistemas de Información Geográfica (SIG).

2.2.2.1 Modelos Digitales de Elevación (DEM) y su utilidad.

Los DEM permiten representar la topografía en formato raster y son la fuente principal para extracción de redes de drenaje y delineación automática de subcuencas. DEM de satélites como ALOS PALSAR, ASTER tienen distintas resoluciones y precisiones verticales; ALOS PALSAR ha mostrado buenos resultados en extracción de drenaje en múltiples estudios, especialmente cuando se busca mayor precisión vertical en relieve suave (Niipele et al., 2019; GNEST, 2022).

El **DEM ASTER**, por ejemplo, proporciona información con una resolución espacial aproximada de **30 metros**, lo que permite realizar análisis regionales del relieve y de las características geomorfológicas de una cuenca. Sin embargo, debido a las limitaciones asociadas a la adquisición óptica de los datos, este modelo puede presentar ciertos **errores o irregularidades en zonas con densa cobertura vegetal o presencia de nubes**, lo que puede afectar la precisión de algunos análisis hidrológicos.

2.2.3 Flujo de trabajo en SIG para delimitación.

Un procedimiento estándar en ArcGIS (Hydrology toolset) incluye: rellenado de depresiones (Fill), cálculo de dirección de flujo (Flow Direction), acumulación (Flow Accumulation), definición de umbral para red de drenaje, y delineación de cuencas (Watershed). Estas herramientas permiten obtener automáticamente parámetros hidrológicos y crear mapas temáticos para análisis (Esri—ArcGIS Pro documentation, n.d.).

2.2.3.1 Validación y limitaciones

La delimitación generada por DEM debe validarse con: cartografía local, observaciones de campo (puntos de aforo, cursos visibles) y datos topográficos locales; los errores verticales del DEM afectan la posición de las divisorias y el ordenamiento de la red. Estudios comparativos recomiendan validar ALOS/ASTER con puntos GPS y, cuando sea posible, combinar distintas fuentes (ALOS, ASTER) para mejorar precisión (GNEST, 2022; Niipele et al., 2019).

Relación con el perfil: este perfil utiliza DEM ALOS/ASTER según lo planificado para la delimitación de la subcuenca Virtudes y cálculo de parámetros fisiográficos.

2.3 RÉGIMEN HIDROLÓGICO Y PRECIPITACIÓN EN LA AMAZONÍA

2.3.1 Conceptos básicos: precipitación y régimen hidrológico

El régimen hidrológico refleja la variación temporal de la precipitación y la respuesta en caudales; en la Amazonía la distribución pluviométrica es espacialmente heterogénea y presenta

tendencias de variabilidad interanual que impactan la disponibilidad de agua (da Motta Paca et al., 2020).

2.3.1.1 Fuentes de datos: redes de estaciones y productos satelitales

En Bolivia, SENAMHI y AASANA proveen series de lluvia, cuando es necesario ampliar cobertura espacial, productos satelitales (Giovanni/NASA) y combinaciones de series locales con datos satelitales pueden proporcionar series homogéneas para la región.

Saavedra et al., 2021). Estudios locales han mostrado que la combinación de datos de estaciones con productos satelitales mejora la calidad del análisis IDF y la estimación de precipitaciones en regiones con pocas estaciones (Ureña et al., 2021).

2.3.2 Tendencias y variabilidad reciente en Amazonía

Revisiones recientes reportan variabilidad espacial en tendencias de precipitación en la Amazonía; algunos sectores muestran aumento, otra disminución, por lo que es clave analizar series locales para Cobija antes de extrapolar patrones regionales.

Relación con el perfil: el objetivo de evaluar precipitaciones históricas (SENAMHI, AASANA, ANA-Brasil, NASA) es consistente con las mejores prácticas que combinan redes locales y productos satelitales para obtener series adecuadas a la elaboración de IDF. (Ureña 2021; da Motta Paca et al., 2020).

2.4 CURVAS INTENSIDAD – DURACIÓN – FRECUENCIA (IDF)

2.4.1 Definición y aplicación

Las curvas IDF relacionan la intensidad de lluvia (i , mm/h), la duración del evento (t) y el periodo de retorno (T). Son insumo obligatorio para dimensionamiento de desagües pluviales, diseño de obras hidráulicas y estimación de escorrentía de diseño (Ven Te Chow, 2020).

2.4.2 Metodología para su obtención

Procedimiento usual: reunir series pluviométricas anuales máximas por duración, ajustar la distribución de valores extremos, estimar precipitaciones para distintos periodos de retorno y calcular la intensidad $i = P/t$. La robustez depende de la longitud y calidad de la serie (Chow et al., 1994; Ureña et al., 2021).

2.4.3 Actualización y escenarios futuros

Debido a la variabilidad climática y posibles cambios en la frecuencia de eventos extremos, es recomendable actualizar IDF periódicamente y (cuando corresponde) elaborar curvas para escenarios climáticos futuros usando proyecciones de modelos acoplados, tal como se ha hecho en cuencas amazónicas (estudios de Brasil) (IDF study examples, 2019–2021).

Relación con el perfil: el propósito del perfil de actualizar las IDF para Cobija es técnicamente apropiado y requiere:

- (a) series locales largas (≥ 25 años cuando sea posible).
- (b) verificación de homogeneidad
- (c) ajuste estadístico riguroso — actividades contempladas en la metodología del perfil (Perfil de Tesis, 2025; Ureña et al., 2021). (Citas de soporte: Chow et al., 1994; Ureña et al., 2021; IDF future scenarios literatura).

2.5 MEDICIÓN DE CAUDALES Y MÉTODOS DE AFORO

2.5.1 Principios del aforo

El aforo consiste en determinar el caudal Q (m^3/s) como producto del área de la sección transversal (A , m^2) por la velocidad media (V , m/s): $Q = A \cdot V$. La precisión depende de la sección medida, el método de velocidad y el número de mediciones verticales (Bateman hidrología aplicada, 2007).

2.5.2 Mini-molinete (SEBA M1) — características y uso

El SEBA M1 es un molinete de pequeña escala diseñado para corrientes de baja profundidad (vel. mínima ≈ 0.025 m/s). Se usa para medir velocidad puntual en múltiples verticales y calcular el promedio ponderado que permite estimar el caudal (SEBA product documentation; ScotTech, s.f.). El procedimiento requiere calibración (tabla revoluciones→velocidad), medir en al menos 6 verticales y aplicar porcentajes de profundidad (p. ej. 0.4, 0.6) según normativa para promediar velocidades.

2.5.3 Método del flotador y su aplicación

Método empírico usado especialmente en tiempo de avenidas: se mide el tiempo que tarda un objeto flotante en recorrer una distancia representativa, corrigiendo por factor de correlación (0.7–0.9) para estimar velocidad superficial. Es simple y útil cuando el molinete no puede usarse (aguas turbulentas o muy profundas); sin embargo, su incertidumbre es mayor que la de molinetes calibrados (Cahuana, 2009).

2.5.4 Buenas prácticas y registro continuo

Para series hidrológicas útiles se recomienda: aforos repetidos, registro de condiciones (nivel, lluvia previa), calibración del equipo y uso de formatos estandarizados. En el perfil, las mediciones en el puente Ponderosa durante 9 meses combinan ambos métodos para cubrir estiaje y avenidas. (Citas de soporte: Bateman, 2007; SEBA product docs; Cahuana, 2009).

2.6 MONITOREO DE AGUAS SUBTERRÁNEAS Y CALIDAD DE AGUA

2.6.1 Nivel freático y su importancia

El monitoreo del nivel freático (piezometría) permite evaluar la recarga, el comportamiento estacional del acuífero y su relación con el caudal superficial. Niveles estables indican recarga

continúa; descensos prolongados alertan sobre sobreexplotación o sequía (Fattorelli & Fernández, 2011).

El nivel freático puede variar en función de diferentes factores naturales y antrópicos, tales como la precipitación, la infiltración del agua de lluvia, las características geológicas del terreno, la evapotranspiración, la topografía y el uso del suelo.

Durante periodos de lluvias intensas el nivel freático tiende a elevarse, debido a que una mayor cantidad de agua se infiltra hacia el subsuelo; mientras que en épocas secas o de sequía, el nivel freático suele descender por la disminución de la recarga y el aumento de la extracción o evaporación., desde el punto de vista hidrológico e hidrogeológico, el nivel freático es un componente fundamental del ciclo hidrológico.

Ya que conecta las aguas superficiales con las aguas subterráneas. Los ríos, arroyos y humedales pueden recibir aportes del agua subterránea cuando el nivel freático se encuentra cercano a la superficie, fenómeno conocido como flujo base o descarga subterránea, el cual contribuye a mantener el caudal de los cuerpos de agua incluso durante periodos sin lluvia.

2.6.2 Parámetros de calidad: pH, conductividad, temperatura, oxígeno disuelto

- pH indica acidez o alcalinidad; valores fuera de rango afectan potabilidad.
- Conductividad eléctrica refleja carga iónica y contaminación por sales o vertidos.
- Temperatura modula solubilidad de gases y metabolismo biológico.
- Oxígeno disuelto (OD) es indicador de calidad para vida acuática; bajos OD se asocian a contaminación orgánica.

Monitoreos periódicos permiten correlacionar variaciones con eventos climáticos y aportes puntuales.

2.6.3 Integración de datos superficie-subsuelo.

Relacionar caudal superficial con nivel piezométrico y parámetros de calidad es clave para detectar zonas de aporte hídrico de mejor calidad y para planificar protección de áreas de recarga (recent Amazon studies on water quality and hydrology). Relación con el perfil: el plan de monitoreo de cinco pozos y análisis de parámetros básicos (pH, OD, conductividad, temperatura.) está en línea con prácticas recomendadas para evaluar calidad y relacionarla con caudales superficiales. (Citas de soporte: Bateman, 2007; recent Amazon water quality literature).

2.7 GESTIÓN Y CONSERVACIÓN DE SUBCUENCAS.

2.7.1 Principios de la Gestión Integrada de Recursos Hídricos (GIRH).

La GIRH promueve la gestión del agua considerando la cuenca como unidad de planificación, integrando dimensiones hidrológicas, ambientales, sociales y económicas; busca equidad en asignación, sostenibilidad y resiliencia frente a variabilidad climática (Fattorelli & Fernández, 2011; UNESCO, 2015).

2.7.2 Estrategias aplicadas en la Amazonía.

Estrategias exitosas incluyen protección de áreas de recarga, restauración de riberas, manejo de cuencas con participación comunitaria y monitoreo integrado (Andes Amazon Fund—iniciativas en Cobija; regional Amazon studies on conservation). Estas medidas ayudan a mantener caudales base y calidad de agua para poblaciones locales.

2.7.3 Relevancia local: Cobija y la subcuenca Virtudes.

El estudio propuesto generará mapas temáticos, curvas IDF actualizadas y series de caudales y calidad que constituyen insumos técnicos para planes de manejo urbano y protección de la fuente de abastecimiento de la subcuenca del arroyo bajo virtudes zona C de Cobija.

CAPÍTULO III: DISEÑO METODOLÓGICO

3.1 ENFOQUE DE LA INVESTIGACIÓN

La presente investigación tiene un enfoque cuantitativo, debido a que se basa en la recolección y análisis de datos numéricos relacionados con variables hidrológicas como precipitación, caudal, nivel freático y parámetros de calidad del agua.

Asimismo, se apoya en herramientas de análisis geoespacial (SIG), lo que permite procesar información técnica para la caracterización de la subcuenca del arroyo Virtudes.

3.2 TIPO Y NIVEL DE INVESTIGACIÓN

El estudio corresponde a una investigación de tipo aplicada, ya que busca generar información técnica útil para la gestión y conservación de los recursos hídricos.

El nivel de investigación es descriptivo–explicativo, porque:

Describe las características fisiográficas e hidrológicas de la subcuenca
Analiza la relación entre variables como caudal, nivel freático y calidad del agua

3.3 DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

El diseño de investigación es no experimental, ya que no se manipulan las variables, sino que se observan y analizan en su estado natural. Además, es de tipo transversal y longitudinal:

Transversal: análisis de condiciones físicas de la subcuenca Longitudinal: seguimiento de caudales y variables hidrológicas durante varios meses

3.4 ÁREA DE ESTUDIO

La investigación se desarrolla en la subcuenca del arroyo Bajo Virtudes, ubicada en la zona C del municipio de Cobija, departamento de Pando, Bolivia.

Esta área fue seleccionada por su importancia en la gestión de recursos hídricos y la falta de información actualizada.

3.5 POBLACIÓN Y MUESTRA

3.5.1 Población

está constituida por toda la subcuenca del arroyo Virtudes con variables hidrológicas (precipitación, caudal, nivel freático, calidad del agua).

3.5.2 Muestra

La muestra está conformada por. Puntos de aforo en el arroyo (puente Ponderosa), cinco pozos de monitoreo de nivel freático. Registros meteorológicos de estaciones (SENAMHI, AASANA, NASA)

3.6 TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

Se emplearon las siguientes técnicas:

- Aforos hidráulicos para medición de caudales
- Monitoreo de campo para nivel freático
- Muestreo de agua para calidad (pH, temperatura, conductividad, oxígeno disuelto)
- Análisis documental de datos meteorológicos históricos
- Análisis geoespacial mediante SIG

3.7 INSTRUMENTOS DE INVESTIGACIÓN

Los principales instrumentos utilizados fueron: Mini molinete SEBA M1. Método del flotador, sensores multiparamétricos portátiles, GPS y cámara digital y Software ArcGIS y Excel

3.8 PROCEDIMIENTO METODOLÓGICO

El desarrollo de la investigación siguió las siguientes etapas:

- Recolección de información secundaria
- Datos meteorológicos de SENAMHI, AASANA y plataformas satelitales
- Delimitación de la subcuenca
- Uso de modelos digitales de elevación (DEM) y ArcGIS
- Análisis fisiográfico y geomorfológico
- Cálculo de parámetros como pendiente, drenaje y relieve
- Medición de caudales Aplicación del método de molinete y flotador
- Monitoreo de nivel freático
- Evaluación en cinco pozos de observación
- Análisis de calidad del agua
- Medición de pH, temperatura, conductividad y oxígeno disuelto
- Procesamiento de datos
- Elaboración de curvas IDF y análisis estadístico
- Correlación de variables
- Relación entre caudal, nivel freático y calidad del agua

3.9 MÉTODOS DE ANÁLISIS DE DATOS

Los datos fueron procesados mediante:

- Análisis estadístico Media

- Desviación estándar y probabilidades Distribuciones de probabilidad Normal y Log-Pearson Tipo III
- Prueba de ajuste Smirnov-Kolmogorov
- Análisis geoespacial Modelación en SIG

3.10 ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN

El estudio tiene un alcance descriptivo aplicado, enfocado en la caracterización hidrológica y fisiográfica de la subcuenca. Incluye:

- Delimitación geográfica
- Análisis de precipitación
- Medición de caudales
- Evaluación de calidad de agua

El municipio de Cobija, ubicado en el departamento de Pando y perteneciente a la provincia Nicolás Suárez, se sitúa en el extremo norte del país, dentro de la región de la Llanura Chaco-Beniana. Se caracteriza por su relieve plano, clima tropical húmedo y abundante vegetación amazónica.

Su ubicación fronteriza con Brasil, frente a la ciudad de Brasiléia, le otorga un rol importante en el comercio y la integración regional. Además, el río Acre es un elemento clave tanto geográfico como económico. En conjunto, Cobija es un centro estratégico del norte amazónico boliviano, destacado por su función administrativa, su actividad comercial y su entorno natural.

Esta área se caracteriza por grandes planicies, formaciones de erosión intensa, colinas con fuerte y llanuras aluviales sin disección (ZONISIG, 1997).

CAPÍTULO IV. INGENIERIA DE PROYECTOS

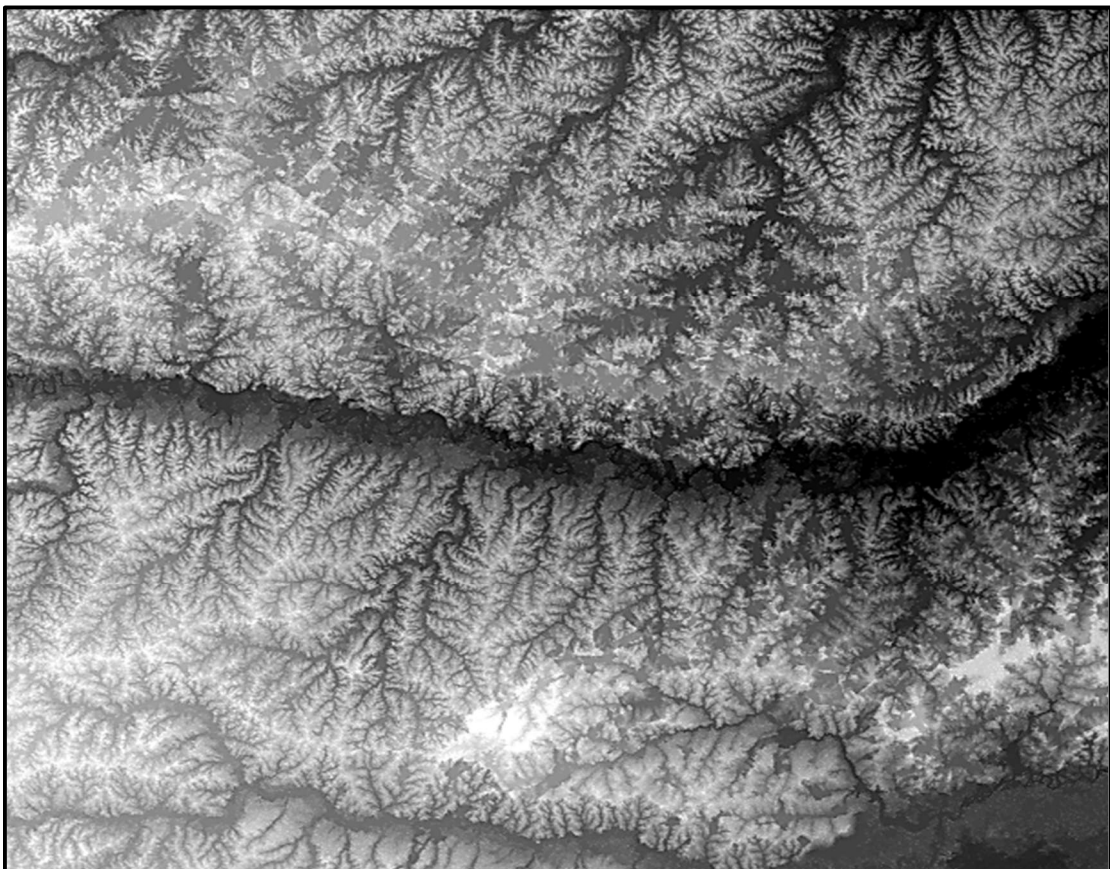
4.1 GEOMORFOLOGÍA DE CUENCAS

4.1.1 Delimitación de la subcuenca bajo virtudes

4.1.1.1 Procesamiento del (DEM) en ArcGIS 10.3

El proceso para la delimitación de la subcuenca del arroyo Bajo Virtudes, se realizó por medio de un modelo digital de elevación (DEM) 12.5X12.5m, por lo cual nos brindara todas las características obtenidas del satélite espacial la NASA Alos Palzar (USGS). Registrarse a la página <https://search.asf.alaska.edu/#/?zoom=3.000¢er=-97.620,40.295&dataset=ALOS>.

Figura 4.7 Modelo de elevación digital (DEM)



Fuentes: satélite de la NASA Alos Palzar (USGS).”

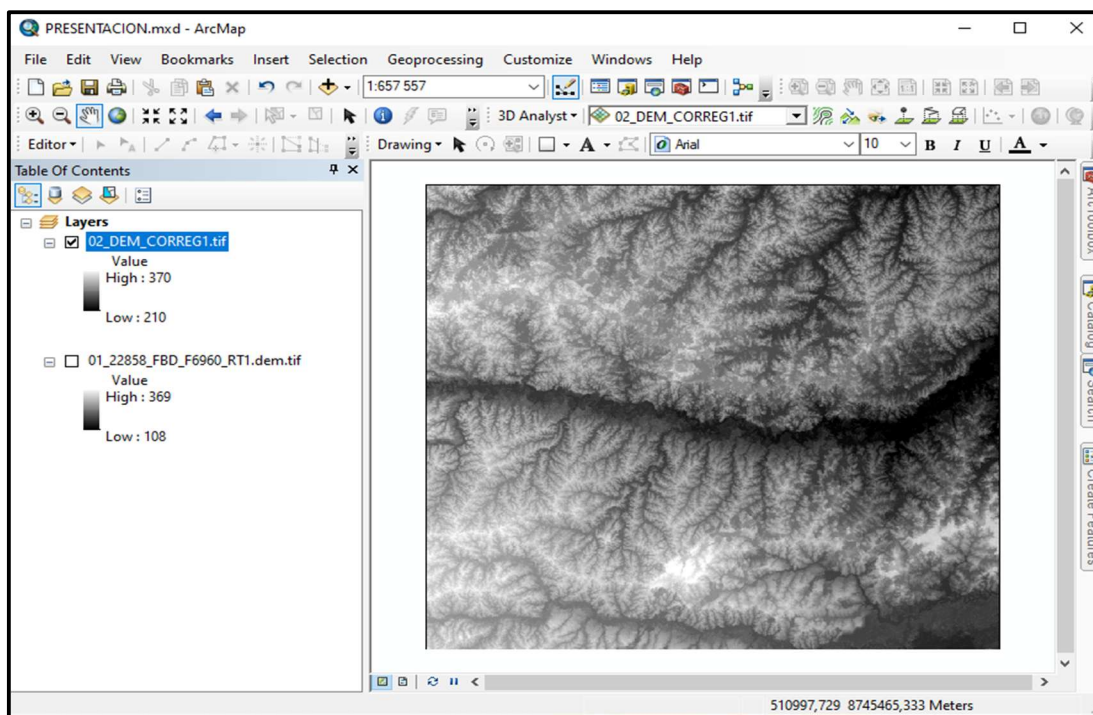
4.1.1.2 Georreferencia el ArcGIS a la zona de estudio

Este paso siempre es el primero en realizar y es variable para todo tipo de trabajo con el ArcGIS, siempre se inicia georreferenciando la zona de estudio deseada para no tener inconvenientes más adelante con el proyecto a trabajar, por lo cual el proyecto de grado está ubicado en la zona del país de **Bolivia - departamento Pando - Cobija** y su proyección satelital es WSG 1984 UTM zona 19s, es variable la zona en otros departamentos del país.

4.1.1.3 Corrección del (DEM)

En esta circunstancia usaremos estos dos pasos de comando Acrtoolbox, Hydrology para llegar al Fill es de suma importancia, ya que se encarga de la corrección del DEM, con frecuencia los sumideros (y picos) representan errores debido a la resolución de los datos o el redondeo de elevaciones al valor entero más cercano, Los sumideros se deben rellenar para garantizar la representación correcta de cuencas y arroyos. Si los sumideros no se rellenan, una red de drenaje derivada puede ser discontinua, ver figura 4.8.

Figura 4.8 Corrección del (DEM)

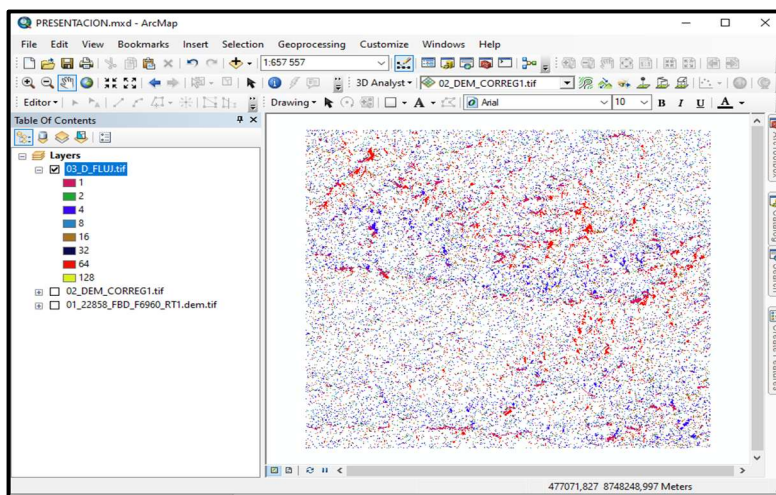


Fuente: software ArcGIS. 10.3

4.1.1.4 Dirección de flujo

Una vez obtenida la corrección del modelo digital de elevación, procederemos al cálculo del flujo de dirección (flow direction), mantendremos con los mismos comandos Acrtoolbox, Hydrology hasta obtener el ráster calculado como se observa en la figura 4.9.

Figura 4.9 Dirección de flujo

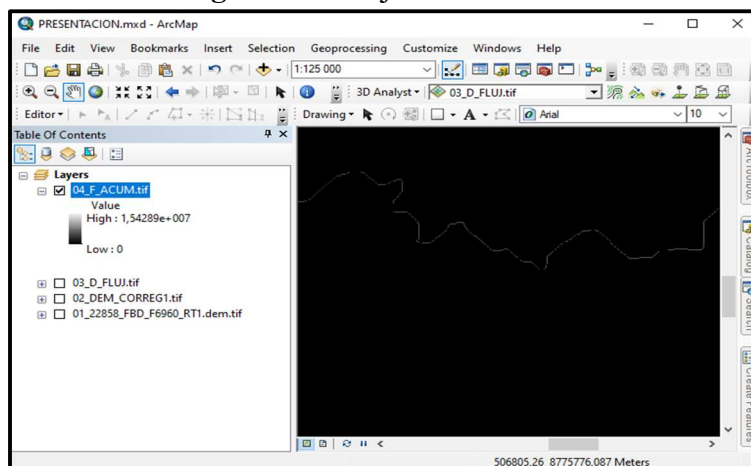


Fuente: software ArcGIS. 10.3

4.1.1.5 Flujo acumulado

Lo cual nos identifica la red hídrica principal y sus tributarios de la subcuenca Bajo Virtudes.

Figura 4.10 flujo acumulado



Fuente: software ArcGIS. 10.3

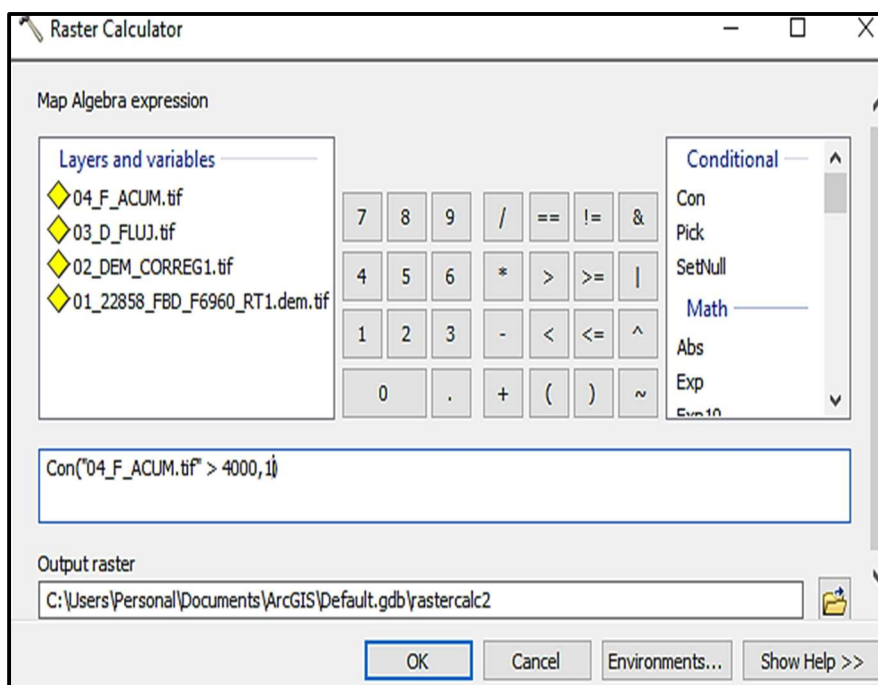
4.1.1.6 Red de drenaje o ríos

Para obtener la red hídrica del modelo digital de elevación (DEM), es decir los ríos y riachuelos que forman parte de una cuenca.

Como se calculó la red hídrica ArcGIS, pues hay un método con el que trabaja el software, los comandos son los siguientes: Spatial Analyst Tools, Map álgebra y Raster calculator se en carga de proporcionar condiciones al raster flujo acumulado y dar un valor numérico de ramificación al que se ajuste correctamente, y asimismo obtener una visualización de la red principal y sus tributarias de la subcuenca Bajo Virtudes.

Para el presente análisis se otorga una condición de ramificación mayor a 4000 lo cual se ajusta correctamente al ráster (ver figura 4.11), se detectó el río principal, el cual es el de mayor longitud, sus ríos tributarios tantos primarios como secundarios, fluentes, afluentes y sus tributarios de la subcuenca con mayor claridad (ver figura 4.12), en otras subcuencas o cuencas este valor de ramificación suele variar dependiendo del criterio de estudio a utilizar.

Figura 4.11 Valor de la Ramificación hídrica

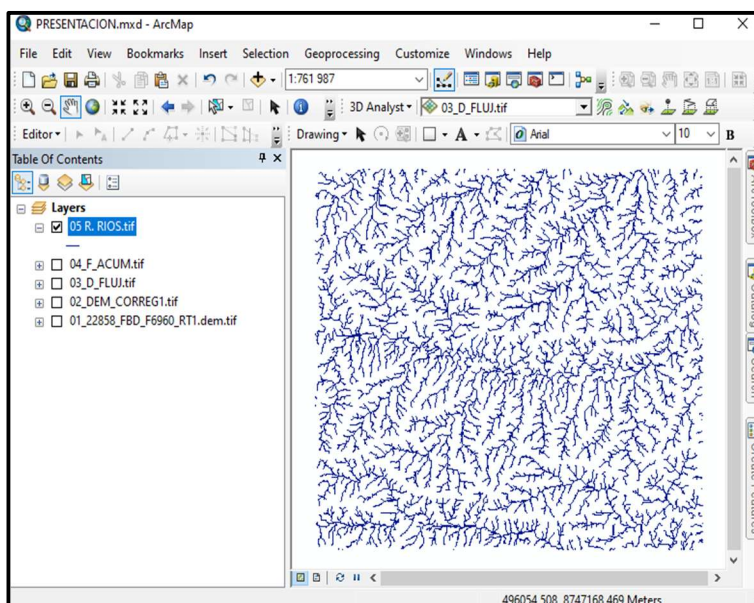


Fuente: software ArcGIS. 10.3

4.1.1.7 Punto de salida

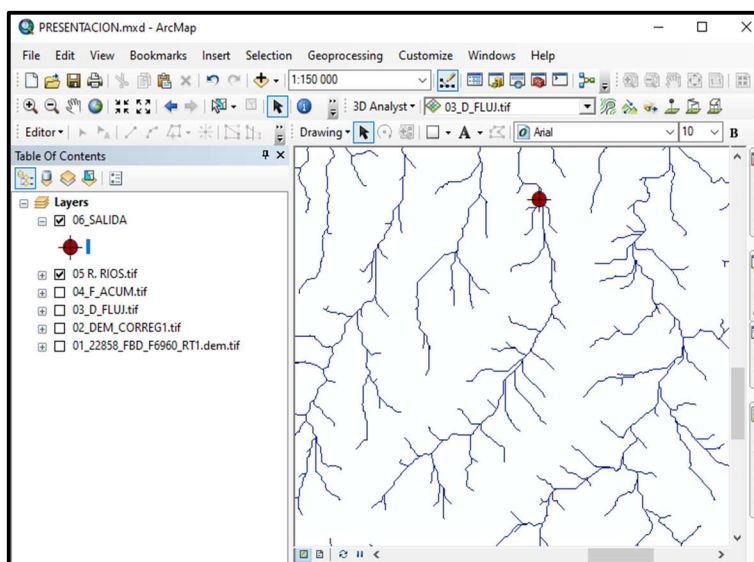
Los puntos de salida sirven para delimitar una cuenca desde su nacimiento hasta el punto deseado a delimitar, lo cual este estudio existe un punto de aforo ya ubicado la zona llamado Ponderosa. para la delimitación y al proyecto de grado designado ver figura 4.13.

Figura 4.12 Red hídrica



Fuente: software ArcGIS. 10.3

Figura 4.13 Punto salida

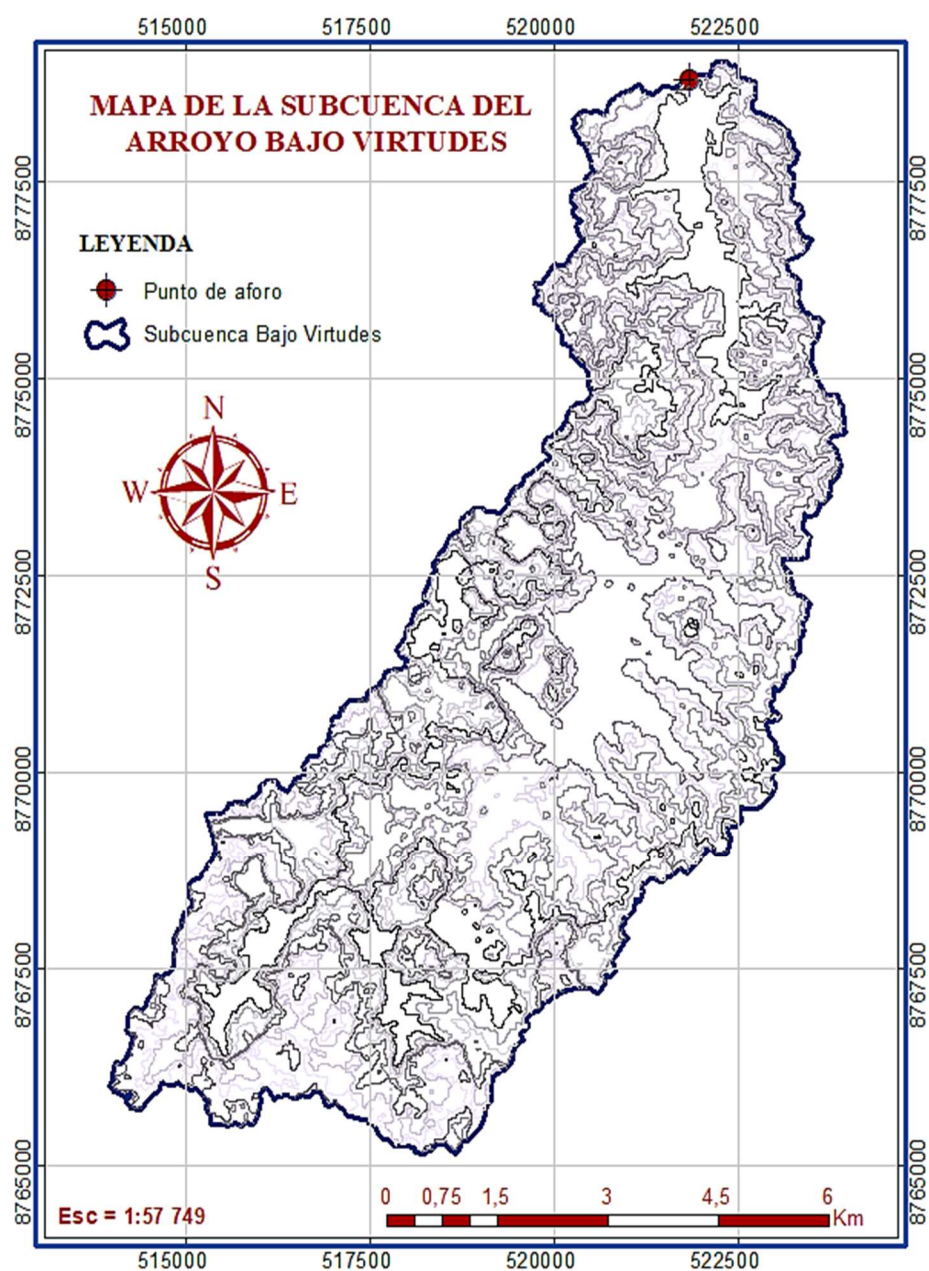


Fuente: software ArcGIS. 10.3

4.1.1.8 Subcuenca bajo virtudes

Siguiendo todo el proceso anteriormente a detalle, el procesamiento del modelo digital de elevación y finalizado. Como resultado obtuvimos la delimitación de la subcuenca coordenadas del punto de aforo ver figura 4.14

Figura 4.14 Mapa de la subcuenca Bajo Virtudes



Fuente: software ArcGIS. 10.3

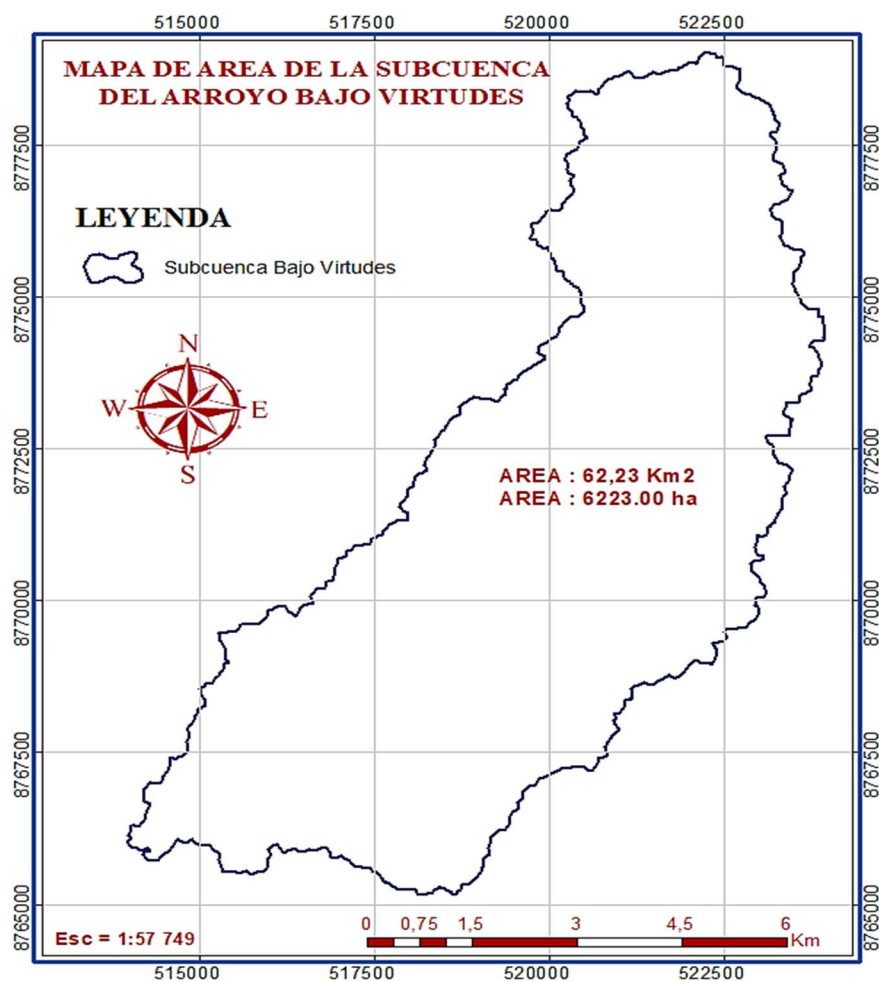
4.1.2 características físicas de la cuenca

4.1.2.1 Área de subcuenca (A)

Está definida como la protección horizontal de toda el área de drenaje de un sistema de escorrentía dirigido directa o indirectamente a un mismo cauce natural, es medido con un planímetro, correlaciones geométricas, en nuestro caso hemos usado el software ArcGIS 10.3.

La subcuenca Bajo Virtudes es de tipo alargada que ocupa un área de **62,23 km²** o **6223,00 Hectáreas**, el área de cuenca tiene gran importancia, pues nos da un criterio de la magnitud del caudal, ya que en condiciones normales los caudales crecen a medida que crece dicha área.

Figura 4.15 Delimitación de la Subcuenca Bajo Virtudes



Fuente: software ArcGIS. 10.3

4.1.2.2 Perímetro de subcuenca (P)

El perímetro de la subcuenca se entiende de acuerdo a la longitud del contorno o divisoria de aguas del área de la cuenca, es la distancia que habría que recorrer si se transitara por todos los filos que envuelven la cuenca, la divisoria de aguas en una línea imaginaria que delimita la cuenca hidrográfica, marca el límite entre esta y las cuencas vecinas, (Londoño Galvez, J, 2001).

El perímetro de la subcuenca Bajo Virtudes es de **48,65** kilómetro, obtenido de la delimitación de la subcuenca.

Figura 4.16 Perímetro de la Subcuenca Bajo Virtudes



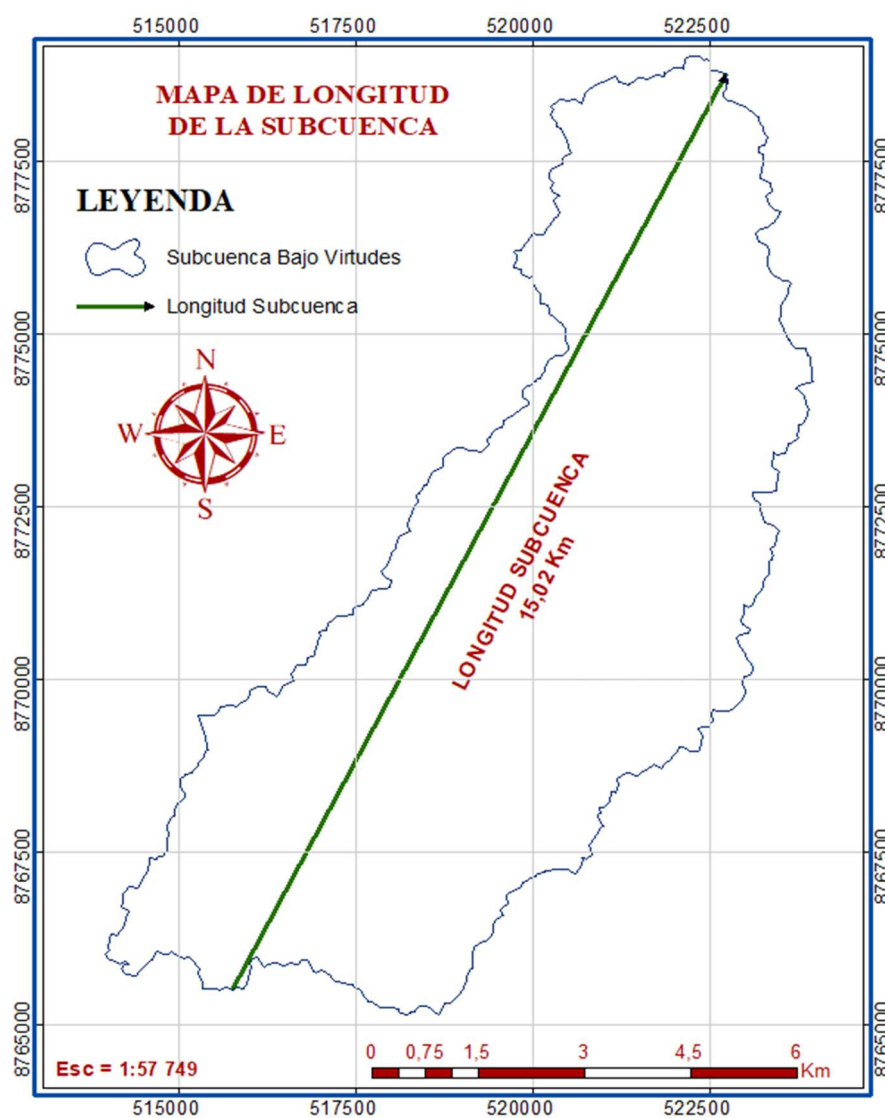
Fuente: software ArcGIS. 10.3

4.1.2.3 Longitud de la subcuenca (P)

Se entiende por longitud de cuenca a la longitud de una línea recta con dirección paralela al cauce principal, dado que por la general en cauce principal no se extiende hasta el límite de la cuenca, es necesario suponer un trazado desde la cabecera del cauce hasta el límite de la cuenca.

La longitud de la subcuenca Bajo Virtudes es de **15,02** kilómetros, se obtuvo del trazo de la línea recta.

Figura 4.17 Longitud de la subcuenca

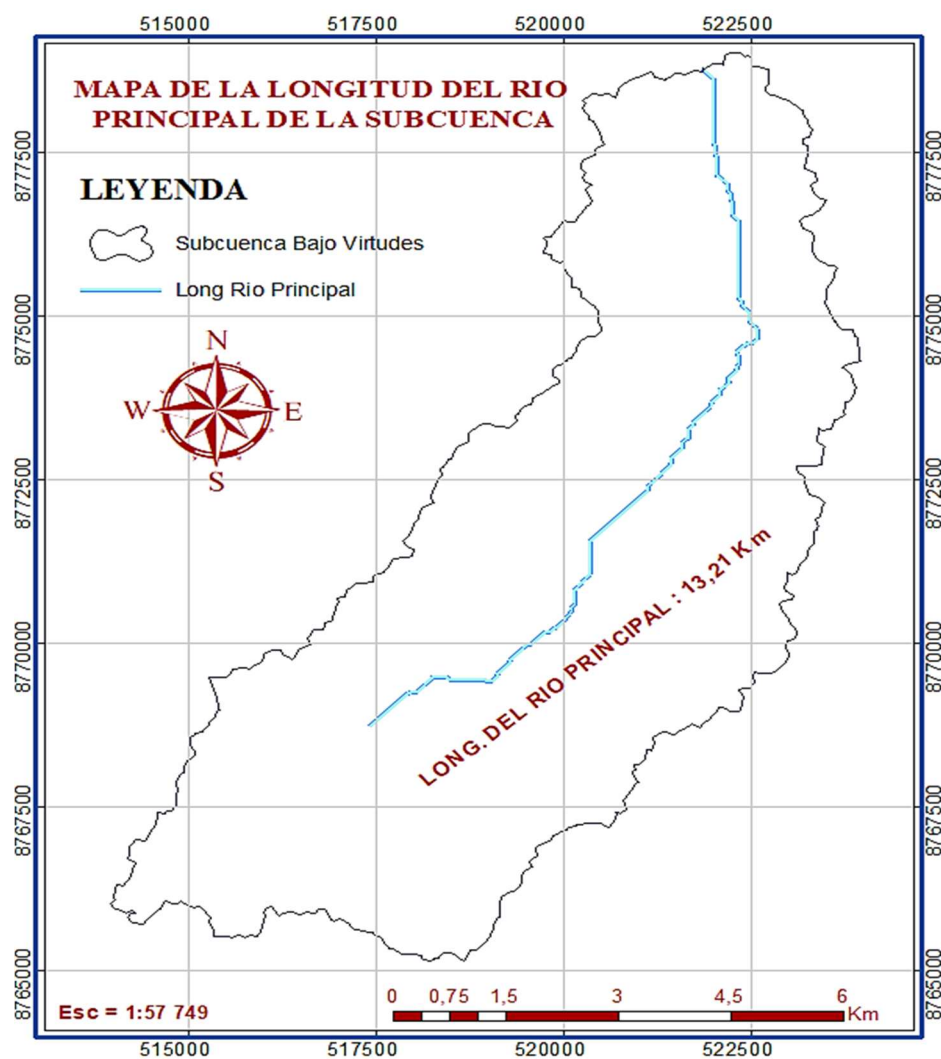


Fuente: software ArcGIS. 10.3

4.1.2.4 Longitud del río principal

La longitud del río más larga de la subcuenca es de **13,21** kilómetros, obtenida desde el punto de aforo Ponderosa hasta la naciente.

Figura 4.18 Longitud del río más largo



Fuente: software ArcGIS. 10.3.

4.1.2.5 Ancho medio de la subcuenca (a)

El ancho de la subcuenca se define como el conocimiento el Área (A) igual a **62,23** km² y conociendo la longitud de la subcuenca (L), que es igual a **15,02** kilómetros se obtendrá en ancho.

$$\text{Ancho medio de la subcuenca} = \frac{62,23}{15,02} = 4,14 \text{ km.}$$

4.1.3 Geomorfología de cuencas

4.1.3.1 Parámetros de forma

La geomorfología de una cuenca queda definida por su forma, relieve y drenaje, para lo cual se han establecido una serie de parámetros, que a través de ecuaciones matemáticas sirven de referencia para la clasificación y comparación de cuencas. Para un mejor estudio de las cuencas se han establecido los siguientes parámetros, (Agustin, A., (2009). Material de apoyo didáctico para la enseñanza y aprendizaje de la asignatura de hidrología).

4.1.3.1.1 Índice de compacidad de Gravelius (Ic)

Para la determinación del índice de compacidad es el cociente que existe, el perímetro de la subcuenca respecto al área de la misma subcuenca si el **Ic = 1** la subcuenca es de forma circular si es mayor será de forma irregular será menos susceptible a inundaciones.

$$Ic = 0.282 * \left(\frac{P}{\sqrt{A}}\right) \quad \textbf{Ecuación 4.- Índice de compacidad de Gravelius (Ic).}$$

Donde:

P = perímetro de la subcuenca.

A = área de la cuenca.

Datos:

P = 48,65 km

A = 62,23 km²

Ic = 1,74 > 1 subcuenca forma oblonga

Como el Índice de compacidad es mayor a uno, la subcuenca del arroyo Bajo Virtudes es de forma irregular alargada, lo cual concuerda dicha descripción con la delimitación de la subcuenca como se ve en la anterior ver figura 4.14 pág. 36.

4.1.3.1.2 Factor de forma (Ff)

Se determina el factor de forma mediante el área de subcuenca en kilómetros cuadrados entre la longitud de la cuenca en kilómetros, que se define como la distancia entre la salida o el punto de foro en este caso la Ponderosa y el punto más alejado cercano a la cabecera del cauce principal de la subcuenca.

Si la forma de la subcuenca Bajo Virtudes es aproximadamente circular, entonces el valor del factor de forma se acercará a 1, mientras las subcuencas alargadas son menores a uno.

$$F_f = \frac{A}{Lc^2}$$

Ecuación 5.- Factor de forma (Ff).

Donde:

F_f = Factor de forma (Horton).

A = área de la cuenca.

Lc^2 = longitud de la cuenca.

Datos:

$$A = 62,23 \text{ km}^2$$

$$Lc^2 = (15,02)^2 \text{ km}$$

Ff = 0,28 < 1 subcuenca forma oblonga.

Como resultado del cálculo obtuvimos un valor numérico del factor de forma de 0,28 lo que significa que es menor a uno y nos presenta una subcuenca alargada u oblonga.

4.1.3.1.3 Coeficiente de forma (Kf)

Relación entre la anchura media B_m de la cuenca y la longitud media (L_{mc}), valor obtenido nos permite categorizar la forma de la subcuenca. Valor bajo ($K_f < 1$) indica una cuenca alargada o oblonga. Valor alto indica una subcuenca más ensanchada o circular.

$$K_f = \frac{B_m}{L}$$

Ecuación 6.- Coeficiente de forma (K_f).

Donde:

B_m = Ancho media de la cuenca

L_{mc} = Longitud media de la cuenca (distancia entre la salida y el punto más alejado de la cuenca).

Datos:

$B_m = 4,14$ km

$L_{mc} = 15,02$ km

$K_f = 0,28$ coeficiente de forma de la subcuenca

4.1.3.1.4 Factor de elongación (Re)

El método es definido por Schumm, se define como relación entre el diámetro de un círculo que posea la misma área de la subcuenca y cuyo diámetro sea igual la longitud de la subcuenca, si el factor de elongación (R_e), varía entre 0,60 y 1.00 la subcuenca es de amplia variedad de climas

Y, geologías y demás está fuertemente correlacionado con el relieve de la subcuenca, de manera que los valores cercanos a la unidad son tipos de regiones con relieve bajo, si los valores donde el factor de elongación (R_e), varía entre 0,60 y 0,80 posee fuertes relieves y pendientes pronunciadas del terreno (Posada García, 1992).

$$R_e = 1.1284 * \frac{\sqrt{A}}{L_c}$$

Ecuación 7.- Factor de elongación (Re)

Donde:

R_e = factor de elongación.

A = área de la subcuenca.

L_c = longitud de la cuenca.

Datos:

A = 62,23 km²

L_c = 15,02 km

$$Re = 0,59$$

Como resultado la subcuenca Bajo Virtudes tiene un factor de elongación de 0,59 lo que indica que está asociada a fuertes relieves y pendientes.

4.1.3.1.5 Relación de circularidad (Rci)

Es la relación de circularidad (Rci), denominado también como radio de circularidad, es el cociente entre el área de la cuenca (A) y la del círculo cuyo perímetro (P) es igual al de la cuenca, (Posada García, 1992).

Es de hacer notar que en la relación de circularidad de Miller varia la relación de circularidad entre 0 y 1 en este caso los valores cercanos a 1 indican morfología ensanchadas mientras la relación de circularidad cercanos a 0, indican que las cuencas son alargadas, unos parámetros (Rci) = 1, la cuenca es circular y si (Rci) = 0.785, la cuenca es cuadrada o alargada.

$$R_{ci} = \frac{4\pi A}{P^2}$$

Ecuación 8.- Relación de circularidad (Rci).

Donde:

R_{ci} = relación de circularidad.

A = área de la cuenca.

P = perímetro de la cuenca.

Datos:

A = 62,23 km²

P = 48,65 km

$$\mathbf{R_{ci} = 0,33}$$

Como resultado del cálculo obtuvimos un valor numérico de la relación de circularidad de (Rci) de 0,33 lo que significa y respetando los parámetros de Miller, se demuestra que la subcuenca Bajo Virtudes es de forma alargada.

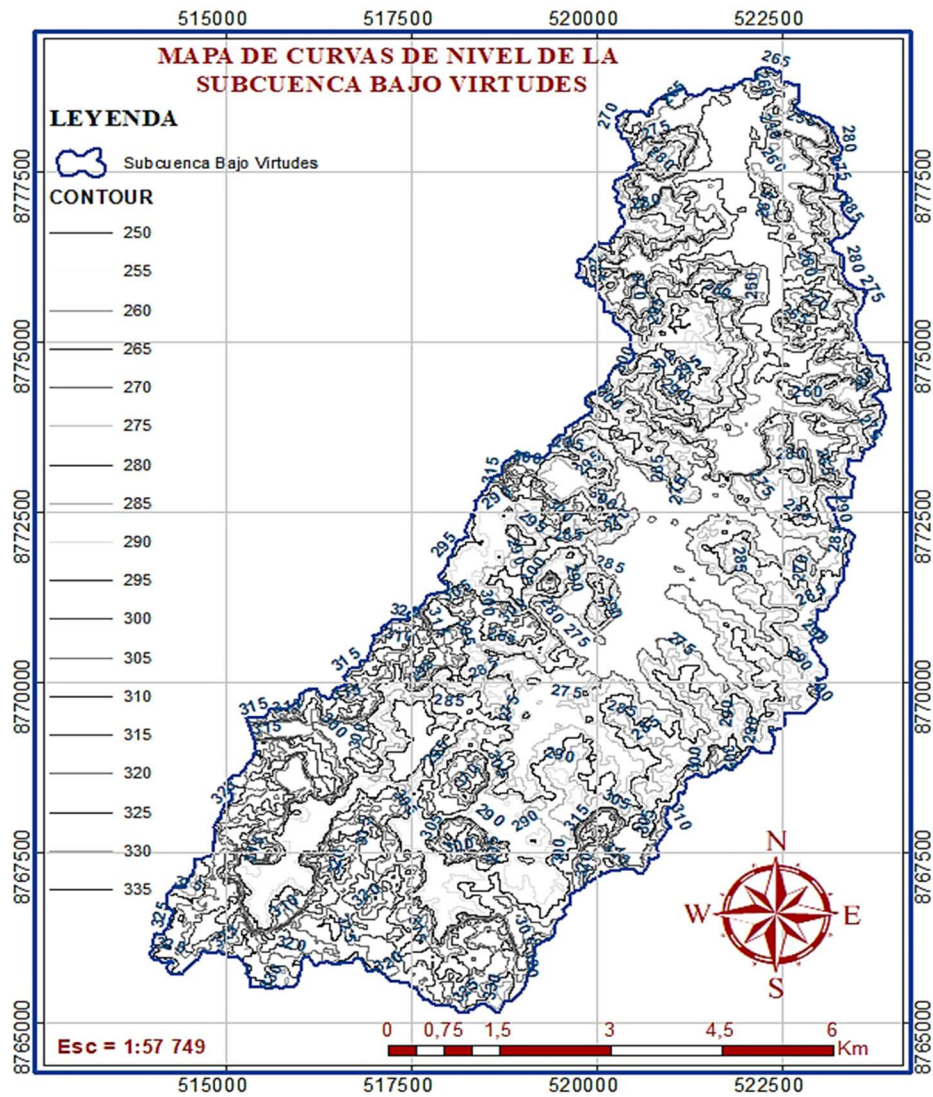
4.1.3.1.6 Rectángulo equivalente o rectángulo

En el caso de dos cuencas con rectángulos equivalentes similares, se admite que poseen un comportamiento hidrológico análogo siempre que posean igual clima y que el tipo y la distribución de sus suelos, de su vegetación y de su red de drenaje sean comparable (Martines et al, 1996).

Es la transformación geométrica de la subcuenca del arroyo Bajo Virtudes a un rectángulo que tiene la misma área y perímetro que la subcuenca, el rectángulo equivalente.

Convirtiendo las curvas de nivel en rectas paralelas, debemos encontrar o calcular el lado mayor y el lado menor, esto nos representa una cuenca en forma irregular convertida en forma rectangular lo cual encontraremos una vez calculado, donde identificaremos si existen más áreas de la subcuenca con respecto a las elevaciones.

Figura 4.19 Mapa de curvas de nivel



Fuente: software ArcGIS. 10.3

$$L = \frac{Ic\sqrt{A}}{1.128} \left(1 + \sqrt{1 - \left(\frac{1.128}{Ic} \right)^2} \right)$$

Ecuación 9.- Del rectángulo equivalente (L mayor)

$$l = \frac{Ic\sqrt{A}}{1.128} \left(1 - \sqrt{1 - \left(\frac{1.128}{Ic} \right)^2} \right)$$

Ecuación 10.- Del rectángulo equivalente (l menor)

Donde:

L = lado mayor.

l = lado menor.

I_c = Índice de compacidad.

A = área de la cuenca.

Datos:

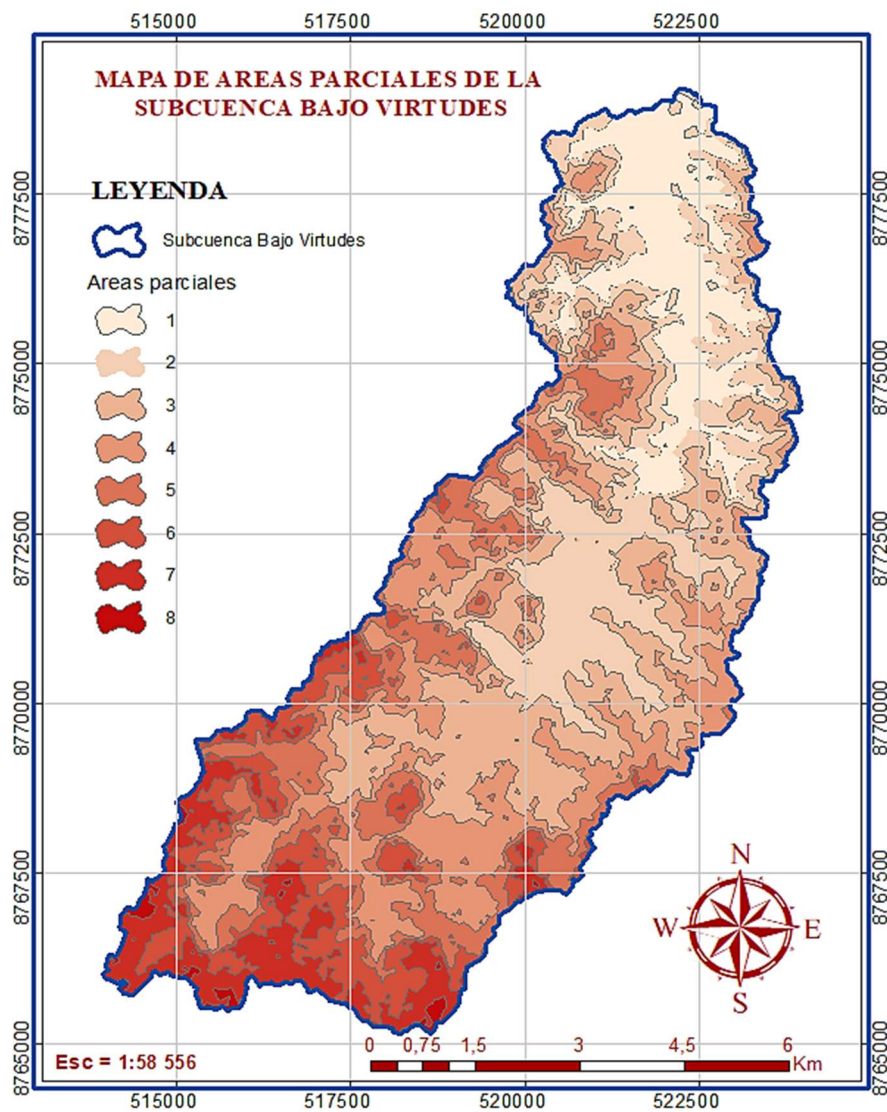
A = 62,23 km²

I_c = 1,74

L = 21,43

l = 2,90

Figura 420 Mapa de áreas parciales



Fuente: software ArcGIS. 10.3.

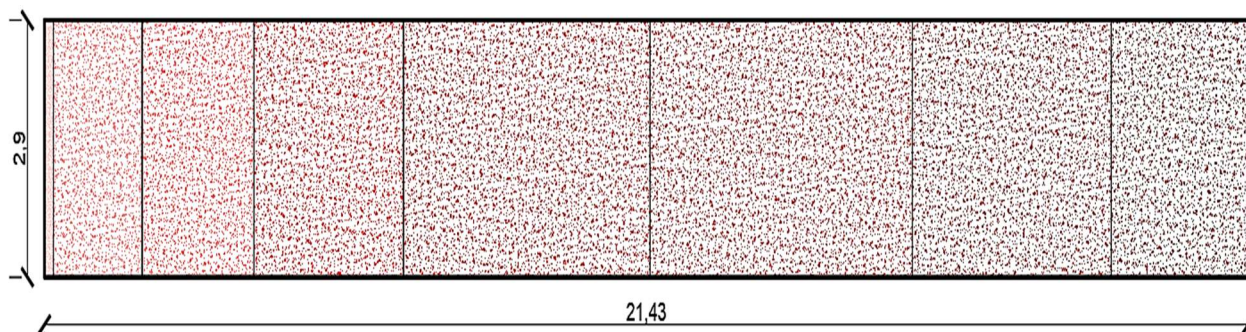
Tabla 4.1 Áreas parciales

	OID	Value	COUNT	AREA	MIN	MAX	RANGE	MEAN	STD	SUM	VARIETY	MAJORITY	MINORITY	MEDIAN
▶	0	1	45639	7131093.75	249	260	11	253.697539	4.130347	1157850	12	249	250	254
	1	2	65701	10265781.25	261	271	10	266.585166	2.560775	1751491	11	266	261	266
	2	3	86711	13548593.75	272	282	10	276.957779	3.167176	2401528	11	272	273	277
	3	4	81492	12733125	283	293	10	287.880896	2.996755	2345999	11	287	292	288
	4	5	49477	7730781.25	294	304	10	298.459385	3.149128	1476687	11	295	304	298
	5	6	37022	5784687.5	305	315	10	310.546081	3.155997	1149703	11	313	307	311
	6	7	29296	4577500	316	326	10	320.00669	2.912927	9374916	11	316	326	320
	7	8	2915	455468.75	327	337	10	328.91012	1.810059	958773	11	327	337	329

Fuente: software ArcGIS. 10.3

Cota (msnm)	Área parcial ai (km2)	Ancho, ci (km) ai/lm
249,00 – 260,00	7,13	2,46
261,00 – 271,00	10,27	3,54
272,00 – 282,00	13,55	4,67
283,00 – 293,00	12,73	4,39
294,00 – 304,00	7,73	2,66
305,00 – 315,00	5,78	1,99
316,00 – 326,00	4,58	1,58
327,00 – 337,00	0,46	0,16
Suma ci= L=		21,43

Figura 4.21 Rectángulo equivalente



Fuente: software ArcGIS. 10.3

4.1.3.2 Geomorfología de cuencas

4.1.3.2.1 Curva hipsométrica

La construcción de la curva hipsométrica de la subcuenca Bajo Virtudes se obtuvo a partir del DEM “Modelo Digital de Elevación” por ende la delimitación, la reclasificación en áreas y las curvas de nivel se utilizaron en un contorno entre curvas de 50 m en 50m, que se puede apreciar en la figura 5.1, y se clasificó en 8 reclasificaciones de pendiente dentro de la subcuenca (ver figura 5.2) para así obtener las áreas parciales como se puede observar en la tabla 5.1, de la subcuenca en el software ArcGIS 10.3.

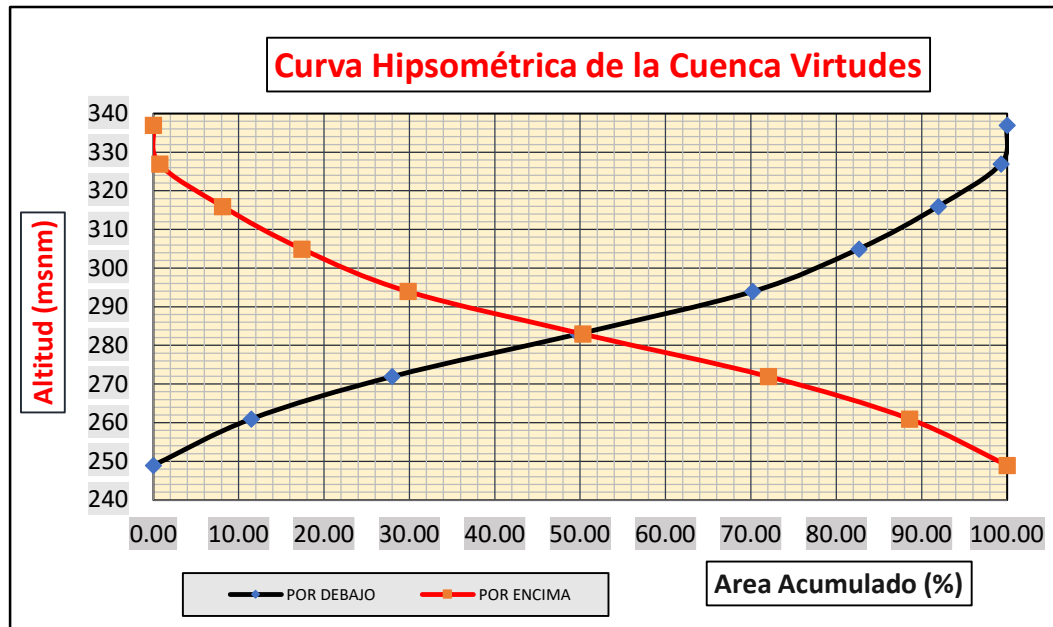
Es la representación gráfica del relieve de la subcuenca; es decir la curva hipsométrica se indica el porcentaje del área o superficie que existe por encima de una cota determinada, representado en coordenadas rectangulares, de las curvas se determinó la relación de área sobre la curva hipsométrica y área bajo la curva hipsométrica. Como se puede observar en la tabla 6.1, una vez realizado todos los procesos se procede a la realización de la curva hipsométrica como se puede observar en la figura 3.24.

Tabla 4.2 Áreas parciales y curvas hipsométricas de la subcuenca

Altitud	Áreas parciales		Áreas acumuladas			
			Por debajo		Por encima	
m.s.n.m.	Km2	(%)	(KM2)	(%)	KM2	(%)
Punto más bajo						
249,00	0,000	0,00	0,000	0,000	62,227	100,000
261,00	7,131	11,46	7,131	11,460	55,096	88,540
272,00	10,266	16,50	17,397	27,957	44,830	72,043
283,00	13,549	21,77	30,945	49,730	31,282	50,270
294,00	12,733	20,46	43,679	70,192	18,548	29,808
305,00	7,731	12,42	51,409	82,616	10,818	17,384
316,00	5,785	9,30	57,194	91,912	5,033	8,088
327,00	4,578	7,36	61,772	99,268	0,455	0,732
337,00	0,455	0,73	62,227	100,000	0,000	0,000
Punto más alto						
TOTAL	62,227	100,00				

Fuente: Elaboración propia

Figura 4.22 curva hipsométrica de la cuenca



Fuente: Elaboración propia

4.1.3.2.1.1 Relación hipsométrica curva hipsométrica

De la curva hipsométrica se puede extraer una importante relación como es la relación hipsométrica (R_h).

$$R_H = \frac{A_S}{A_b}$$

Ecuación 11.- Relación hipsométrica

Donde:

R_H = relación hipsométrica

A_S = área sobre la curva hipsométrica.

A_b = área sobre la curva hipsométrica.

Datos:

$$A_S = 36,86 \text{ km}^2$$

$$A_b = 25,37 \text{ km}^2$$

$$R_h = 0,69$$

Una vez terminada la curva hipsométrica podemos observar que es una subcuenca en etapa de madurez, como se sabe esto por la curva queda en mitad del cuadro, si estuviera abajo sería una subcuenca en etapa de la vejez o si estuviera encima sería una subcuenca en fase de juventud.

4.1.3.2.1.2 Altitud mediana de la subcuenca

Altitud mediana = 283,00 m.s.n.m (intersección de las curvas hipsométrica).

4.1.3.2.1.3 Altitud media ponderada

$$c_i = \frac{(c_i + c_{i-1})}{2}$$

Ecuación 12.- Altitud media ponderada.

$$H = \frac{(\sum a_i c_i)}{A}$$

Ecuación 13.- Altitud media ponderada

Donde:

a_i = área parcial de terreno entre curvas de nivel.

c_i = altitud media de cada área parcial entre dos curvas de nivel.

H = altitud media ponderada.

A = área de la cuenca.

Tabla 4.3 Áreas parciales entre curva

Ai	ci (Altitud media)	ai*ci
7,13	255,0	1818,43
10,27	266,5	2735,83
13,55	277,5	3759,73
12,73	288,5	3673,51
7,73	299,5	2315,37
5,78	310,5	1796,15
4,58	321,5	1471,67
0,46	332,0	151,22
62,23	$\Sigma=aici/a$	17721,90

H = 284,79 m.s.n.m

Fuente: Elaboración propia

4.1.3.2.1.4 Altitud media simple

$$H_{ms} = \frac{(c_M + c_m)}{2}$$

Ecuación 14.- Altitud media simple

Donde:

H_{ms} = altitud media simple.

C_M = cota o altitud más alta de la cuenca.

C_m = cota o altitud más baja de la cuenca.

Datos:

$C_M = 337,00$ m.s.n.m

$C_m = 249,00$ m.s.n.m

$$H_{ms} = 293,00 \text{ m}$$

4.1.3.2.1.5 Relación hipsométrica

Es la representación gráfica del relieve de una cuenca; nos indica el porcentaje de área de la cuenca en Km² que existe por encima de una cota determinada.

De la curva se puede extraer la Relación Hipsométrica RH:

$$R_H = \frac{A_z}{Ab_i}$$

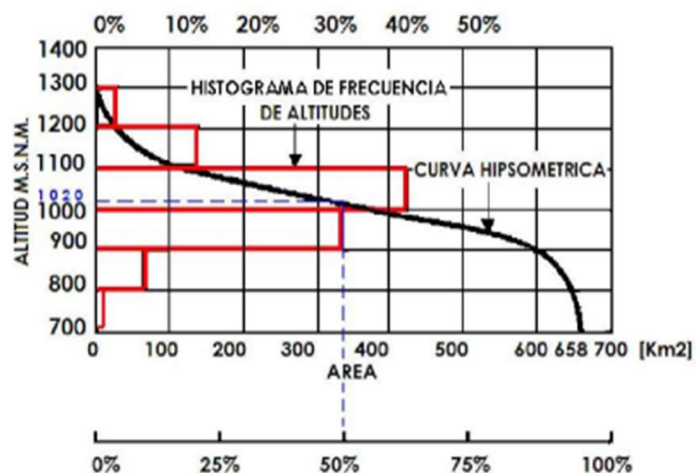
Ecuación 15.-Relación hipsométrica

RH es un indicador del estado de equilibrio dinámico de la cuenca, si RH = 1 es una cuenca en equilibrio morfológico.

4.1.3.2.2 Polígono de frecuencia de áreas parciales

Diagrama de frecuencias altimétricas, es la representación gráfica de la distribución en porcentaje de las superficies ocupadas por diferentes altitudes.

Figura 4.23 Diagrama de frecuencias altimétricas. Fuente: Libro de UMSS



4.1.3.2.3 Indicé de pendiente

Es una ponderación que se establece entre las pendientes y el tramo recorrido por el río. Con este valor se puede establecer el tipo de granulometría que se encuentra en el cauce.

$$Ip = \sum_{i=2}^n \sqrt{\beta_i (a_i - a_{i-1})} * \frac{1}{\sqrt{L}}$$

$$\beta_i = \frac{A_i}{A_T}$$

Ecuación 16.-Índice de pendiente

4.1.3.2.4 Pendiente de la subcuenca Sc

El método Criterio de J.W. Alvord, analiza la pendiente existente entre curvas de nivel trabajando con la faja definidas por las líneas medidas que pasan entre las curvas de nivel, lo cual el valor obtenido de la pendiente de la subcuenca Bajo Virtudes es de 7,70%. ArGcis

$$s_c = \frac{D * L_x}{A}$$

Ecuación 17.- Pendiente de la subcuenca (Sc)

Donde:

S_c = pendiente de la cuenca.

L_x = longitud de curvas.

A = área de la cuenca.

D = distancia entre curvas.

Datos:

$$L_x = 959,93 \text{ km}$$

$$A = 62.23 \text{ km}^2$$

$$D = 5 \text{ m}$$

$$D = 5,00 \text{ m}$$

$$A = 62230000 \text{ m}^2$$

$$L_x = 959533,275 \text{ m}$$

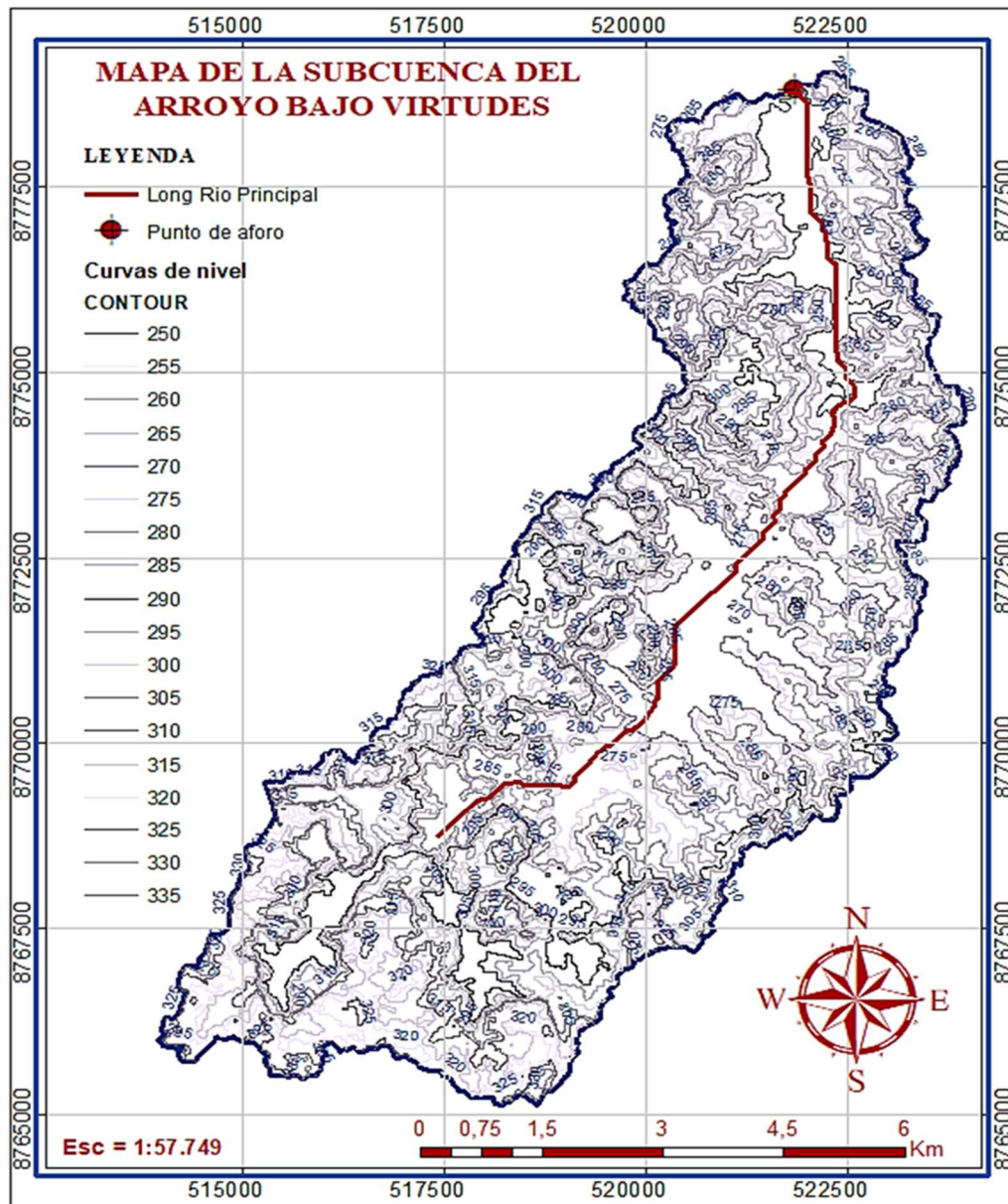
$$S_c = 0,070 \text{ m/m}$$

$$S_c = 7,70 \%$$

4.1.3.2.5 Pendiente media del cauce principal.

La pendiente media del río principal se determinó a partir de la diferencia de elevación entre el punto más alto (285,00 m s.n.m.) y el punto más bajo (255,00 m s.n.m.) del cauce principal, considerando una longitud total de 13,21 km, Como resultado, se obtuvo una pendiente media de **0,0023 m/m**, equivalente al **0,23 %**.

Figura 4.24 Mapa de cotas de nivel de la Subcuenca



Fuente: software ArcGIS. 10.3

Datos:

HMAX = 255.00 m.s.n.m.

HMIN = 285.00 m.s.n.m.

L = 13210.00 m

$$S_m = \left(\frac{H_{max} - H_{min}}{L} \right)$$

S = 0.0023 m/m

% = 0.23

Tabla 4.4 Clasificación de pendiente de la cuenca

PENDIENTE (SI), EN PORCENTAJE	TIPO DE TERRENO:
2	Llano
5	Suave
10	Accidentado Medio
15	Accidentado
25	Fuertemente Accidentado
50	Escarpado
>50	Muy Escarpado

Fuente: (material de apoyo didáctico para la enseñanza y aprendizaje, Agustín Cahuana Andia, 2009).

Esta condición favorece velocidades de escurrimiento relativamente moderadas a bajas, incrementando el tiempo de tránsito del agua desde las partes altas hasta la salida de la cuenca. Asimismo, la disminución de la velocidad del flujo puede facilitar la deposición y acumulación de sedimentos en determinados tramos del cauce, especialmente en sectores donde la pendiente es aún menor. En términos generales, este resultado refleja que el río presenta un régimen de escurrimiento más estable y menos torrencial en comparación con cuencas de pendientes más pronunciadas.

4.1.3.2.6 Clasificación de pendiente

Existen varios métodos y fórmulas para calcular la pendiente y cuenca, a los fines prácticos se ha optado por el que a priori el rango de pendiente se obtuvo mediante la tabla de 6.4 clasificación de pendiente en las cuencas página 27, (material de apoyo didáctico para la enseñanza y aprendizaje, Agustín Cahuana Andia, 2009).

Tabla 4.5 Pendiente del terreno

PENDIENTE (%)	TIPO DE TERRENO
2	Plano
5	Suave
10	Accidentado Medio
15	Accidentado
25	Fuertemente Accidentado
50	Escarpado
>50	Muy Escarpado

Fuente: (material de apoyo didáctico para la enseñanza y aprendizaje, Agustín Cahuana Andia, 2009).

Con el número de ocurrencia fue tomado de la clasificación de pendiente en el software ArcGIS 10.3 otra vez de la imagen DEM (Modelo de Elevación Digital).

Tabla 4.6 Pendiente media de la subcuenca

N°	Rango Pendiente		Promedio	Número de ocurrencia	Promedio x ocurrencia
	Inferior	Superior			
1	0	2	1,0	83982	83982
2	2	5	3,5	19665	68827,5
3	5	10	7,5	65496	491220
4	10	15	12,5	66896	836200
5	15	25	20,0	98656	1973120
6	25	50	37,5	59242	2221575
7	50	100	75,0	4316	323700
				398253	5998624,5

Pendiente media de la Subcuenca:

15,062 %

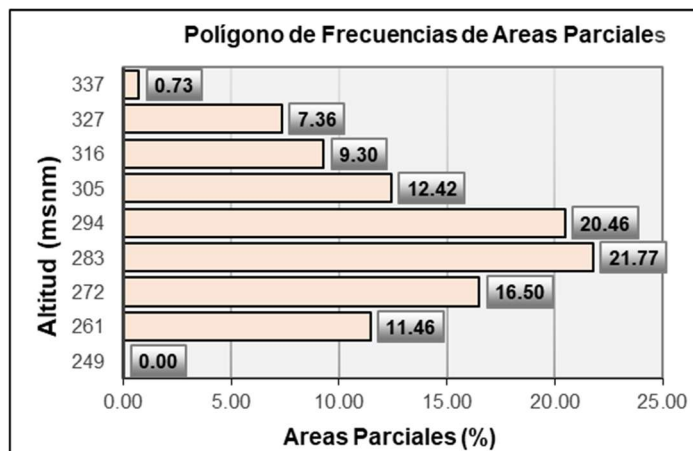
Fuente: Elaboración propia.

Como la pendiente de la subcuenca Bajo Virtudes es de 15.062%, es un pendiente accidentado.

4.1.3.2.7 Diagramas de frecuencia altimétricas

Tabla 4.7 Polígono de frecuencia

Cota (msnm)	A. Parcial (%)
249,00	0,00
261,00	11,46
272,00	16,50
283,00	21,77
294,00	20,46
305,00	12,42
316,00	9,30
327,00	7,36
337,00	0,73



Fuente: Elaboración propia

4.1.3.2.8 Relación de relieve

Es el cociente entre la diferencia de altura entre la salida de la cuenca y el punto más alto en la divisoria de la cuenca (h) y la longitud de la misma (L).

Ecuación 18.- Relación de relieves

$$R_r = h / L$$

$$R_r = 337,00\text{m} - 249\text{m} / 15020\text{m}$$

$$R_r = 0.006$$

4.1.3.2.9 Tiempo de concentración.

Es el tiempo transcurrido entre el final del hietograma de excesos y el final del escurrimiento directo, siendo esta la definición.

A demás se puede definir como el tiempo que demora en viajar una partícula de agua desde el punto más remoto hasta el punto de interés, corresponde al lapso entre el final de la lluvia y el momento en que cesa el escurrimiento superficial.

Existen una serie de fórmulas que permiten el cálculo de este tiempo desarrolladas por diversos autores algunas de las fórmulas que se emplean para el cálculo de este tiempo son las siguientes

4.1.3.2.9.1 Formula de Kirpich

$$T_c = 0.06626 * \left(\frac{L^2}{S}\right)^{0.385}$$

Ecuación 19.- Kirpich

Donde:

T_c = tiempo de concentración.

L = longitud del cauce principal.

S = pendiente del cauce principal.

Datos:

$$L = 13,21 \text{ km}$$

$$S = 0.1095 \text{ m/m}$$

$$T_c = 1,13 \text{ hrs.}$$

4.1.3.2.9.2 Formula de Temez

$$T_c = 0.126 * \left(\frac{L}{S^{0.35}} \right)^{0.75}$$

Ecuación 20.- Temez

Donde:

T_c = tiempo de concentración.

L = longitud del cauce principal.

S = pendiente del cauce principal.

Datos:

$$L = 13,21 \text{ km}$$

$$S = 0.1095 \text{ m/m}$$

$$T_c = 1,56 \text{ hrs.}$$

4.1.3.2.9.3 Formula de Pasini

$$T_c = 0.023 * \left(A * \frac{L}{S} \right)^{0.5}$$

Ecuación 21.- Paisini

Donde:

T_c = tiempo de concentración.

L = longitud del cauce principal.

S = pendiente del cauce principal.

A = área de la cuenca.

Datos:

$L = 13,21 \text{ km}$

$S = 0.1095 \text{ m/m}$

$A = 62,23 \text{ km}^2$

$T_c = 1.99 \text{ hrs.}$

4.1.3.2.9.4 Promedio del tiempo concentración

De los tres métodos utilizados para encontrar el tiempo de concentración de la subcuenca del arroyo Bajo Virtudes se opta por el promedio lo cual es de **1:56 horas**.

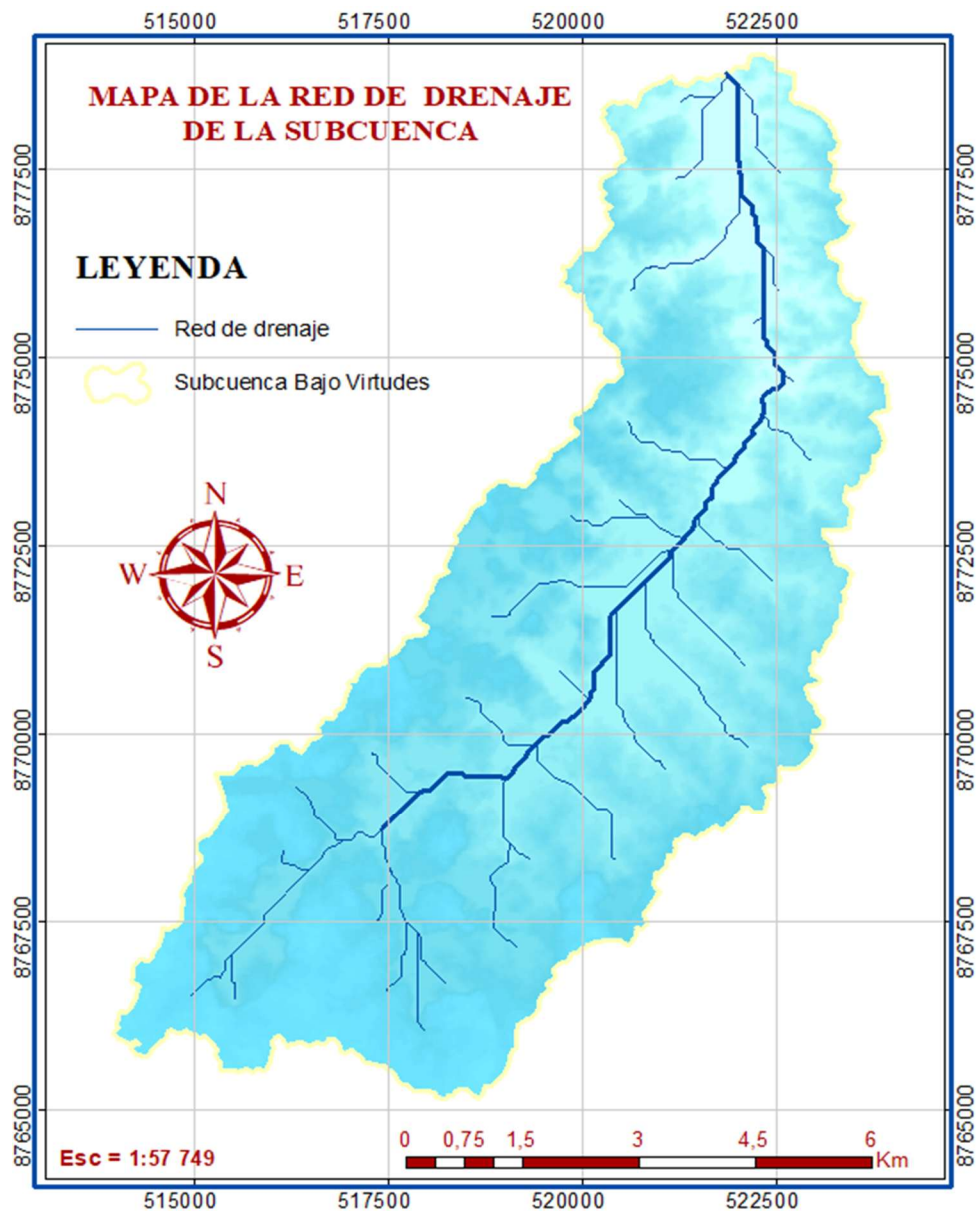
4.1.3.3 Parámetros de drenaje o desagüe de la subcuenca

4.1.3.3.1 Red de drenaje

La red hidrográfica corresponde al drenaje natural, permanente o temporal, por el que fluyen las aguas de los escurrimientos superficiales, hipodérmicos y subterráneos de la cuenca, producto de la precipitación.

Como se puede observar en la figura 4.25, el cálculo de la red de drenaje realizado en el software ArcGIS 10.3, de la subcuenca del arroyo Bajo Virtudes con su red principal y sus tributarios que aporta

Figura 4.25 Mapa de la red de drenaje



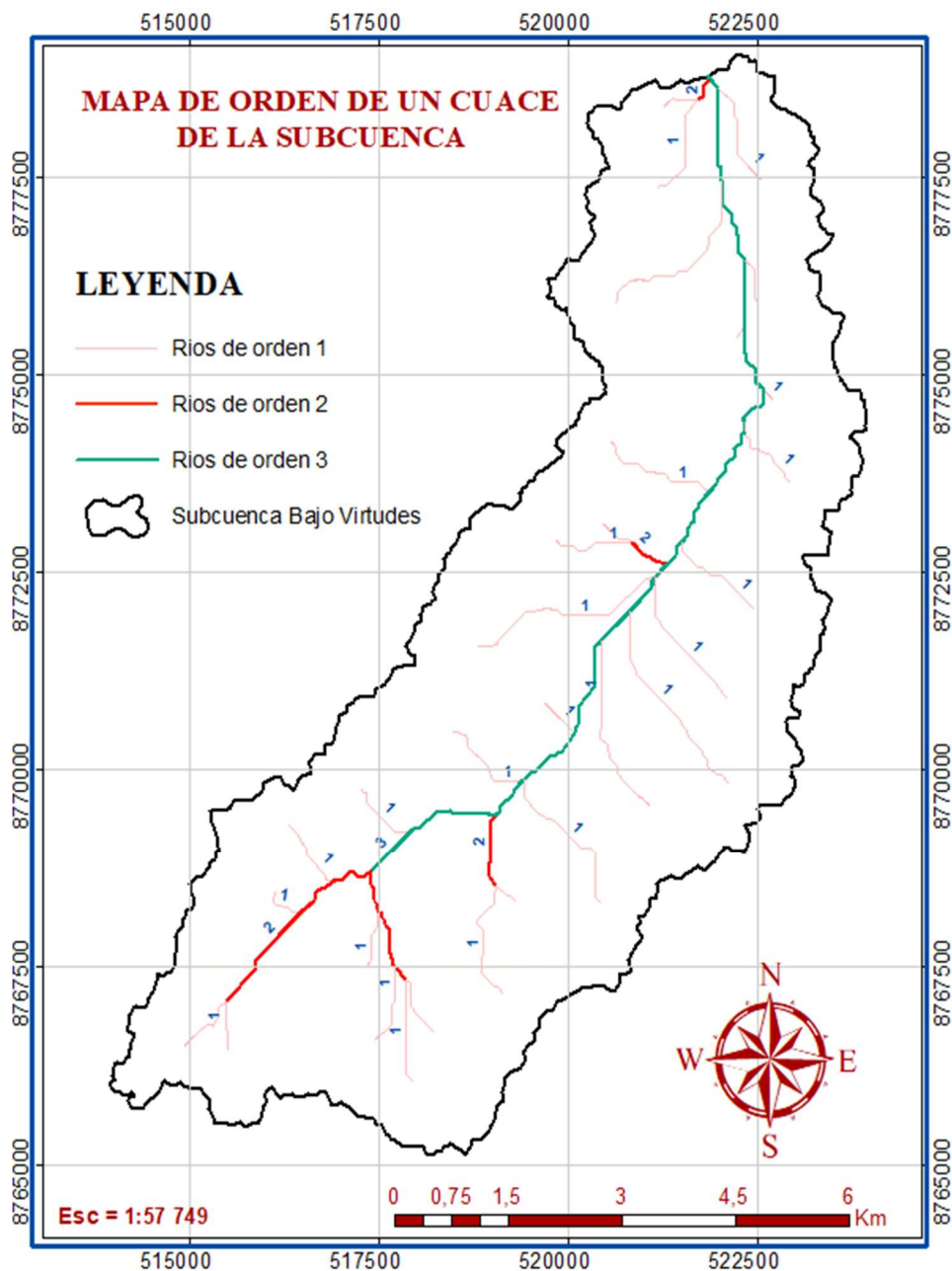
Fuente: software ArcGIS. 10.3.

4.1.3.3.2 Orden de los cauces

El orden de las corrientes permite tener un manejo de la complejidad y desarrollo del sistema de drenaje de la cuenca, se relaciona con el caudal, hay varios sistemas de jerarquización siendo los más utilizados el de Horton y el de strahler (Ordoñez Gálvez, j. 2011).

Para el presente proyecto se determinó el orden de ríos, con el método de Strahler, que explica que todos los cauces serán tributarios aun cuando las nacientes sean ríos principales, el cual define el tamaño de una corriente basándose en la jerarquía de los afluentes, la subcuenca del Virtudes es de primer, segundo y tercer orden.

Figura 4.26 Mapa de orden del número de ordenes



Fuente: software ArcGIS. 10.3.

4.1.3.3.3 Longitud de los cauces

La longitud total de los cauces de agua es la suma de la distancia total recorrida por los diferentes cursos de agua que forman parte de la red hidrográfica de la subcuenca Bajo Virtudes, la distancia recorrida por un curso de agua se mide en kilómetros desde su origen hasta su desembocadura.

Tabla 4.8 Longitud total de la red de drenaje

Orden	Nº Cauces	Longitud (Km)
1 ro	30	37,27
2 do	9	6,14
3 ro	20	13,21
Long. Total.	59	56,62

Fuente: Elaboración propia

4.1.3.3.4 Indicadores de bifurcación

4.1.3.3.4.1 Densidad de drenaje

La densidad de drenaje permite tener un mejor conocimiento de la complejidad y desarrollo del sistema de drenaje en la cuenca. En general, una mayor densidad de escurrimiento indica mayor estructuración de la red fluvial o bien que existe mayor potencial y erosión (Ibáñez Asensio et al. 2011).

La densidad de drenaje es un indicador de la respuesta de la cuenca ante un aguacero y, por tanto, a mayor densidad de drenaje más dominante es el flujo en el cauce frente al flujo en ladera, lo que se traduce en un menor tiempo de respuestas de la cuenca y por tanto, un menor tiempo al pico del hidrograma, Strahler (1952) encontró en Estados Unidos valores de D desde 0,2 km/km² para cuencas con drenaje pobre y hasta 250 km/km² para cuencas muy bien drenadas.

$$D_d = \frac{L_t}{A}$$

Ecuación 22.- Densidad de drenaje (Dd)

Donde:

D_d = densidad de drenaje.

A = área de la cuenca.

L_t = longitud total del cauce aportante.

Datos:

$$A = 62,23 \text{ km}^2$$

$$L_t = 56,62 \text{ km}$$

$$\mathbf{D_d = 0,91}$$

Como la densidad es menor a 1 indica que la subcuenca tiene una densidad de drenaje baja en la que se mantiene picos de crecientes bajos debido al deterioro de la cubierta vegetal.

4.1.3.3.4.2 Constante de estabilidad del río

El valor inverso de la densidad de drenaje representa la superficie de cuenca necesaria para mantener condiciones hidrológicas estables en una unidad de longitud de cauce.

$$C = \frac{1}{D_d}$$

Ecuación 23.- Constante de estabilidad del río (Dh))

Donde:

C = Constante de estabilidad del río.

D_d = densidad de drenaje.

Datos:

$$D_d = 0.91$$

$$\mathbf{C = 1,10}$$

4.1.3.3.4.3 Densidad hidrográfica

El cociente entre el número de segmentos de canal de la cuenca N_t y la superficie A . N_t es la suma de todos los segmentos de canal que forman la red hidrográfica de la cuenca, es decir todo tramo de canal que no sufre aporte alguno de otro canal.

Don

$$D_h = \frac{N_t}{A}$$

Ecuación 24.- Densidad hidrográfica

D_t = Constante de estabilidad del río.

A = densidad de drenaje.

Datos:

$$N_t = 59$$

$$A = 62,23 \text{ km}^2$$

$$\mathbf{Dh = 0,95}$$

4.1.3.3.4.4 Relación de bifurcación

La relación entre el número de cauces i (N_i) y el número de cauces de orden $i+1$ (N_{i+1})

$$R_b = \frac{N_i}{N_{i+1}}$$

Ecuación 25.- Relación de bifurcación

Donde:

N_i = número de cauce

N_{i+1} = número de orden de cauce.

Datos:

$$N_i = 59$$

$$N_{i+1} = 3$$

$$\mathbf{Dh = 20,00}$$

4.1.3.3.4.5 Frecuencia de los cauces

La frecuencia de drenaje de una cuenca define como el cociente entre la longitud total de los cauces perteneciente a su red drenaje y la superficie de la cuenca, Horton (1945).

$$F_c = \frac{\sum N_{CUACES}}{A}$$

Ecuación 26.- Frecuencia de los cauces (Fc)

Donde:

F_c = frecuencia de los cauces

A = área de la cuenca.

N_c = número de corriente o cauces.

Datos:

$$A = 62,23 \text{ km}^2$$

$$L_t = 59,00$$

Fc = 0,95 la subcuenca presenta un escurrimiento de drenaje favorable.

4.1.3.3.4.6 Longitud promedio del flujo superficial

Se define como la distancia media que el agua debería escurrir sobre la subcuenca para llegar a un cauce y estimado por la relación que existe entre el área y cuatro veces la densidad de drenaje.

$$L_o = \frac{A}{4D_d}$$

Ecuación 27.- Longitud promedio del flujo superficial (Lo)

Donde:

L_o = longitud promedia del flujo superficial.

A = área de la cuenca.

D_d = densidad de drenaje.

Datos:

$$A = 62,23 \text{ km}^2$$

$$D_d = 0,91 \text{ km}$$

$$L_o = 17,10$$

4.1.3.4 Tabla de resumen

Tabla 4.9 Tabla de resultados de la subcuenca del arroyo bajo virtudes

Caracterización de la cuenca	Valor
Área (Km ²)	62.23
Perímetro (Km)	48.65
Longitud de la cuenca (Km)	15.02
Longitud del Cauce Principal (Km)	13.21
Ancho medio de la Subcuenca (Km)	4.14
Índice de Gravelius	$I_c = 1,74 > 1$ la subcuenca es de forma oblonga o largada
Índice de forma	$F_f = 0,28 < 1$ la subcuenca es de forma oblonga o largada
Coeficiente de forma (Kf)	$K_f = 0,28 < 1$ la subcuenca es de forma oblonga o largada

Factor de elongación (Re)	$Re = 0,59 < 1$ la subcuenca es de forma oblonga o largada lo que indica que está asociada a fuertes relieves y pendientes.
Relación de circularidad (Rci)	$Rci = 0,33 < 1$ la subcuenca es de forma oblonga o largada
Altitud media de la subcuenca m.s.n.m.	284.79
Pendiente media del cauce principal	$10.95\% = 0.01095 \text{ m/m}$
Pendiente media de la cuenca	$15.06\% = 0.1506 \text{ m/m}$
Curva hipsométrica	Una vez terminada la curva hipsométrica podemos observar que es una subcuenca en etapa madurez, como se sabe esto por la curva queda en mitad del cuadro, si estuviera abajo sería una subcuenca en etapa de la vejes o si estuviera encima sería una subcuenca en fase juventud
Orden de ríos	3
Longitud total del cauce de ríos en la subcuenca (Km)	56.62
Densidad de drenaje de la subcuenca	0.96
Longitud promedio del flujo superficial (km)	17.10
Tiempo de concentración	1 .56 Hrs.

Fuente: Elaboración propia.

4.2 ANÁLISIS DE LAS PRECIPITACIONES DE LA ZONA DE ESTUDIO

4.2.1 Estaciones meteorológicas

Para realizar el proceso del análisis de las precipitaciones, correspondiente a las estaciones meteorológicas e hidrológicas ubicadas en la zona de estudios son: SENAMHI, AASANA de Cobija-Pando, ANA telemetría del vecino país Brasil, en caso sea necesario complementar el proceso del relleno de precipitación de la estación SENAMHI, se optará por estaciones virtuales satelitales de la NASA GEOVANI, en este caso sólo se optó por las estaciones ubicadas en el estado Acre (Brasil) las que están en Eptaciolandia, Brasileia y una estación virtual en Floresta ubicada en la naciente de la subcuenca la cual todas cuentan con su registro histórico completo.

Para no hacer largo el proceso y repetitivo se optó por utilizar los datos de la tesis de investigación realizada en la subcuenca Bahía para optar el título de ingeniero civil, (Luis Fernando Velez Peña y Miguel A. Alvan Lira. - 2019). Modelo hidrológico e hidráulico en la subcuenca de arroyo Bahía para la caracterización de caudal en el cauce principal de la obra de toma para el nuevo proyecto de agua potable en la ciudad de Cobija, por lo cual la información sólo tiene de 20 años de registro de 1999 a 2018 lo cual están al 100% rellenos bajo parámetros como la curva de doble masa la cual es para identificar entre estaciones la homogeneidad entre ellas así realizar el respectivo relleno de precipitación, sin registro la cual sería la de SENAMHI, AASANA de Cobija Pando, para lo cual fueron dejado los datos de registro de suma importancia en la Universidad Amazónica de Pando.

Para futuros proyecto de grado o tesis relacionados sobre la hidrología en la región, para el presente trabajo de tesis de grado se recurrió a la información completa de registro histórico de la anterior investigación de tesis ya nombrada, lo cual son 20 años completos de registro de precipitación, realizando la actualización y relleno de las precipitaciones de 1999 - 2018 a 1999 - 2024 por ende tendremos 24 años de registro histórico completo, para la estación SENAMHI, AASANA de Cobija Pando, posteriormente se calificará las estaciones utilizadas con sus respectivas ubicaciones y coordenadas UTM que son las siguientes:

Tabla 4.10 Ubicación de las estaciones meteorológicas

Estación	Norte (N)	Este (E)	Elevación (Z)
SENAMHI-AASANA	8779609.96	523963.948	234 m.s.n.m
EPITACIOLANDIA	8781765,101	529475.359	215 m.s.n.m
BRASILEIA	8784051.71	527242.907	200 m.s.n.m
FLORESTA	8770196.33	513649.70	261 m.s.n.m

Fuente: AASANA SENAMHI, BRASILEIA y EPITACIOLANDIA

Figura 4.27 Ubicación satelital de las estaciones meteorológicas



Fuente: Google Earth Pro

Seguidamente optamos por los datos sin relleno de precipitaciones anuales tal como están en las oficinas o página web de SENAMHI, AASANA, con datos de precipitación de las estaciones meteorológica ya nombradas anterior mente y ubicadas en la región o zona de estudio, se determinará la homogeneidad, bajo el parámetro de curva de doble masa.

Tabla 4.11 Registros históricos de precipitación (mm) Anual

ESTACIÓN: SENAMHI AASANA **LATITUD:** -11,0414186 **X** 523963,948
DPTO.: Pando -cobija **LONGITUD:** -68,7802598 **Y** 8779609,964
PROVINCIA: Nicolas Suarez **ALTITUD:** 234 **ALTURA** 234

Nº	Años	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Anual
1	1999	326,00	231,40	235,10	166,40	215,90	131,50	59,00	0,00	86,40	63,90	207,70	306,80	2030,10
2	2000	172,80	116,90	216,50	83,40	53,20	46,80	76,70	46,60	74,80	234,20	356,30	165,80	1644,00
3	2001	324,30	210,40	501,80	156,10	113,60	68,40	10,40	27,80	112,50	254,00	337,40	237,60	2354,30
4	2002	273,80	316,40	194,80	299,30	87,90	6,33	20,74	12,80	24,80	200,80	109,60	272,60	1817,30
5	2003	397,70	416,20	195,00	135,50	78,50	4,50	0,80	30,90	102,60	227,70	186,10	142,30	1917,80
6	2004	253,30	354,10	173,70	62,60	50,00	84,20	43,80	47,20	51,20	226,40	241,60	222,70	1810,80
7	2005	215,80	319,10	102,10	105,80	19,00	1,20	1,30	20,20	85,20	176,50	295,40	248,60	1590,20
8	2006	331,90	459,20	133,10	153,20	37,20	60,30	27,60	40,40	56,70	156,70	161,10	264,50	1881,90
9	2007	143,70	243,50	217,90	158,00	113,30	3,00	11,60	1,10	99,30	193,00	222,80	235,80	1643,00
10	2008	279,10	385,10	156,80	221,20	10,90	4,10	24,00	84,62	54,90	256,30	164,10	348,90	1990,51
11	2009	151,50	407,70	579,80	403,20	346,30	63,70	51,50	64,40	93,50	155,90	389,80	771,70	3479,00
12	2010	643,60	519,80	346,70	234,20	82,80	0,60	22,30	36,80	58,80	170,60	219,80	228,50	2564,50
13	2011	235,60	215,80	395,50	207,00	110,40	4,70	0,40	8,20	77,00	107,32	112,10	236,20	2564,50
14	2012	273,50	270,30	226,19	177,94	82,40	46,40	20,50	17,20	157,24	239,70	202,10	219,00	1710,22
15	2013	198,07	219,40	214,41	59,90	85,50	107,00	34,80	62,00	52,60	139,80	162,10	99,10	1942,60
16	2014	442,07	357,40	381,68	150,52	137,88	61,48	11,74	76,36	137,93	223,19	259,82	214,56	1434,68
17	2015	441,07	360,26	258,35	257,72	248,13	71,29	40,55	93,03	36,96	118,92	145,62	175,00	2454,91
18	2016	341,94	410,90	248,25	96,96	60,80	8,34	42,87	110,13	184,11	258,09	196,40	103,72	2246,91
19	2017	196,40	290,70	303,60	183,40	32,90	0,30	10,30	73,00	39,10	146,60	171,30	310,30	1757,90
20	2018	271,00	338,63	190,81	162,36	75,32	21,72	63,98	84,39	102,96	170,66	268,37	223,68	1688,10
21	2019	399,30	280,70	186,20	205,10	95,70	5,40	50,30	25,00	70,90	106,70	296,50	280,40	2002,20
22	2020	339,10	203,50	111,30	198,29	20,33	5,64	74,59	13,26	25,86	126,58	91,87	262,57	1472,89
23	2021	257,50	342,80	290,1	156,64	73,20	12,10	0,00	20,18	19,60	131,40	240,46	439,62	1992,37
24	2022	177,50	348,10	376,40	23,00	39,70	38,60	25,20	76,70	124,50	222,30	84,60	227,90	1764,50
25	2023	227,10	209,10	283,90	122,80	170,70	10,30	0,10	12,20	78,50	34,00	56,20	188,40	1393,30
26	2024	152,70	152,40	76,20	54,30	58,60	0,00	0,00	12,60	1,50	156,30	257,90	234,30	1156,80
Media		287,18	306,91	254,04	162,88	96,16	33,38	27,89	42,20	77,29	172,98	209,53	256,18	1926,60
Máxima		643,60	519,80	519,80	403,20	346,30	131,50	76,70	110,13	184,11	258,09	389,80	771,70	3479,00
Mínima		143,70	116,90	76,20	23,00	10,90	0,00	0,00	0,00	1,50	34,00	56,20	99,10	1156,80

Fuente: Elaboración propia.

ESTACION: TRMM.4742 (9005742) **LATITUD:** -10,999616 **X** 527242,907
ESTADO: Acre (Brasil) **LONGITUD:** -68,750624 **Y** 8784051,713
MUNICIPIO: Brasileia **ALTITUD:** 200 **ALTURA** 200

N°	Años	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Anual
1	1999	330,89	251,37	238,39	139,29	194,75	105,26	34,67	6,52	94,54	89,29	212,68	321,25	2018,90
2	2000	201,03	170,01	151,56	74,61	93,18	62,97	109,62	61,41	19,86	209,73	303,63	127,77	1585,38
3	2001	361,05	297,81	320,85	164,25	52,77	19,23	33,51	3,57	132,63	232,83	307,23	387,54	2313,27
4	2002	283,05	352,80	227,79	144,63	108,33	28,20	80,22	28,35	48,45	178,89	157,17	293,13	1931,01
5	2003	441,36	374,07	188,55	126,63	62,52	28,35	4,83	69,39	165,63	148,62	175,86	156,27	1942,08
6	2004	397,20	329,52	245,43	92,31	10,38	74,34	62,61	128,10	85,20	225,60	320,22	238,11	2209,02
7	2005	287,31	239,97	153,57	135,18	60,00	5,13	29,22	5,31	30,54	242,34	317,10	201,84	1707,51
8	2006	243,54	403,02	213,51	190,23	42,42	23,67	21,90	95,52	89,70	183,00	351,60	321,06	2179,17
9	2007	210,96	316,56	204,60	111,00	229,44	3,18	82,47	1,86	70,68	168,51	389,01	232,05	2020,32
10	2008	287,04	245,58	287,16	235,56	45,15	17,85	20,85	35,61	71,46	158,76	196,98	257,19	1859,19
11	2009	259,17	236,22	326,85	503,64	268,62	59,37	30,60	76,47	59,64	158,04	252,75	241,77	2473,14
12	2010	462,48	360,15	200,61	261,03	78,72	2,34	11,91	34,26	89,10	149,79	265,95	186,06	2102,40
13	2011	233,22	211,44	302,46	270,15	152,19	47,34	1,20	12,72	103,50	156,51	252,96	231,06	1974,75
14	2012	369,30	412,20	210,60	190,92	74,94	27,78	18,78	32,55	86,04	256,11	293,88	217,44	2190,54
15	2013	334,14	220,38	359,76	83,49	80,40	79,17	30,30	84,30	32,70	151,86	292,89	183,09	1932,48
16	2014	353,43	372,03	312,42	184,50	133,59	28,17	3,21	63,78	92,73	101,67	359,13	232,89	2237,55
17	2015	496,20	329,58	274,44	244,47	186,93	20,22	106,98	102,00	57,57	126,15	285,39	223,08	2453,01
18	2016	293,43	336,06	241,68	141,48	26,97	11,61	9,36	95,79	127,80	220,70	279,70	116,50	1901,08
19	2017	107,10	158,60	206,40	271,90	40,90	10,00	0,00	66,20	84,40	88,30	116,00	233,90	1383,70
20	2018	213,32	134,45	99,84	114,13	82,25	56,47	67,24	182,38	70,52	133,50	199,04	71,77	1424,91
21	2019	224,10	170,60	206,00	96,20	32,90	8,30	8,60	51,80	73,80	129,40	294,30	251,50	1547,50
22	2020	192,30	141,20	130,00	209,90	37,10	9,10	100,90	3,30	59,00	163,10	104,30	302,60	1452,80
23	2021	236,10	319,10	204,10	179,00	32,80	21,10	0,20	34,70	115,70	178,20	115,60	350,90	1787,50
24	2022	143,40	283,00	210,40	27,20	44,60	34,00	35,60	73,60	99,40	190,00	118,20	52,40	1311,80
25	2023	226,20	183,40	286,00	47,80	124,80	11,00	0,00	37,00	37,00	71,60	78,60	339,00	1442,40
26	2024	191,43	224,80	87,64	81,00	69,66	12,16	6,58	9,14	11,76	109,99	217,16	88,77	1110,09
Media		283,80	272,07	226,56	166,17	91,01	31,01	35,05	53,68	77,28	162,40	240,67	225,34	1865,06
Máxima		496,20	412,20	359,76	503,64	268,62	105,26	109,62	182,38	165,63	256,11	389,01	387,54	2473,14
Mínima		107,10	134,45	87,64	27,20	10,38	2,34	0,00	1,86	11,76	71,60	78,60	52,40	1110,09

Fuente: Elaboración propia.

ESTACION: TRMM.4743 (9005743) - **LATITUD:** -11,020188 **X** 529475,359
ESTADO: Acre (Brasil) - **LONGITUD:** -68,73017 **Y** 8781765,101
MUNICIPIO: Epitaciolandia (Brasil) - **ALTITUD:** 215 **ALTURA** 215

Nº	Años	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Anual
1	1999	323,81	242,89	239,89	145,34	197,37	113,18	41,70	4,90	93,54	79,25	211,91	313,58	2007,34
2	2000	196,50	153,60	213,90	79,65	56,94	51,45	90,87	55,62	19,86	209,73	303,63	127,77	1559,52
3	2001	423,03	295,59	316,65	158,22	36,15	26,28	20,40	6,30	99,03	232,11	321,36	334,98	2270,10
4	2002	221,79	287,52	217,59	196,83	86,16	17,04	66,09	72,60	41,91	185,37	163,02	203,01	1758,93
5	2003	365,25	391,29	237,60	135,90	121,14	15,66	0,00	55,02	140,91	164,13	182,04	173,94	1982,88
6	2004	388,56	344,73	224,73	138,06	19,98	54,66	77,88	72,06	66,90	220,65	280,59	179,13	2067,93
7	2005	260,88	272,73	227,22	159,84	44,37	2,82	20,70	9,48	48,12	148,77	334,53	182,55	1712,01
8	2006	331,14	433,86	203,04	168,81	34,44	22,47	25,59	73,95	99,90	209,10	329,58	325,71	2257,59
9	2007	201,69	310,86	222,48	194,22	236,19	0,00	95,28	0,00	93,54	155,85	406,05	338,67	2254,83
10	2008	259,35	218,52	256,23	169,26	37,05	3,99	20,46	16,20	75,42	179,79	202,47	245,76	1684,50
11	2009	386,85	248,19	394,14	534,27	262,50	68,43	28,68	130,65	49,44	151,95	222,57	253,56	2731,23
12	2010	436,41	318,84	215,79	243,24	126,72	9,81	14,10	19,53	70,41	103,71	236,94	170,07	1965,57
13	2011	211,56	177,48	263,79	301,05	177,15	21,66	3,39	12,48	79,38	148,50	236,88	194,37	1827,69
14	2012	441,81	479,34	149,79	232,14	86,58	36,81	17,82	56,55	102,84	290,43	361,59	238,68	2494,38
15	2013	308,94	231,33	429,54	82,17	104,61	109,50	17,64	50,16	42,09	161,31	330,12	153,66	2021,07
16	2014	340,95	345,69	340,44	193,65	135,54	24,06	4,02	63,03	75,90	121,86	286,53	201,75	2133,42
17	2015	404,22	386,22	253,53	270,24	176,88	4,77	113,67	53,94	26,88	232,32	246,12	150,48	2319,27
18	2016	305,16	272,94	246,12	179,55	44,25	14,76	6,15	110,88	150,10	380,10	237,90	132,20	2080,11
19	2017	128,60	295,00	275,80	216,70	23,60	33,60	0,00	53,80	60,10	109,70	141,00	258,65	1596,55
20	2018	258,79	142,80	134,30	98,34	50,99	41,23	46,18	197,26	86,70	124,91	273,41	112,69	1567,60
21	2019	236,00	237,10	204,70	113,60	34,50	15,30	78,60	70,70	150,90	90,50	238,90	268,30	1739,10
22	2020	243,60	136,00	121,50	113,40	30,20	3,90	98,50	4,10	86,90	141,90	100,10	217,60	1297,70
23	2021	152,50	199,40	259,70	134,40	43,60	26,10	4,70	46,50	152,90	215,20	113,80	372,70	1721,50
24	2022	131,73	190,24	176,39	37,45	40,04	40,78	19,65	58,41	83,28	138,98	93,52	172,19	1182,66
25	2023	192,01	192,66	299,12	95,49	103,17	15,02	1,39	10,43	64,05	59,00	99,73	199,77	1331,84
26	2024	190,40	220,80	95,40	120,20	69	15,60	4,50	6,20	8,70	80,60	225,5	90,80	1127,70
Media		282,37	270,22	239,21	173,54	91,50	30,34	35,31	50,41	79,60	166,76	237,68	215,87	1872,81
Máxima		441,81	479,34	429,54	534,27	262,50	113,18	113,67	197,26	152,90	380,10	406,05	372,70	2731,23
Mínima		128,60	136,00	95,40	37,45	19,98	0,00	0,00	0,00	8,70	59,00	93,52	90,80	1127,70

Fuente: Elaboración propia.

ESTACIÓN: Nasa satélite Geovani (FLORESTA) **LATITUD:** -11,125 **X** 513649.70
DPTO.: Pando - cobija **LONGITUD:** -68,875 **Y** 8770196.33
PROVINCIA: Nicolas Suarez **ALTITUD:** 261 **ALTURA** 261

Nº	Años	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Anual
1	1999	363,60	240,76	218,04	114,83	217,84	83,79	35,10	1,17	131,62	103,96	256,95	321,38	2089,04
2	2000	250,33	136,25	205,85	81,00	39,00	50,02	70,82	87,02	51,21	257,47	313,73	148,33	1691,03
3	2001	339,21	194,56	385,41	139,52	73,89	44,09	27,88	19,92	74,03	219,54	315,42	246,04	2079,51
4	2002	287,48	321,62	199,63	243,59	121,95	8,49	13,75	25,36	33,36	156,26	136,67	284,02	1832,18
5	2003	376,39	360,77	213,71	111,35	49,33	29,73	0,95	31,77	122,99	181,16	119,52	155,34	1753,01
6	2004	220,84	367,83	169,44	106,14	34,43	44,76	41,88	42,84	49,73	242,38	255,60	180,96	1756,83
7	2005	201,06	304,08	112,93	116,47	41,91	12,11	6,77	15,83	77,60	193,38	226,57	250,64	1559,35
8	2006	293,27	369,74	265,86	174,66	28,44	46,33	23,84	43,10	58,50	121,24	201,69	243,63	1870,30
9	2007	189,67	240,17	217,43	157,69	115,45	15,37	46,20	3,31	94,04	168,45	284,58	188,35	1720,71
10	2008	296,27	321,83	209,84	129,74	40,29	15,49	18,64	59,56	38,71	260,30	166,05	256,40	1813,12
11	2009	183,61	324,65	411,96	459,06	195,06	63,28	56,69	70,99	109,01	140,01	290,00	499,98	2804,30
12	2010	550,56	310,14	314,85	181,03	58,38	0,00	26,51	47,33	69,63	99,01	293,35	184,23	2135,02
13	2011	261,83	193,38	299,55	222,61	90,06	18,12	4,74	25,48	87,26	194,52	167,94	205,43	1770,92
14	2012	270,24	278,37	188,81	228,65	70,36	49,41	28,50	53,12	168,44	171,89	233,03	213,73	1954,55
15	2013	221,01	248,63	303,92	68,95	79,89	86,87	30,12	54,37	67,80	198,76	168,87	144,61	1673,80
16	2014	402,96	374,15	310,50	155,57	120,43	24,21	7,29	54,28	134,58	143,22	267,29	232,35	2226,83
17	2015	372,77	315,90	208,55	209,89	170,94	28,50	38,05	144,45	37,26	110,16	194,55	256,82	2087,84
18	2016	290,64	352,48	195,11	147,56	34,51	7,57	6,57	80,68	128,16	196,49	180,97	213,22	1833,96
19	2017	234,05	274,32	311,56	195,48	39,51	8,86	8,28	65,04	83,42	143,33	206,72	354,57	1925,14
20	2018	280,59	296,88	196,75	167,94	57,76	33,97	33,84	100,29	76,76	180,94	262,49	153,76	1841,97
21	2019	231,98	203,60	197,26	158,87	67,82	15,07	40,83	15,60	74,60	111,99	225,66	285,62	1628,90
22	2020	213,65	204,01	134,10	139,48	45,68	34,28	42,32	17,85	43,61	98,53	57,60	267,46	1298,57
23	2021	198,68	189,92	205,81	123,76	46,06	41,54	16,40	7,49	39,72	141,70	140,33	390,42	1541,83
24	2022	131,73	190,24	176,39	37,45	40,04	40,78	19,65	58,41	83,28	138,98	93,73	172,19	1182,66
25	2023	192,01	192,66	299,12	95,49	103,17	15,02	1,39	10,43	64,05	59,00	99,73	199,77	1331,84
26	2024	191,43	224,80	87,64	81,00	69,66	12,16	6,68	9,14	11,76	109,99	217,16	88,77	1110,09
Media		270,99	270,45	232,31	155,68	78,92	31,92	25,14	44,03	77,35	159,33	206,77	236,08	1788,97
Máxima		550,56	374,15	411,96	459,06	217,84	86,87	70,82	144,45	168,44	260,30	315,42	499,98	2804,30
Mínima		131,73	136,25	87,64	37,45	28,44	0,00	0,95	1,17	11,76	59,00	57,60	88,77	1110,09

Fuente: Elaboración propia.

4.2.2 Análisis de consistencia

Tal como lo señala UNESCO-ROSTLAC (1982) y UNESCO (2006), el primer paso que se debe realizar al efectuar alguna evaluación espacial de cualquier precipitación es verificar que el periodo de la estadística pluviométrica que se va a analizar es consistente, o sea que la estación haya sido observada durante dicho periodo, de la misma forma, con el mismo criterio y que su instalación no haya sufrido variaciones de ningún tipo, para esta verificación se recomienda el método de las curvas de doble acumuladas o de doble acumulación o el método de **doble masa**.

En la presente tesis de grado se utilizó el método de curva de doble masa para el análisis de la estación meteorológica de SENAMHI, AASANA, que se encuentra ubicada en el Aeropuerto de la ciudad de Cobija, a continuación, se detalla el análisis utilizando la metodología de la curva doble masa por la estación más cercana a la cuenca.

Una vez obtenido los datos de precipitación de la estación meteorológica de 24 años anual se procede hacer la curva de doble masa para considerar si son homogéneas para el proceso de relleno de precipitaciones de la estación meteorológica SENAMHI, AASANA de Cobija Pando, como puede observar en la tabla 4.12 y las figuras 4.28 a 4.29.

4.2.2.1 Análisis de consistencia (Hydrognomon)

Hydrognomon es un software para la gestión y análisis de datos hidrológicos, la parte principal del análisis de datos hidrológicos consiste en aplicaciones de procesamiento de series de tiempo, tales como la agregación y regularización de intervalos de tiempo, interpolación, análisis de regresión y llenado de valores faltantes, pruebas de consistencia, filtrado de datos, visualización gráfica y tabular de series de tiempo.

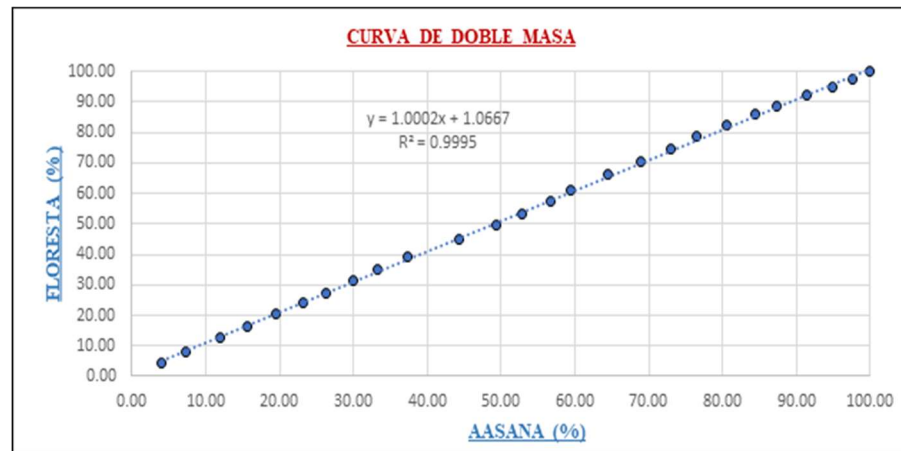
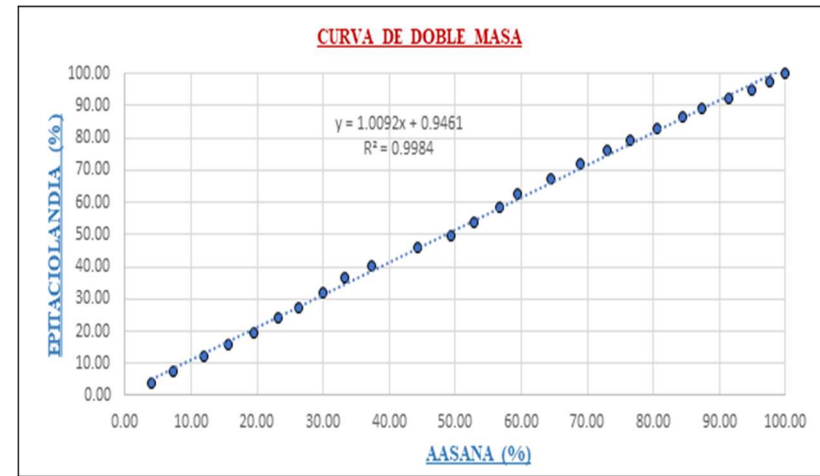
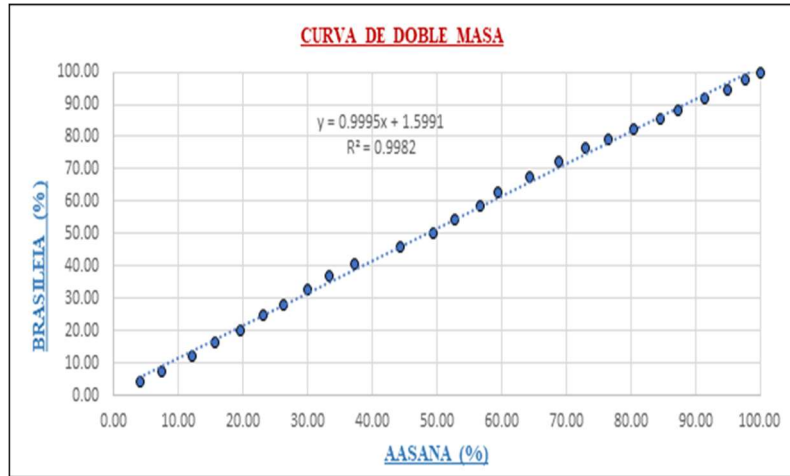
Se realizó el respectivo análisis entre nuestro cálculo y el software Hydrognomon, para la obtención de las curvas de doble masa como se pueden observar en la tabla 4.12 y se comprobó los resultados dando el visto bueno que son iguales a nuestro cálculo en Excel, determinando así que las curvas de doble masa son correctas y homogéneas.

Tabla 4.12 Análisis de curvas de doble masa para las estaciones

Nº	AÑOS	AASANA			BRASILEIA			EPITACIOLANDIA			FLORESTA		
		ESTACION 1	ACUMALADO	%	ESTACION 2	ACUMALADO	%	ESTACION 3	ACUMALADO	%	ESTACION 3	ACUMALADO	%
1	1999	2030,10	2030,10	4,05	2018,90	2018,90	4,16	2007,34	2007,34	4,12	2089,04	2089,04	4,49
2	2000	1644,00	3674,10	7,33	1585,38	3604,28	7,43	1559,52	3566,86	7,33	1691,03	3780,07	8,13
3	2001	2354,30	6028,40	12,03	2313,27	5917,55	12,20	2270,10	5836,96	11,99	2079,51	5859,58	12,60
4	2002	1819,87	7848,27	15,67	1931,01	7848,56	16,19	1758,93	7595,89	15,60	1832,18	7691,76	16,54
5	2003	1917,80	9766,07	19,50	1942,08	9790,64	20,19	1982,88	9578,77	19,67	1753,01	9444,77	20,31
6	2004	1810,80	11576,87	23,11	2209,02	11999,66	24,75	2067,93	11646,70	23,92	1756,83	11201,60	24,08
7	2005	1590,20	13167,07	26,29	1707,51	13707,17	28,27	1712,01	13358,71	27,43	1559,35	12760,95	27,44
8	2006	1881,90	15048,97	30,04	2179,17	15886,34	32,76	2257,59	15616,30	32,07	1870,30	14631,25	31,46
9	2007	1643,00	16691,97	33,32	2020,32	17906,66	36,93	2254,83	17871,13	36,70	1720,71	16351,96	35,16
10	2008	1990,51	18682,48	37,30	1859,19	19765,85	40,76	1684,50	19555,63	40,16	1813,12	18165,08	39,05
11	2009	3479,00	22161,48	44,24	2473,14	22238,99	45,86	2731,23	22286,86	45,77	2804,30	20969,38	45,08
12	2010	2564,50	24725,98	49,36	2102,40	24341,39	50,20	1965,57	24252,43	49,81	2135,02	23104,40	49,67
13	2011	1710,22	26436,20	52,78	1974,75	26316,14	54,27	1827,69	26080,12	53,56	1770,92	24875,32	53,48
14	2012	1942,60	28378,80	56,65	2190,54	28506,68	58,79	2494,38	28574,50	58,68	1954,55	26829,87	57,68
15	2013	1434,68	29813,48	59,52	1932,48	30439,16	62,77	2021,07	30595,57	62,83	1673,80	28503,67	61,28
16	2014	2454,91	32268,39	64,42	2237,55	32676,71	67,39	2133,42	32728,99	67,21	2226,83	30730,50	66,07
17	2015	2246,91	34515,30	68,90	2453,01	35129,72	72,45	2319,27	35048,26	71,98	2087,84	32818,34	70,56
18	2016	2062,51	36577,81	73,02	1901,08	37030,80	76,37	2080,11	37128,37	76,25	1833,96	34652,30	74,50
19	2017	1757,90	38335,71	76,53	1383,70	38414,50	79,22	1596,55	38724,92	79,53	1925,14	36577,44	78,64
20	2018	1973,88	40309,56	80,47	1424,91	39839,41	82,16	1567,60	40292,52	82,65	1841,97	38419,41	82,60
21	2019	2002,20	42311,79	84,47	1547,50	41386,91	85,35	1739,10	42031,62	86,32	1628,90	40048,31	86,10
22	2020	1472,89	43784,68	87,41	1452,80	42839,71	88,34	1297,70	43329,32	88,98	1298,57	41346,88	88,89
23	2021	1992,37	45777,05	91,39	1787,50	44627,21	92,03	1721,50	45050,82	92,52	1541,83	42888,71	92,21
24	2022	1764,50	47541,55	94,91	1311,80	45939,01	94,74	1182,66	46233,48	94,95	1182,66	44071,37	94,75
25	2023	1393,30	48934,85	97,69	1442,40	47381,41	97,71	1331,84	47565,32	97,68	1331,84	45403,21	97,61
26	2024	1156,80	50091,65	100,00	1110,09	48491,50	100,00	1127,70	48693,02	100,00	1110,09	46513,30	100,00

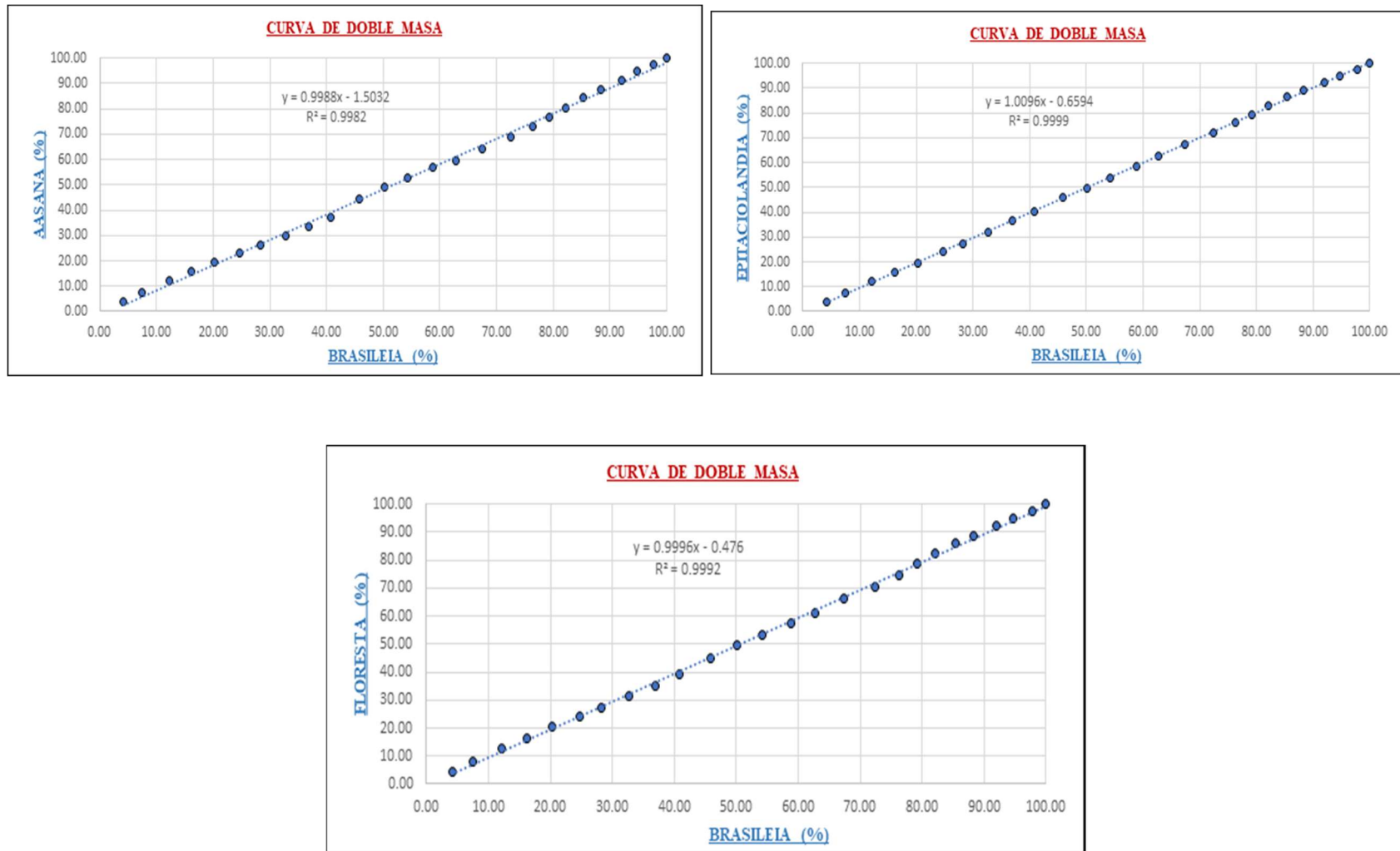
Fuente: Elaboración propia.

Figura 4.28 Curva de doble masa (AASANA SENAMHI)



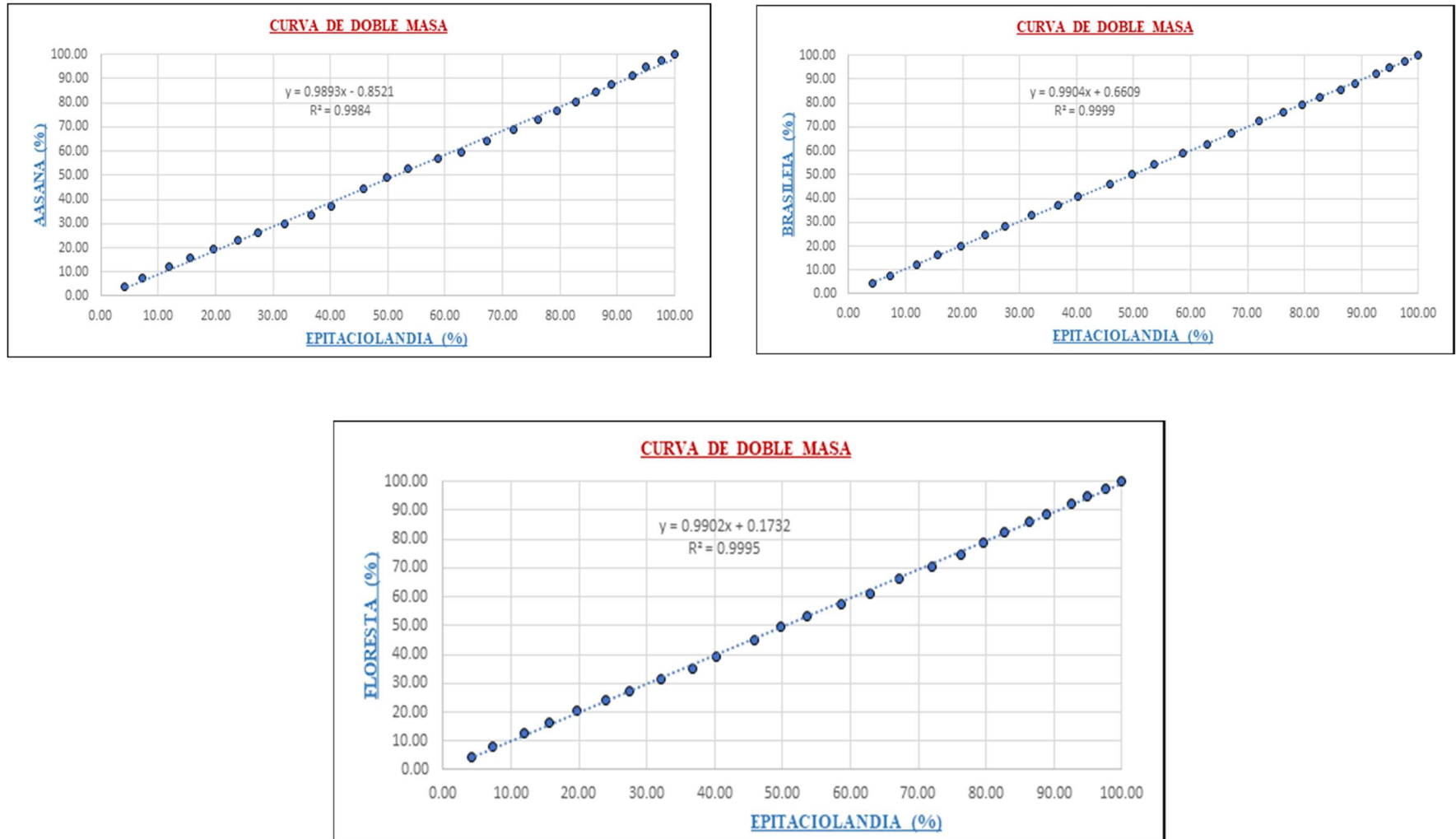
Fuente: Elaboración propia.

Figura 4.29 Curva de doble masa (BRASILEIA)



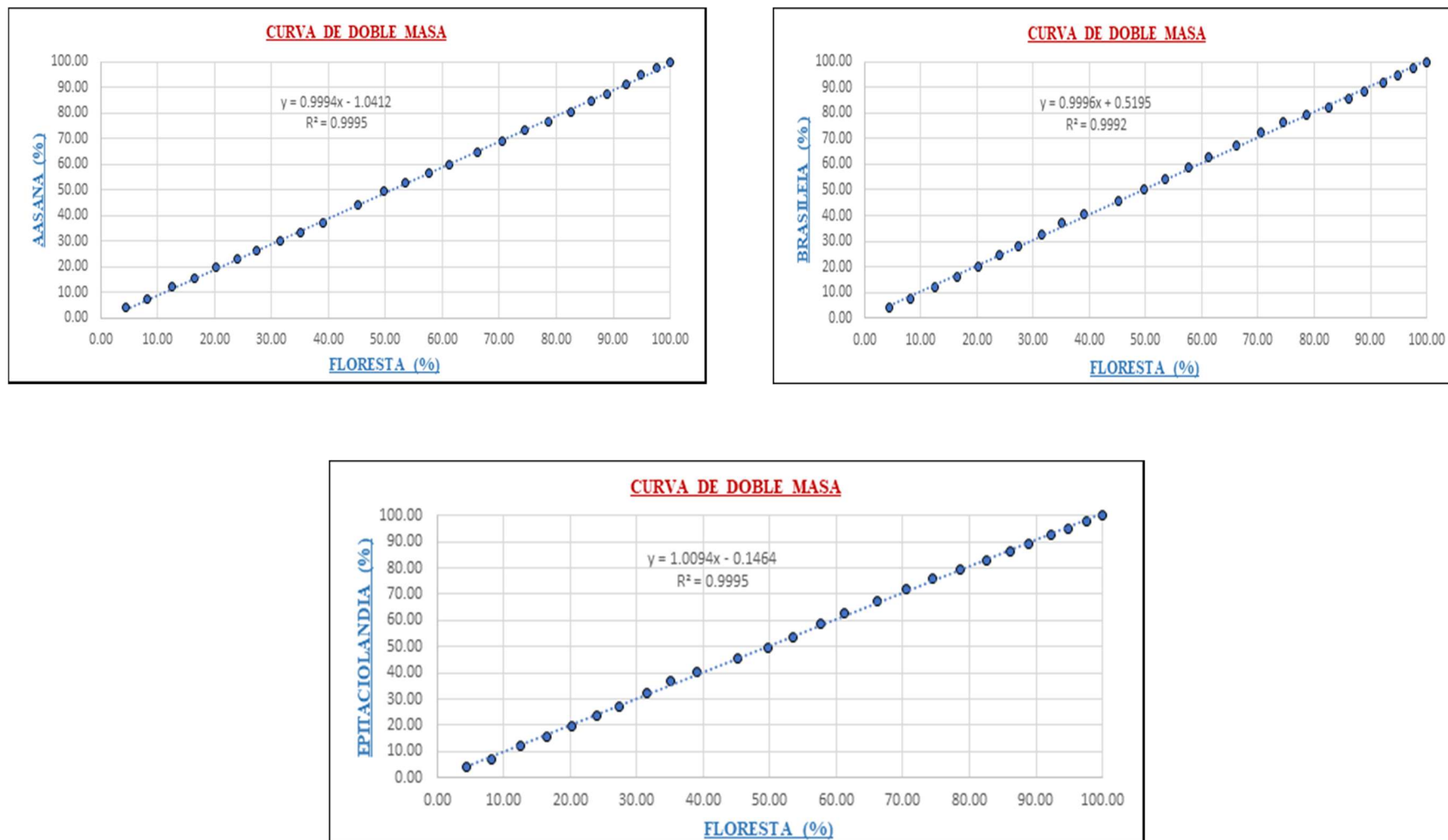
Fuente: Elaboración propia.

Figura 4.30 Curva de doble masa (EPITACIOLANDIA)



Fuente: Elaboración propia.

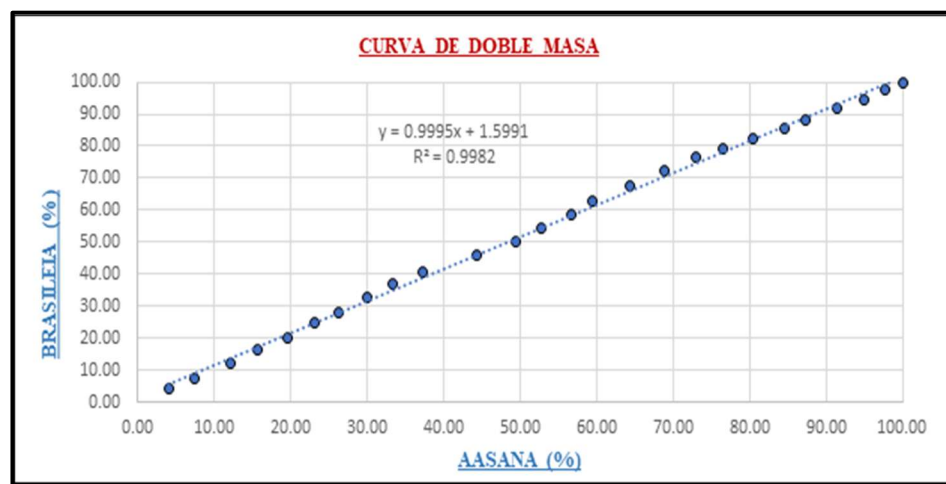
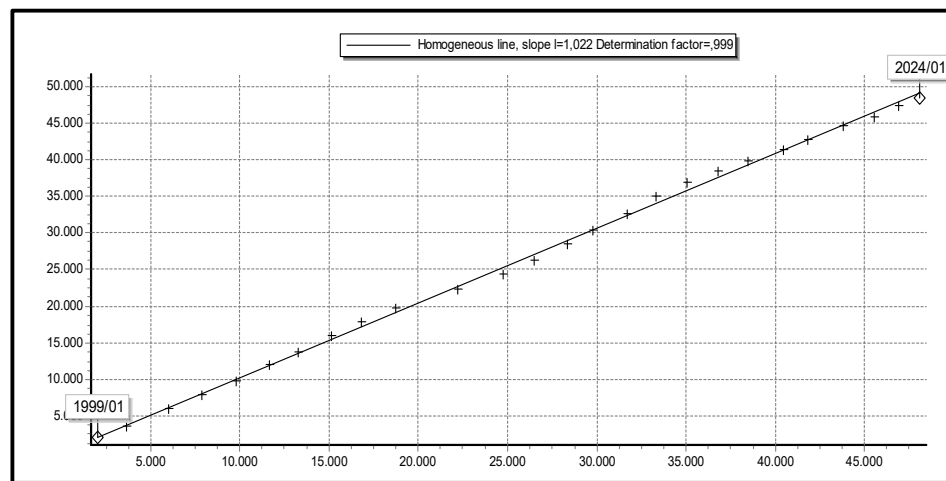
Figura 4.31 Curva de doble masa (FLORESTA)



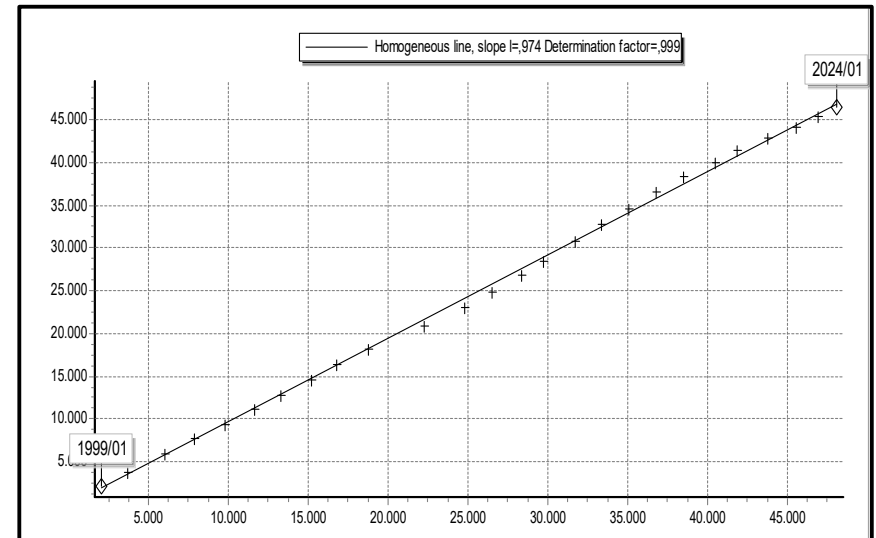
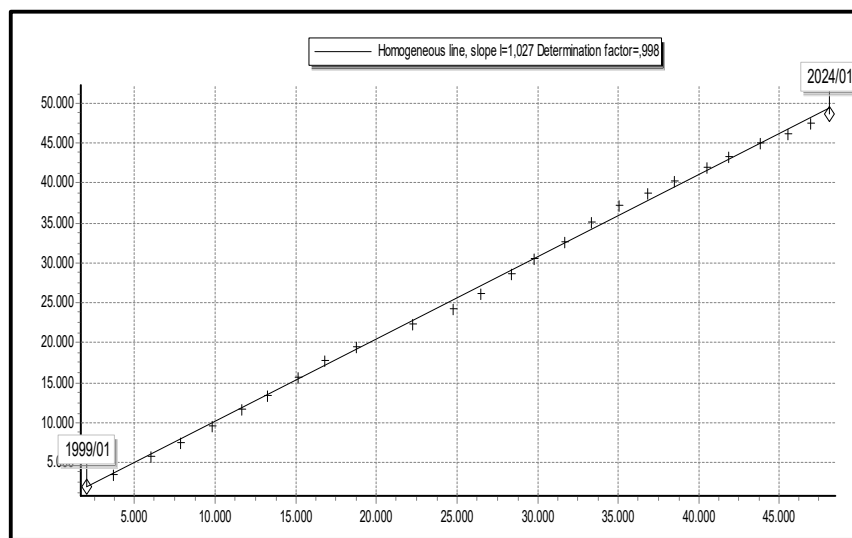
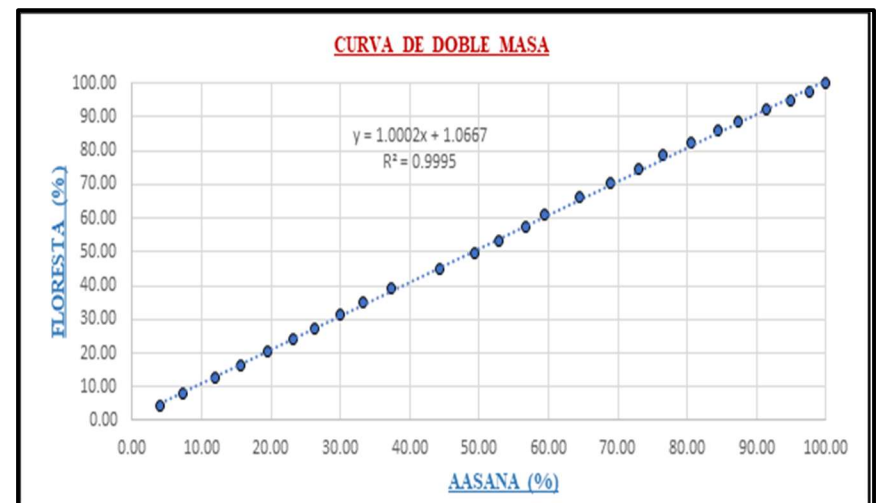
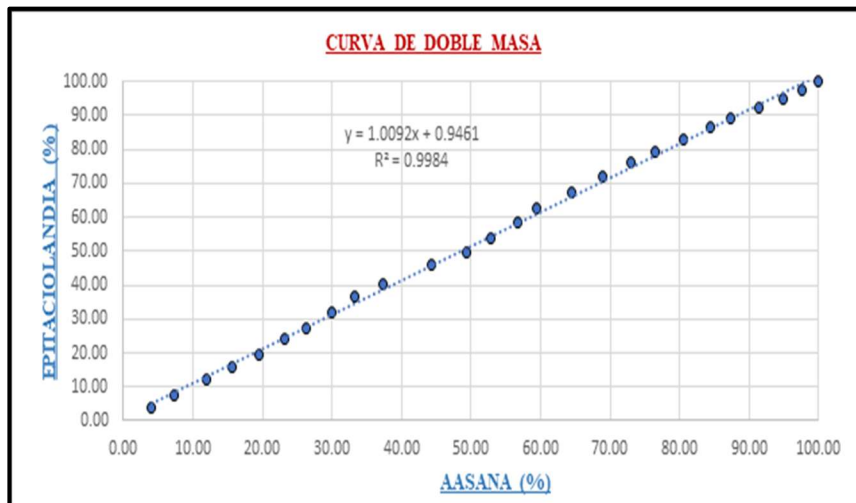
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.13 Tabla de comparación de curva doble masa

	AASANA	BRASILEA	TITACIOLANDI	FLORESTA
1999	2030,10	2018,90	2007,34	2089,04
2000	1644,00	1585,38	1559,52	1691,03
2001	2354,30	2313,27	2270,10	2079,51
2002	1817,30	1931,01	1758,93	1832,18
2003	1939,30	1942,08	1982,88	1753,01
2004	1859,70	2209,02	2067,93	1756,83
2005	1615,60	1707,51	1712,01	1559,35
2006	1898,00	2179,17	2257,59	1870,30
2007	1643,00	2020,32	2254,83	1720,71
2008	1938,50	1859,19	1684,50	1813,12
2009	3479,00	2473,14	2731,23	2804,30
2010	2564,50	2102,40	1965,57	2135,02
2011	1695,10	1974,75	1827,69	1770,92
2012	1870,90	2190,54	2494,38	1954,55
2013	1407,10	1932,48	2021,07	1673,80
2014	1941,90	2237,55	2133,42	2226,83
2015	1648,60	2453,01	2319,27	2087,84
2016	1712,90	1901,08	2080,11	1833,96
2017	1752,20	1383,70	1596,55	1925,14
2018	1688,30	1424,91	1567,60	1841,97
2019	1973,70	1547,50	1739,10	1628,90
2020	1361,70	1452,80	1297,70	1298,57
2021	1946,80	1787,50	1721,50	1541,83
2022	1764,50	1311,80	1182,66	1182,66
2023	1393,30	1442,40	1331,84	1331,84
2024	1156,80	1110,09	1127,70	1110,09

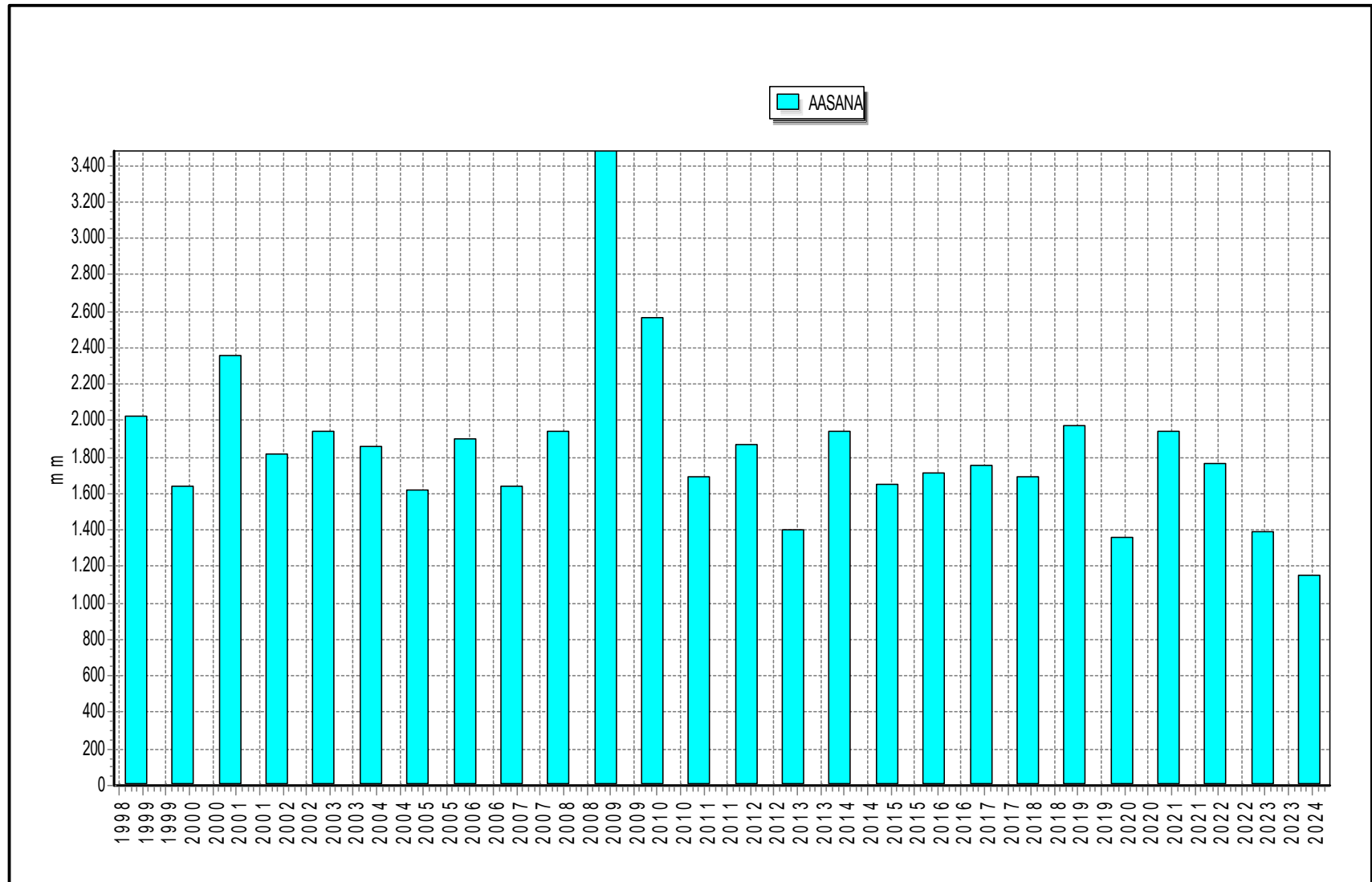


Fuente: Hydrognomon (software).



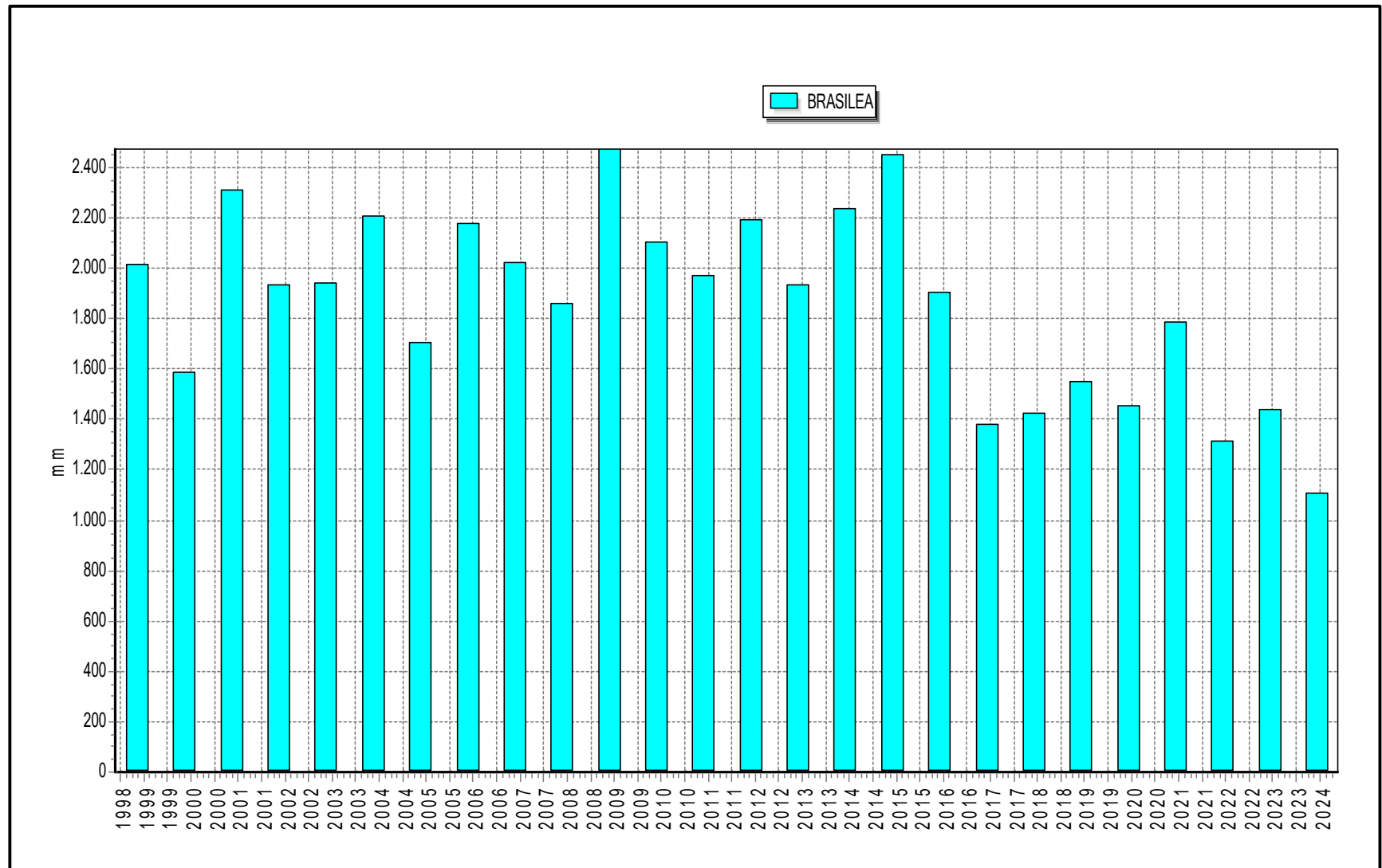
Fuente: Hydrognomon (software).

Figura 4.32 Hietograma de precipitación (AASANA)



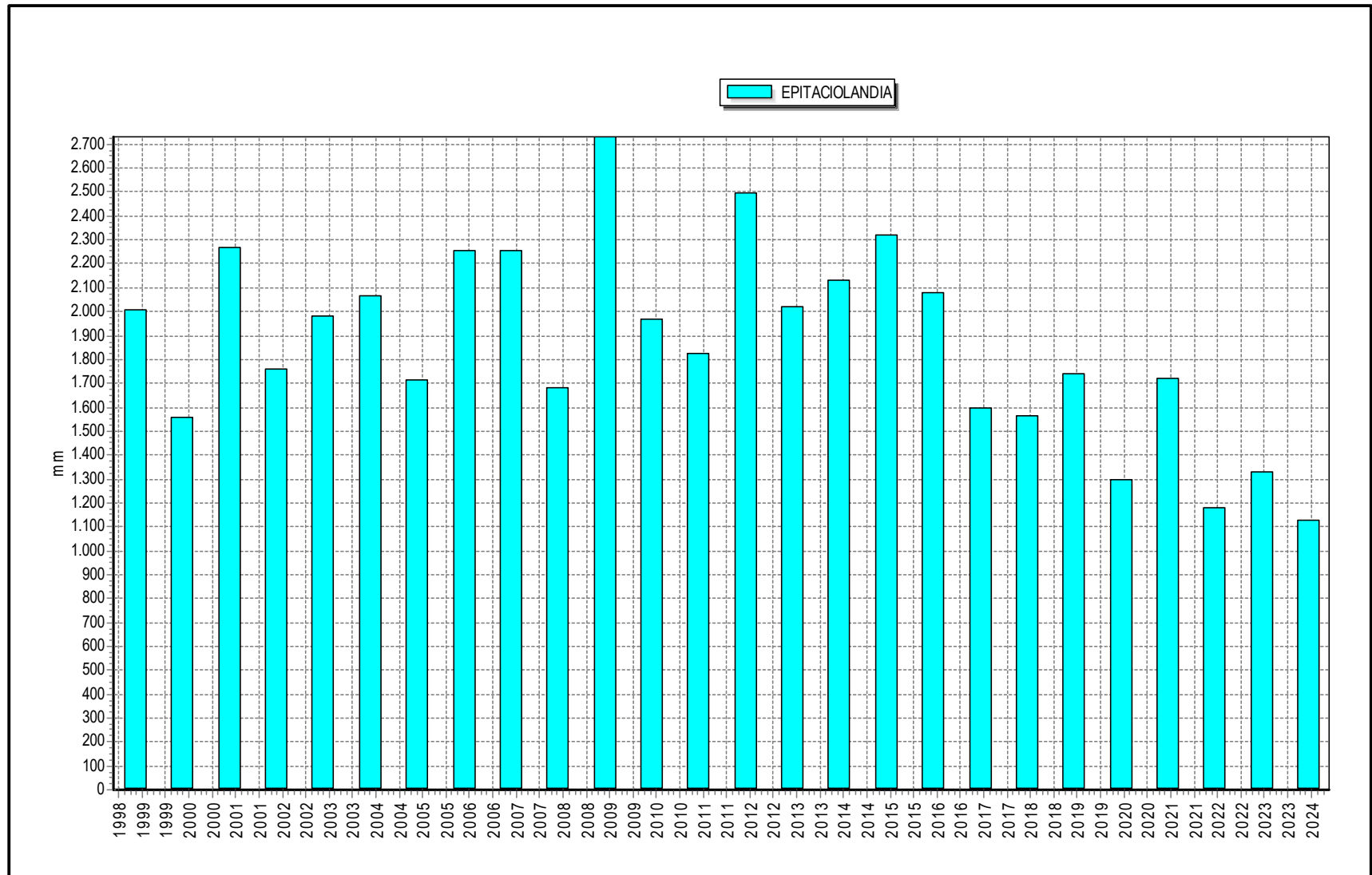
Fuente: Hydrognomon (software).

Figura 4.33 Hietograma de precipitación (BRASILEIA)



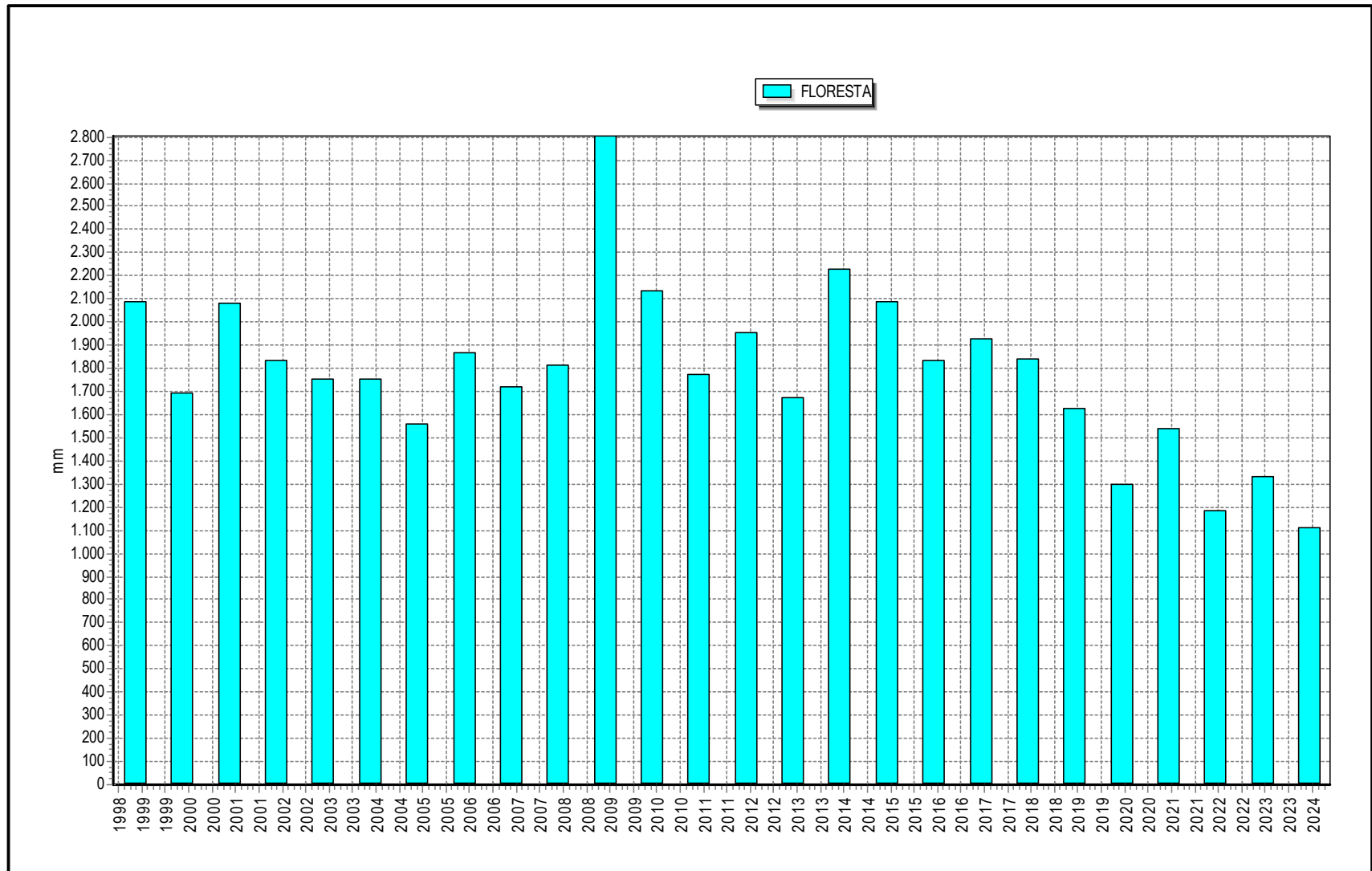
Fuente: Hydrognomon (software).

Figura 4.34 Hietograma de precipitación (EPITACIOLANDIA)



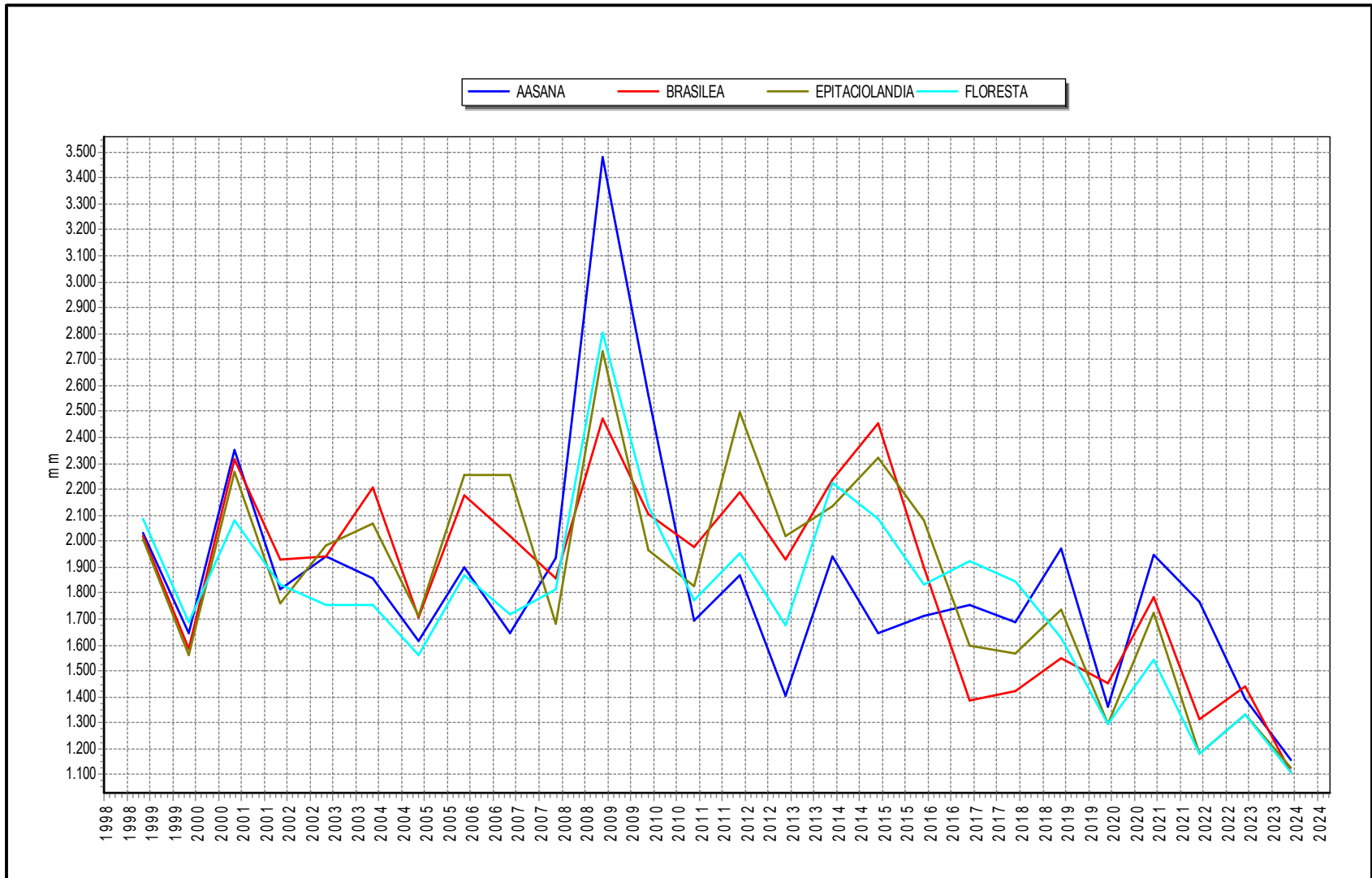
Fuente: Hydrognomon (software).

Figura 4.35 Hietograma de precipitación (FLORESTA)

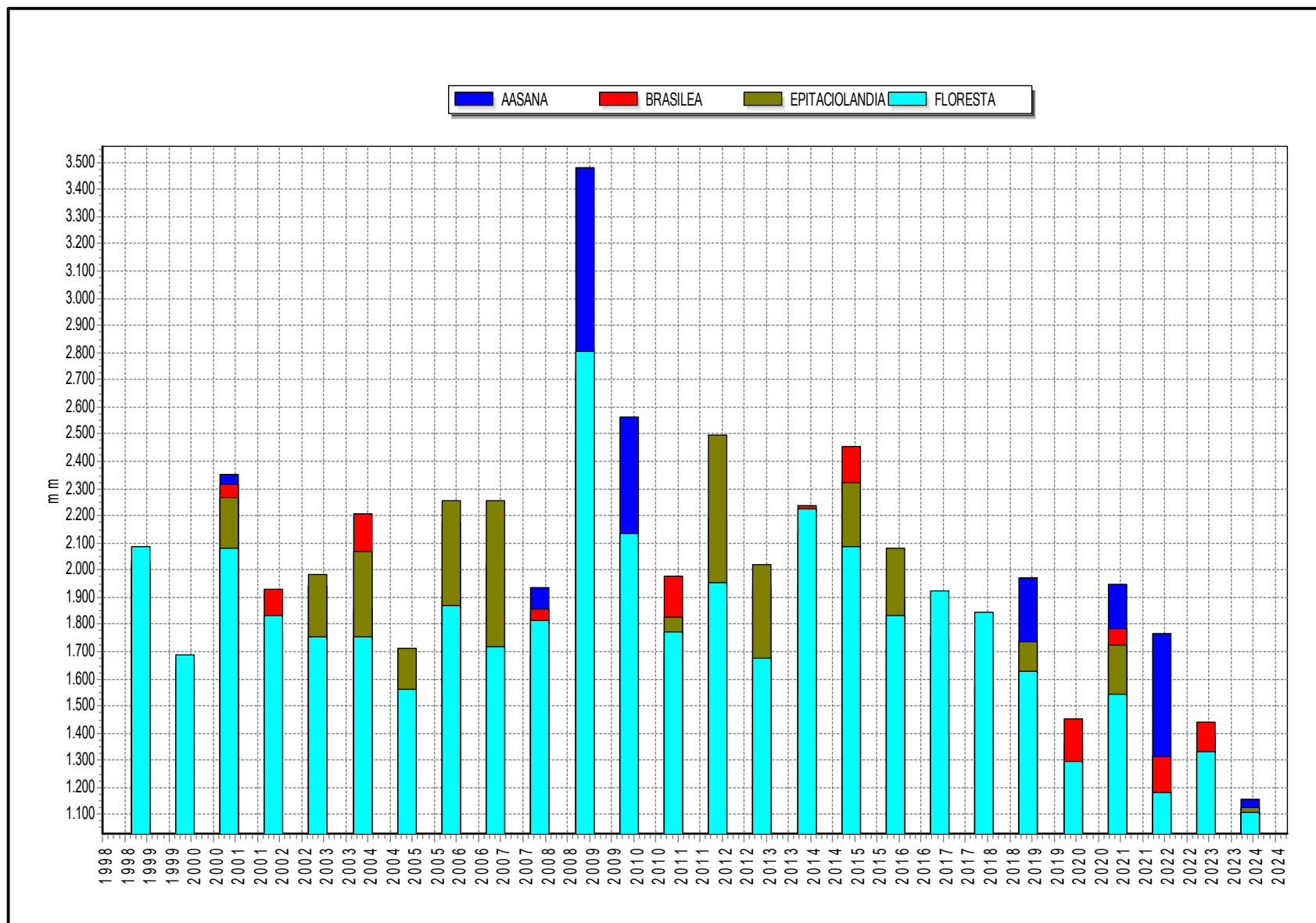


Fuente: Hydrognomon (software).

Figura 4.36 hietograma de precipitación combinado



Fuente: Hydrognomon (software).



Fuente: Hydrognomon (software).

4.2.3 Estación meteorológica completa

Una vez verificado el método de curva de doble masa a las estaciones, son homogéneas en su totalidad con una consistencia al 0.999 % superando el mínimo que es 0.70 % se procedió hacer el respectivo relleno de datos de precipitación diarios faltante en la estación meteorológica SENAMHI AASANA, la cual se optó por el método, promedio aritmético simple para las tres estaciones lo cual cumple al hacer menor al 10% de la estación incompleta.

Tabla 4.14 Método promedio aritmético

ESTACIONES	PROMEDIO ANUAL	Δ	%	VERF.
AASANA	1889,15			
BRASILEIA	1940,31	51,16	2,7	Cumple
EPITACIOLANDIA	1958,73	69,58	3,7	Cumple
FLORESTA	1864,73	24,43	1,3	Cumple

Fuente: Elaboración propia

Por lo tanto, la estación meteorológica SENAMHI AASANA, está completa con 24 años de registro histórico de precipitación al 100%, para la región del municipio Cobija - Pando (ver tabla 4.14), respetando todos los parámetros que se utiliza para un relleno de estaciones meteorológicas.

4.2.4 Precipitación máxima 24 horas

Para el análisis de las precipitaciones máximas, se tomará en cuenta la precipitación máxima 24 hrs. y para dicho análisis se considera la estación meteorológica más cercana a la zona de estudio y cuenca la cual es SENAMHI AASANA, por lo que se extrae el valor de máxima precipitación diaria de cada año en este caso son 26 años, dato con el cual se obtiene una tabla (ver 4.15), de precipitación máximas 24 hrs.

Tabla 4.15 Registros histórico de precipitaciones (mm) 24 hrs máximas

ESTACIÓN: SENAMHI AASANA **LATITUD:** -11,0414186 **X** 523963,948
DPTO.: Pando -cobija **LONGITUD:** -68,7802598 **Y** 8779609,964
PROVINCIA: Nicolas Suarez **ALTITUD:** 234 **ALTURA** 234

Nº	Años	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	24 hrs Max.
1	1999	53,90	97,00	54,20	37,60	32,00	57,20	18,20	0,00	31,20	31,60	97,20	81,50	97,20
2	2000	45,80	38,90	49,70	13,20	38,70	17,00	32,20	29,00	17,20	117,20	176,70	35,80	176,70
3	2001	73,70	35,40	111,70	64,20	31,30	33,10	4,60	19,20	51,70	76,60	81,70	42,20	111,70
4	2002	37,60	44,10	94,40	67,20	39,90	2,20	9,30	7,60	11,60	86,80	68,30	60,20	94,40
5	2003	60,50	100,60	39,60	53,20	46,20	5,10	0,80	28,50	33,10	85,90	76,20	73,40	100,60
6	2004	55,10	117,00	39,60	19,30	36,10	48,20	13,80	29,20	28,20	65,20	73,50	77,90	117,00
7	2005	55,60	82,10	28,00	36,00	6,60	1,10	1,10	9,60	46,20	40,20	74,60	80,60	82,10
8	2006	57,90	133,90	45,70	44,60	24,40	32,70	26,40	31,20	26,20	36,20	45,30	58,20	133,90
9	2007	30,60	48,20	87,50	66,20	61,60	2,70	9,20	1,10	46,30	36,20	32,40	48,40	87,50
10	2008	60,80	104,20	26,90	76,40	3,80	2,40	17,80	60,90	4,00	80,70	61,80	55,10	104,20
11	2009	41,80	75,10	71,30	82,20	108,10	33,60	42,30	47,60	55,60	57,20	69,20	138,80	138,80
12	2010	148,70	158,90	49,00	83,00	32,20	0,60	6,90	35,00	45,80	48,80	64,80	76,10	158,90
13	2011	54,00	51,20	95,00	65,30	31,00	2,40	0,40	4,60	15,40	27,40	33,00	60,90	95,00
14	2012	53,20	66,20	52,40	73,60	40,70	15,50	19,80	15,10	51,10	45,30	68,20	32,90	73,60
15	2013	48,40	37,00	87,40	21,70	46,70	50,90	27,60	56,70	24,60	27,50	56,20	29,90	87,40
16	2014	50,20	59,50	62,80	31,50	24,00	20,00	4,00	43,90	65,20	85,20	60,10	51,50	85,20
17	2015	110,00	63,60	40,50	34,50	49,60	24,10	4,40	35,70	5,60	26,00	25,00	26,60	110,00
18	2016	46,40	65,30	51,00	16,60	39,40	3,60	37,70	29,80	41,30	44,20	66,80	23,70	91,80
19	2017	36,00	65,40	66,10	40,10	11,10	0,30	10,20	40,20	16,70	37,70	35,90	55,50	66,10
20	2018	34,20	54,00	41,60	36,60	30,30	11,40	7,00	52,00	29,10	28,20	96,80	49,40	96,80
21	2019	58,70	35,00	31,90	83,90	40,70	3,10	41,70	16,10	57,20	30,60	71,40	91,50	91,50
22	2020	56,70	64,10	25,00	45,10	7,70	2,40	26,70	6,30	5,10	49,30	59,10	83,30	83,30
23	2021	62,50	66,50	95,30	42,20	48,40	7,40	0,10	19,80	8,00	64,40	63,80	77,60	95,30
24	2022	37,90	61,00	101,80	5,80	22,10	22,00	13,30	42,60	67,70	54,60	45,80	40,10	101,80
25	2023	72,90	45,20	68,60	38,40	50,80	7,60	0,10	11,30	28,60	22,70	9,60	29,50	72,90
26	2024	21,10	26,20	27,60	13,40	55,70	0,00	0,00	12,00	1,00	75,60	77,30	72,20	77,30
Media		56.32	69.06	59.41	45.84	36.89	15.64	14.45	26.35	31.30	53.13	65.02	62.34	101.19
Máxima		148.70	158.90	111.70	83.90	108.10	57.20	42.30	60.90	67.70	117.20	176.70	138.80	176.70
Mínima		21.10	26.20	25.00	5.80	3.80	0.00	0.00	0.00	1.00	22.70	9.60	26.60	66.10

Fuente: Elaboración propia.

4.2.5 Distribuciones de probabilidad teóricas

Este procedimiento es conocido como la prueba de bondad de ajuste gráfico que nos sirve para determinar si los datos se ajustan a la distribución representada por el papel de probabilidades estadísticos, en hidrología existen muchas funciones de distribución de probabilidad teórica como ser:

- Distribución Normal
- Distribución Log Normal.
- Distribución Gama Distribución de 2 y 3 parámetros
- Distribución Log. Pearson tipo III
- Distribución Gumbel
- Distribución Log. Gumbel

En este caso sólo se utilizó 3 que son: distribución Gumbel, distribución Normal y distribución Log Pearson Tipo III para las precipitaciones 24 Hrs. Máximas de la estación AASANA SENHAMI, ver tabla 3.16.

Los resultados o cálculo de las 3 distribuciones teóricas utilizadas para la presente tesis también fueron verificadas mediante el software (HIDROESTAR), se pudo apreciar u observar que los datos obtenidos mediante el software Hidroestar 2 son iguales al cálculo, por lo tanto, el resultado de las tres distribuciones es correctas.

4.2.5.1 Probabilidad Gumbel

La distribución Gumbel es también llamada distribución de valores extremos tipo I, o distribución doble exponencial, se define que una variable aleatoria x tiene una distribución Gumbel, cuando su función de densidad de probabilidad se define como:

1. Cálculo de los datos muestrales como ser, Media y Desviación Estándar.

$$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n} \quad S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}}$$

Ecuación 28.- Probabilidad Gumbel

Donde:

$\bar{x}$ = medía

x_i = variable independiente.

S = desviación estándar.

n = número de muestra.

2. Estimación de parámetros distribución Gumbel.

$$\alpha = \frac{\sqrt{6}}{\pi} * s =$$

$$u = \bar{x} - 0.5772 * \alpha$$

Donde:

μ = parámetro de posición, también llamado moda

α = parámetro de escala o asimetría

3. La función acumulada de la distribución Gumbel.

$$F_{(x)} = e^{-e^{-\left(\frac{x-u}{\alpha}\right)}}$$

Donde:

$f(x)$ = función de densidad de Gumbel de la variable x

x = variable independiente

α = es el parámetro de escala

μ = es el parámetro de posición, también llamado moda.

e = base del logaritmo neperiano

Tabla 4.16 Calculo de probabilidad Gumbel

1. Media $\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n} = 101.23 \text{ mm}$
2. Desviacion Estandar $S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} = 26.13 \text{ mm}$
3. Coeficiente de asimetria $\alpha = \frac{\sqrt{6}}{\pi} * S = 20.38 \text{ mm}$
4. El parametro BETA $u = \bar{x} - 0.5772 * \alpha = 89.47 \text{ mm}$

N°	Precipitacion	GUMBEL
	24 HRS MAX	Ecc. Teorica
1	66.00	0.0423
2	73.00	0.1060
3	74.00	0.1181
4	77.00	0.1582
5	82.00	0.2363
6	83.00	0.2532
7	85.00	0.2879
8	87.00	0.3234
9	88.00	0.3414
10	92.00	0.4135
11	92.00	0.4135
12	94.00	0.4490
13	95.00	0.4666
14	95.00	0.4666
15	97.00	0.5011
16	97.00	0.5011
17	101.00	0.5667
18	102.00	0.5824
19	104.00	0.6126
20	110.00	0.6941
21	112.00	0.7182
22	117.00	0.7719
23	134.00	0.8937
24	139.00	0.9158
25	159.00	0.9676
26	177.00	0.9865

Fuente: Elaboración propia

4.2.5.2 Probabilidad log Pearson tipo III

Este es una de las distribuciones más utilizadas en hidrología, se dice que una variable aleatoria X, tiene una distribución Gama o Pearson tipo III, si su función de densidad de probabilidad es (Material de apoyo didáctico para la enseñanza y aprendizaje de la asignatura de “Hidrología” Civ-233, pág.249).

1. Cálculo del logaritmo natural de la serie.

$$y = \ln(x_i)$$

Donde:

x = variable aleatoria

4. Datos muestrales como ser, Media y Desviación Estándar y Coeficiente de asimetría

$$\bar{x}_{\ln(x_i)} = \frac{\sum \ln(x_i)}{n}$$

$$\sigma_{\ln(x_i)} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\ln(x_i) - \ln(\bar{x}))^2}{n-1}}$$

Ecuación 29.- Probabilidad log Pearson tipo III

$$C_{s \ln(x_i)} = \frac{N \sum (x_i - \bar{X})^3}{(n-1)(n-2)\sigma_{\ln(x)}^3}$$

Donde:

$\bar{x}$ = media

$\bar{x}_{\ln(x_i)}$ = variable independiente.

$\sigma_{\ln(x_i)}$ = desviación estándar.

n = número de muestra.

$C_{s \ln(x_i)}$ = coeficiente de asimetría

1. Estimación de parámetros, método de máximas verosimilitud.

$$\gamma = \frac{4}{(C_{s(\log P)})^2}$$

$$\beta = \frac{C_{s(\log P)} \sigma(\log P)}{2}$$

$$k = \frac{C_s}{6}$$

Donde:

$\sigma_{\ln(Xi)}$ = desviación estándar.

$C_{s \ln(xi)}$ = coeficiente de asimetría

1. Cálculo de la función acumulada de la distribución Log. Pearson Tipo III.

$$f(x) = \frac{(x - x_0)^{\gamma-1} e^{-\frac{(x-x_0)}{\beta}}}{\beta^{\gamma} \Gamma(\gamma)}$$

$$X_0 \leq x < \infty \quad -\infty < x < \infty \quad 0 < \beta < \infty; 0 < \gamma < \infty$$

Donde:

$f(x)$ = función de densidad de la variable x

γ = gama

x = variable aleatoria

X_0 = origen de la variable x, parámetro de posición

β = parámetro de escala

e = base logaritmo neperiano

Calculo variables Probabilistico		
Media $(\log P)_m$ 1.993 mm Desviacion Estandar $\sigma_{(\log P)}$ 0.102 mm Coefficiente de asimetria $C_{s(\log P)}$ 0.826 mm	El valor de x_0 $x_0 = \overline{\log P} - \frac{2\sigma_{(\log P)}}{C_{s(\log P)}}$ $x_0 =$ 1.75	El valor de z $z = w - \frac{2.515517 + 0.802853w + 0.010328w^2}{1 + 1.432788w + 0.189269w^2 + 0.001308w^3}$ El valor de K_T $K_T = z + (z^2 - 1)k + (z^3 - 6z)\left(\frac{k^3}{3}\right) - (z^2 - 1)k^3 + zk^4 + \frac{k^5}{3}$
El valor de β $\beta = \frac{C_{s(\log P)} \sigma_{(\log P)}}{2}$ $\beta =$ 0.0420	El valor de γ $\gamma = \left(\frac{4}{C_{s(\log P)}^2}\right)^2$ $\gamma =$ 5.86	El valor de Y $Y = \overline{\log P} + K_T * \sigma_{(\log P)}$
El valor de k $k = \frac{C_s}{6}$ $k =$ 0.1377	El valor de w $w = \left[\ln\left(\frac{1}{p^2}\right) \right]^{1/2}$	Precipitaciones 24 hora maximas $P_{\text{máx}24h(T)} = 10^Y$

Tabla 4.17 Calculo de probabilidad Log. PEARSON TIPO III

N°	Precipitacion	L. PEARSON TIPO III	
	24 HRS MAX	<i>Log xi</i>	Ecc. Teorica
1	66.00	1.820	0.010
2	73.00	1.863	0.071
3	74.00	1.869	0.085
4	77.00	1.886	0.133
5	82.00	1.914	0.229
6	83.00	1.919	0.249
7	85.00	1.929	0.291
8	87.00	1.940	0.333
9	88.00	1.944	0.354
10	92.00	1.964	0.436
11	92.00	1.964	0.436
12	94.00	1.973	0.475
13	95.00	1.978	0.493
14	95.00	1.978	0.493
15	97.00	1.987	0.530
16	97.00	1.987	0.530
17	101.00	2.004	0.597
18	102.00	2.009	0.613
19	104.00	2.017	0.642
20	110.00	2.041	0.720
21	112.00	2.049	0.742
22	117.00	2.068	0.791
23	134.00	2.127	0.897
24	139.00	2.143	0.917
25	159.00	2.201	0.963
26	177.00	2.248	0.981

Fuente: Elaboración propio.

4.2.5.3 Probabilidad Normal

La distribución normal es una distribución con forma de campana donde las desviaciones estándar sucesivas con respecto a la media establecen valores de referencia para estimar el porcentaje de observaciones de los datos, la distribución normal tiene gran utilidad en la hidrología, siendo alguna de sus principales aplicaciones.

- Análisis de los errores aleatorios en las observaciones o mediciones hidrológicas.

- Sirve de comparación a varias distribuciones teóricas.

1. Ordenar los datos de manera creciente.

2. Datos muestrales como ser, Media y Desviación Estándar.

$$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n}$$

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}}$$

Ecuación 30.- Probabilidad Normal

Donde:

$\bar{x}$ = media

x_i = variable independiente.

S = desviación estándar.

n = número de muestra.

3. Calcular la probabilidad teórica Normal

Usar modelos teóricos, usar la ecuación de la función acumulada $f(x)$, o tablas elaboradas para tal fin.

$$z = \frac{x - \bar{x}}{s}$$

$$F(x) = F(Z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^z e^{-\frac{z^2}{2}} dz$$

Donde:

$f(x)$ = función de densidad normal de la variable x .

x = variable independiente.

$\bar{x}$ = parámetro de localización, igual a la media aritmética de x .

S = parámetro de escala igual a la desviación estándar de muestra.

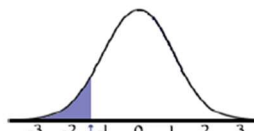
e = base del logaritmo neperiano.

z = densidad de la distribución Normal estándar o estandarizada

Tabla 4.18 De distribución NORMAL

Tabla 9. Áreas bajo la curva normal estándar. Los valores de la tabla que no se muestran en negrita representan la probabilidad de observar un valor menor o igual a z . La cifra entera y el primer decimal de z se buscan en la primera columna, y el segundo decimal en la cabecera de la tabla.

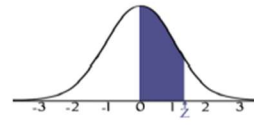
TABLA DE DISTRIBUCIÓN NORMAL TIPIFICADA $N(0,1)$

$$F(z) = P(Z \leq z) = \int_{-\infty}^z \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{z^2}{2}} dz$$


z	0	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09
-4.0	0.00003	0.00003	0.00003	0.00003	0.00003	0.00003	0.00002	0.00002	0.00002	0.00002
-3.9	0.00005	0.00005	0.00004	0.00004	0.00004	0.00004	0.00004	0.00004	0.00003	0.00003
-3.8	0.00007	0.00007	0.00007	0.00006	0.00006	0.00006	0.00006	0.00005	0.00005	0.00005
-3.7	0.00011	0.00010	0.00010	0.00010	0.00009	0.00009	0.00008	0.00008	0.00008	0.00008
-3.6	0.00016	0.00015	0.00015	0.00014	0.00014	0.00013	0.00013	0.00012	0.00012	0.00011
-3.5	0.00023	0.00022	0.00022	0.00021	0.00020	0.00019	0.00019	0.00018	0.00017	0.00017
-3.4	0.00034	0.00032	0.00031	0.00030	0.00029	0.00028	0.00027	0.00026	0.00025	0.00024
-3.3	0.00048	0.00047	0.00045	0.00043	0.00042	0.00040	0.00039	0.00038	0.00036	0.00035
-3.2	0.00069	0.00066	0.00064	0.00062	0.00060	0.00058	0.00056	0.00054	0.00052	0.00050
-3.1	0.00097	0.00094	0.00090	0.00087	0.00084	0.00082	0.00079	0.00076	0.00074	0.00071
-3.0	0.00135	0.00131	0.00126	0.00122	0.00118	0.00114	0.00111	0.00107	0.00104	0.00100
-2.9	0.00187	0.00181	0.00175	0.00169	0.00164	0.00159	0.00154	0.00149	0.00144	0.00139
-2.8	0.00256	0.00248	0.00240	0.00233	0.00226	0.00219	0.00212	0.00205	0.00199	0.00193
-2.7	0.00347	0.00336	0.00326	0.00317	0.00307	0.00298	0.00289	0.00280	0.00272	0.00264
-2.6	0.00466	0.00453	0.00440	0.00427	0.00415	0.00402	0.00391	0.00379	0.00368	0.00357
-2.5	0.00621	0.00604	0.00587	0.00570	0.00554	0.00539	0.00523	0.00508	0.00494	0.00480
-2.4	0.00820	0.00798	0.00776	0.00755	0.00734	0.00714	0.00695	0.00676	0.00657	0.00639
-2.3	0.01072	0.01044	0.01017	0.00990	0.00964	0.00939	0.00914	0.00889	0.00866	0.00842
-2.2	0.01390	0.01355	0.01321	0.01287	0.01255	0.01222	0.01191	0.01160	0.01130	0.01101
-2.1	0.01786	0.01743	0.01700	0.01659	0.01618	0.01578	0.01539	0.01500	0.01463	0.01426
-2.0	0.02275	0.02222	0.02169	0.02118	0.02068	0.02018	0.01970	0.01923	0.01876	0.01831
-1.9	0.02872	0.02807	0.02743	0.02680	0.02619	0.02559	0.02500	0.02442	0.02385	0.02330
-1.8	0.03593	0.03515	0.03438	0.03362	0.03288	0.03216	0.03144	0.03074	0.03005	0.02938
-1.7	0.04457	0.04363	0.04272	0.04182	0.04093	0.04006	0.03920	0.03836	0.03754	0.03673
-1.6	0.05480	0.05370	0.05262	0.05155	0.05050	0.04947	0.04846	0.04746	0.04648	0.04551
-1.5	0.06681	0.06552	0.06426	0.06301	0.06178	0.06057	0.05938	0.05821	0.05705	0.05592
-1.4	0.08076	0.07927	0.07780	0.07636	0.07493	0.07353	0.07215	0.07078	0.06944	0.06811
-1.3	0.09680	0.09510	0.09342	0.09176	0.09012	0.08851	0.08692	0.08534	0.08379	0.08226
-1.2	0.11507	0.11314	0.11123	0.10935	0.10749	0.10565	0.10383	0.10204	0.10027	0.09853
-1.1	0.13567	0.13350	0.13136	0.12924	0.12714	0.12507	0.12302	0.12100	0.11900	0.11702
-1.0	0.15866	0.15625	0.15386	0.15151	0.14917	0.14686	0.14457	0.14231	0.14007	0.13786
-0.9	0.18406	0.18141	0.17879	0.17619	0.17361	0.17106	0.16853	0.16602	0.16354	0.16109
-0.8	0.21186	0.20897	0.20611	0.20327	0.20045	0.19766	0.19489	0.19215	0.18943	0.18673
-0.7	0.24196	0.23885	0.23576	0.23270	0.22965	0.22663	0.22363	0.22065	0.21770	0.21476
-0.6	0.27425	0.27093	0.26763	0.26435	0.26109	0.25785	0.25463	0.25143	0.24825	0.24510
-0.5	0.30854	0.30503	0.30153	0.29806	0.29460	0.29116	0.28774	0.28434	0.28096	0.27760
-0.4	0.34458	0.34090	0.33724	0.33360	0.32997	0.32636	0.32276	0.31918	0.31561	0.31207
-0.3	0.38209	0.37828	0.37448	0.37070	0.36693	0.36317	0.35942	0.35569	0.35197	0.34827
-0.2	0.42074	0.41683	0.41294	0.40905	0.40517	0.40129	0.39743	0.39358	0.38974	0.38591
-0.1	0.46017	0.45620	0.45224	0.44828	0.44433	0.44038	0.43644	0.43251	0.42858	0.42465
0.0	0.50000	0.49601	0.49202	0.48803	0.48405	0.48006	0.47608	0.47210	0.46812	0.46414

Tabla 10. Áreas bajo la curva normal estándar. Los valores de la tabla que no se muestran en negrita representan la probabilidad de observar un valor menor o igual a z . La cifra entera y el primer decimal de z se buscan en la primera columna, y el segundo decimal en la cabecera de la tabla.

TABLA DE DISTRIBUCIÓN NORMAL TIPIFICADA $N(0,1)$

$$F(z) = P(Z \leq z) = \int_{-\infty}^z \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{z^2}{2}} dz$$


z	0	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09
0.0	0.50000	0.50399	0.50798	0.51197	0.51595	0.51994	0.52392	0.52790	0.53188	0.53586
0.1	0.53983	0.54380	0.54776	0.55172	0.55567	0.55962	0.56356	0.56749	0.57142	0.57535
0.2	0.57926	0.58317	0.58706	0.59095	0.59483	0.59871	0.60257	0.60642	0.61026	0.61409
0.3	0.61791	0.62172	0.62552	0.62930	0.63307	0.63683	0.64058	0.64431	0.64803	0.65173
0.4	0.65542	0.65910	0.66276	0.66640	0.67003	0.67364	0.67724	0.68082	0.68439	0.68793
0.5	0.69146	0.69497	0.69847	0.70194	0.70540	0.70884	0.71226	0.71566	0.71904	0.72240
0.6	0.72575	0.72907	0.73237	0.73565	0.73891	0.74215	0.74537	0.74857	0.75175	0.75490
0.7	0.75804	0.76115	0.76424	0.76730	0.77035	0.77337	0.77637	0.77935	0.78230	0.78524
0.8	0.78814	0.79103	0.79389	0.79673	0.79955	0.80234	0.80511	0.80785	0.81057	0.81327
0.9	0.81594	0.81859	0.82121	0.82381	0.82639	0.82894	0.83147	0.83398	0.83646	0.83891
1.0	0.84134	0.84375	0.84614	0.84849	0.85083	0.85314	0.85543	0.85769	0.85993	0.86214
1.1	0.86433	0.86650	0.86864	0.87076	0.87286	0.87493	0.87698	0.87900	0.88100	0.88298
1.2	0.88493	0.88686	0.88877	0.89065	0.89251	0.89435	0.89617	0.89796	0.89973	0.90147
1.3	0.90320	0.90490	0.90658	0.90824	0.90988	0.91149	0.91308	0.91466	0.91621	0.91774
1.4	0.91924	0.92073	0.92220	0.92364	0.92507	0.92647	0.92785	0.92922	0.93056	0.93189
1.5	0.93319	0.93448	0.93574	0.93699	0.93822	0.93943	0.94062	0.94179	0.94295	0.94408
1.6	0.94520	0.94630	0.94738	0.94845	0.94950	0.95053	0.95154	0.95254	0.95352	0.95449
1.7	0.95543	0.95637	0.95728	0.95818	0.95907	0.95994	0.96080	0.96164	0.96246	0.96327
1.8	0.96407	0.96485	0.96562	0.96638	0.96712	0.96784	0.96856	0.96926	0.96995	0.97062
1.9	0.97128	0.97193	0.97257	0.97320	0.97381	0.97441	0.97500	0.97558	0.97615	0.97670
2.0	0.97725	0.97778	0.97831	0.97882	0.97932	0.97982	0.98030	0.98077	0.98124	0.98169
2.1	0.98214	0.98257	0.98300	0.98341	0.98382	0.98422	0.98461	0.98500	0.98537	0.98574
2.2	0.98610	0.98645	0.98679	0.98713	0.98745	0.98778	0.98809	0.98840	0.98870	0.98899
2.3	0.98928	0.98956	0.98983	0.99010	0.99036	0.99061	0.99086	0.99111	0.99134	0.99158
2.4	0.99180	0.99202	0.99224	0.99245	0.99266	0.99286	0.99305	0.99324	0.99343	0.99361
2.5	0.99379	0.99396	0.99413	0.99430	0.99446	0.99461	0.99477	0.99492	0.99506	0.99520
2.6	0.99534	0.99547	0.99560	0.99573	0.99585	0.99598	0.99609	0.99621	0.99632	0.99643
2.7	0.99653	0.99664	0.99674	0.99683	0.99693	0.99702	0.99711	0.99720	0.99728	0.99736
2.8	0.99744	0.99752	0.99760	0.99767	0.99774	0.99781	0.99788	0.99795	0.99801	0.99807
2.9	0.99813	0.99819	0.99825	0.99831	0.99836	0.99841	0.99846	0.99851	0.99856	0.99861
3.0	0.99865	0.99869	0.99874	0.99878	0.99882	0.99886	0.99889	0.99893	0.99896	0.99900
3.1	0.99903	0.99906	0.99910	0.99913	0.99916	0.99918	0.99921	0.99924	0.99926	0.99929
3.2	0.99931	0.99934	0.99936	0.99938	0.99940	0.99942	0.99944	0.99946	0.99948	0.99950
3.3	0.99952	0.99953	0.99955	0.99957	0.99958	0.99960	0.99961	0.99962	0.99964	0.99965
3.4	0.99966	0.99968	0.99969	0.99970	0.99971	0.99972	0.99973	0.99974	0.99975	0.99976
3.5	0.99977	0.99978	0.99979	0.99979	0.99980	0.99981	0.99981	0.99982	0.99983	0.99983
3.6	0.99984	0.99985	0.99985	0.99986	0.99986	0.99987	0.99987	0.99987	0.99988	0.99988
3.7	0.99989	0.99990	0.99990	0.99990	0.99991	0.99991	0.99992	0.99992	0.99992	0.99992
3.8	0.99993	0.99993	0.99993	0.99994	0.99994	0.99994	0.99994	0.99995	0.99995	0.99995
3.9	0.99995	0.99995	0.99996	0.99996	0.99996	0.99996	0.99996	0.99996	0.99997	0.99997
4.0	0.99997	0.99997	0.99997	0.99997	0.99997	0.99997	0.99998	0.99998	0.99998	0.99998

Fuente: Elaboración propio.

Tabla 4.19 Cálculo de probabilidad normal

N°	Precipitacion	NORMAL	
	24 HRS MAX	z	Ecc. Teorica
1	66.00	-1.265	0.103
2	73.00	-1.013	0.155
3	74.00	-0.977	0.164
4	77.00	-0.870	0.192
5	82.00	-0.690	0.245
6	83.00	-0.654	0.256
7	85.00	-0.583	0.280
8	87.00	-0.511	0.305
9	88.00	-0.475	0.317
10	92.00	-0.331	0.370
11	92.00	-0.331	0.370
12	94.00	-0.260	0.398
13	95.00	-0.224	0.412
14	95.00	-0.224	0.412
15	97.00	-0.152	0.440
16	97.00	-0.152	0.440
17	101.00	-0.008	0.497
18	102.00	0.028	0.511
19	104.00	0.099	0.540
20	110.00	0.315	0.624
21	112.00	0.387	0.650
22	117.00	0.566	0.714
23	134.00	1.176	0.880
24	139.00	1.356	0.912
25	159.00	2.074	0.981
26	177.00	2.720	0.997

Calculo variables Probabilistico	
1. Media $\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n} = \mathbf{101.23 \text{ mm}}$	2. Desviacion Estandar $\sigma = S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}} = \mathbf{27.86 \text{ mm}}$
3. Variable Estandarizada $Z = \frac{x - \bar{x}}{\sigma}$	5. Probabilidad del tiempo de retorno para encontrar (z) Tabla $T = \frac{1}{1 - P(X \geq x)} \Rightarrow P(X \geq x) = \frac{T - 1}{T}$
4. Funsion de Densidad de probabilidad Estandar $F(x) = F(Z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^z e^{-\frac{z^2}{2}} dz$	6. Pmáx24h(T) (mm) $X = Z * \sigma + \bar{x}$

Fuente: Elaboración propia.

4.2.6 Prueba de Smirnov- Kolmogorov

La prueba de ajuste de Sminov Kolmogorov, consiste en verificar o comparar la diferencia de los datos existentes entre la probabilidad empírica de los datos de la muestra de las precipitaciones máximas 24 hrs, de la estación meteorológica AASANA SENAMHI, y la probabilidad teórica para saber a cuál probabilidad se ajusta mejor, a lo cual se inicia situando los valores de la precipitación, en forma de menor a mayor o ascendente ver tabla 4.21 pág. 102

1. **Cálculo de la probabilidad empírica o experimental $P(x)$ de los datos, para esto usar la fórmula de Weibull.**

$$P(x) = \frac{m}{N - 1} =$$

Ecuación 31.- Smirnov- Kolmogorov

Donde:

$P(x)$ = probabilidad empírica o experimental.

m = número de orden.

N = número de datos.

2. **Calcular de la diferencia entre probabilidad teórica y la empírica para todos los valores.**

$$D = |F_{(x)} - P_{(x)}|$$

Donde:

D = estadístico de Smirnov-Kolmogorov, cuyo valor es igual a la diferencia máxima, existente entre la probabilidad ajustada y la probabilidad empírica.

$F_{(x)}$ = probabilidad de la distribución teórica.

$P_{(x)}$ = probabilidad experimental o empírica de los datos.

3. Seleccionar la máxima diferencia entre: $\Delta (max) = |F_{(x)} - P_{(x)}|$.
4. Calcular el valor crítico del estadístico Δ , es decir Δt , para un $\alpha = 0.05$ y N igual al número de datos los valores de Δo , se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 4.20 Nivel de significado para la prueba SMIRNOV_KOLMOGOROV

Tamaño Muestral N	Nivel de Significancia α				
	0,20	0,15	0,10	0,05	0,01
1	0,900	0,925	0,950	0,975	0,995
2	0,684	0,726	0,776	0,842	0,929
3	0,565	0,597	0,642	0,708	0,828
4	0,494	0,525	0,564	0,624	0,733
5	0,446	0,474	0,510	0,565	0,669
6	0,410	0,436	0,470	0,521	0,618
7	0,381	0,405	0,438	0,486	0,577
8	0,358	0,381	0,411	0,457	0,543
9	0,339	0,360	0,388	0,432	0,514
10	0,322	0,342	0,368	0,410	0,490
11	0,307	0,326	0,352	0,391	0,468
12	0,295	0,313	0,338	0,375	0,450
13	0,284	0,302	0,325	0,361	0,433
14	0,274	0,292	0,314	0,349	0,418
15	0,266	0,283	0,304	0,338	0,404
16	0,258	0,274	0,295	0,328	0,392
17	0,250	0,266	0,286	0,318	0,381
18	0,244	0,259	0,278	0,309	0,371
19	0,237	0,252	0,272	0,301	0,363
20	0,231	0,246	0,264	0,294	0,356
25	0,210	0,220	0,240	0,270	0,320
30	0,190	0,200	0,220	0,240	0,290
35	0,180	0,190	0,210	0,230	0,270
>35	$\frac{1.07}{\sqrt{N}}$	$\frac{1.14}{\sqrt{N}}$	$\frac{1.22}{\sqrt{N}}$	$\frac{1.36}{\sqrt{N}}$	$\frac{1.63}{\sqrt{N}}$

Fuente: Villán máximo, 2002 Hidrología estadística.

5. Comparar el valor estadístico Δ con el valor crítico Δt de la tabla, con los siguientes criterios de decisión deducidos de la ecuación:

$\Delta < \Delta_T =$ El ajuste es bueno, al nivel de significación seleccionado.

$\Delta > \Delta_T =$ El ajuste no es bueno, al nivel de significación seleccionado, siendo necesario probar con otra distribución.

Tabla 4.21 Prueba de ajuste komogorov smairnov estacion (AASANA)

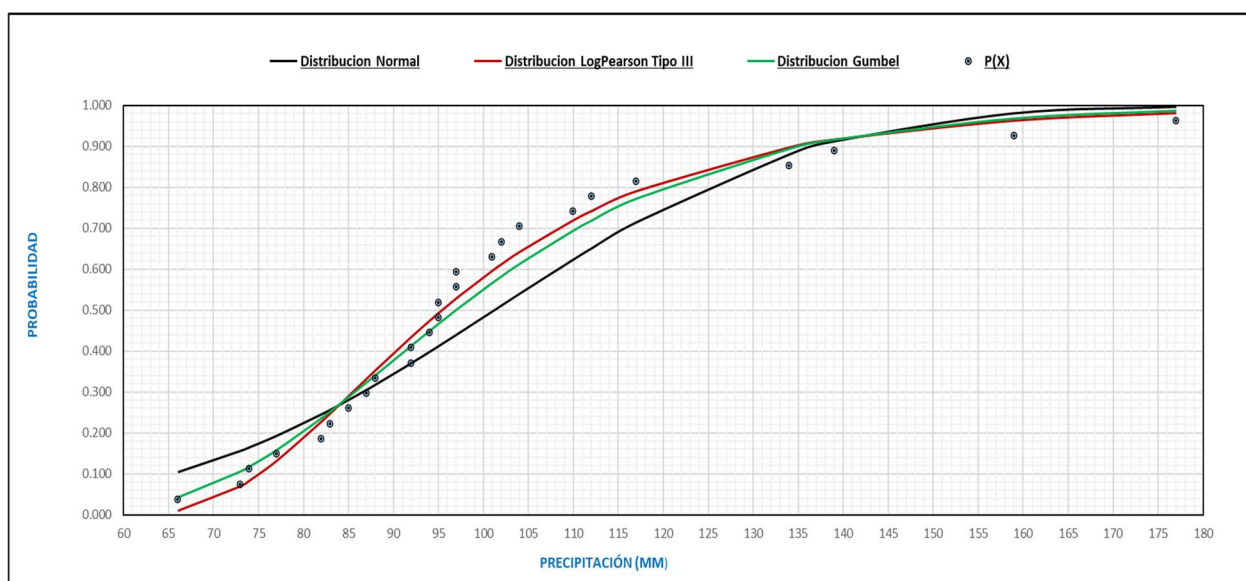
N°	Precipitacion	Weibull	GUMBEL	Δ	L. PEARSON		Δ	NORMAL		Δ
	24 HRS MAX	Ecc. Impirica	Ecc. Teorica	$ F_0 - F $	$Log\ xi$	Ecc. Teorica	$ F_0 - F $	z	Ecc. Teorica	$ F_0 - F $
1	66.00	0.0370	0.0423	0.0052	1.820	0.010	0.027	-1.265	0.103	0.066
2	73.00	0.0741	0.1060	0.0320	1.863	0.071	0.003	-1.013	0.155	0.081
3	74.00	0.1111	0.1181	0.0070	1.869	0.085	0.026	-0.977	0.164	0.053
4	77.00	0.1481	0.1582	0.0100	1.886	0.133	0.015	-0.870	0.192	0.044
5	82.00	0.1852	0.2363	0.0511	1.914	0.229	0.043	-0.690	0.245	0.060
6	83.00	0.2222	0.2532	0.0310	1.919	0.249	0.027	-0.654	0.256	0.034
7	85.00	0.2593	0.2879	0.0286	1.929	0.291	0.032	-0.583	0.280	0.021
8	87.00	0.2963	0.3234	0.0271	1.940	0.333	0.037	-0.511	0.305	0.008
9	88.00	0.3333	0.3414	0.0080	1.944	0.354	0.021	-0.475	0.317	0.016
10	92.00	0.3704	0.4135	0.0431	1.964	0.436	0.065	-0.331	0.370	0.000
11	92.00	0.4074	0.4135	0.0060	1.964	0.436	0.028	-0.331	0.370	0.037
12	94.00	0.4444	0.4490	0.0046	1.973	0.475	0.030	-0.260	0.398	0.047
13	95.00	0.4815	0.4666	0.0149	1.978	0.493	0.012	-0.224	0.412	0.070
14	95.00	0.5185	0.4666	0.0519	1.978	0.493	0.025	-0.224	0.412	0.107
15	97.00	0.5556	0.5011	0.0545	1.987	0.530	0.026	-0.152	0.440	0.116
16	97.00	0.5926	0.5011	0.0915	1.987	0.530	0.063	-0.152	0.440	0.153
17	101.00	0.6296	0.5667	0.0629	2.004	0.597	0.033	-0.008	0.497	0.133
18	102.00	0.6667	0.5824	0.0843	2.009	0.613	0.054	0.028	0.511	0.156
19	104.00	0.7037	0.6126	0.0912	2.017	0.642	0.061	0.099	0.540	0.164
20	110.00	0.7407	0.6941	0.0466	2.041	0.720	0.021	0.315	0.624	0.117
21	112.00	0.7778	0.7182	0.0596	2.049	0.742	0.036	0.387	0.650	0.127
22	117.00	0.8148	0.7719	0.0430	2.068	0.791	0.024	0.566	0.714	0.100
23	134.00	0.8519	0.8937	0.0418	2.127	0.897	0.046	1.176	0.880	0.028
24	139.00	0.8889	0.9158	0.0269	2.143	0.917	0.028	1.356	0.912	0.024
25	159.00	0.9259	0.9676	0.0416	2.201	0.963	0.037	2.074	0.981	0.055
26	177.00	0.9630	0.9865	0.0235	2.248	0.981	0.018	2.720	0.997	0.034
N = 26	$\Delta = \text{Maximo de } F_0 - F $			0.0915	$\Delta = \text{Maximo de } F_0 - F $		0.0653	$\Delta = \text{Maximo de } F_0 - F $		0.1641

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.22 Resultados de la prueba de ajuste KOLMOGOROV SMIRNOV

Parametros de komogorov			Resultados del ajuste a una probabilidad
Δ		Δ_T	
0.0915	<	0.2667	Los datos se ajustan a una distribución Gumbel !!!
0.0653	<	0.2667	Los datos se ajustan a una distribución log pearson III !!!
0.1641	<	0.2667	Los datos se ajustan a una distribución Normal !!!

PRUEBA DE BONDAD DE AJUSTE SMIRNOV-KOLGOMOROV			
Δ TABULAR	ATEÓRICO DE LAS DISTRIBUCIONES		
	DISTRIBUCION NORMAL	DISTRIBUCION LOGPEARSON TIPO III	DISTRIBUCION GUMBEL
0.267	0.1641	0.0653	0.0915
MIN Δ	0.065		



Fuente: Elaboración propia

Como se puede observar la tabla de resultado 4.22, las tres probabilidades de distribución se ajustan, pero escogeremos la que más se ajusta la cual es, **Log Pearson Tipo III**, para la estación meteorológica AASANA SENHAMI del municipio Cobija del departamento Pando-Bolivia.

Para obtener un resultado confiable, se verificó y se comprobó los resultados de la prueba de Kolmogorov Smirnov, con los softwares de hidrología como ser, Hidroesta 2 y Hydrognomon con lo cual se obtuvo resultados correctos e igual al cálculo de nuestro ajuste de probabilidad, esto significa que nuestros ajustes son correctos y listos para determinar las curvas de intensidad duración y frecuencia para la estación AASANA SENHAMI COBIJA,

4.2.6.1 Prueba de Smirnov- Kolmogorov (Hidroesta 2)

Tabla 4.23 HIDROESTA 2 (Gumbel)

Ajuste de una serie de datos a la distribución Gumbel

Ingreso de datos:
Nota: Una vez que digite el dato, presionar ENTER

N°	X
1	66.0
2	73.0
3	74.0
4	77.0
5	82.0
6	83.0
7	85.0
8	87.0
9	88.0
10	92.0
11	92.0
12	94.0
13	95.0
14	95.0

m	X	P(X)	G(Y) Ordinario	G(Y) Mom Lineal	Delta
1	66.0	0.0370	0.0423	0.0370	0.0052
2	73.0	0.0741	0.1060	0.0983	0.0320
3	74.0	0.1111	0.1181	0.1101	0.0070
4	77.0	0.1481	0.1582	0.1500	0.0100
5	82.0	0.1852	0.2363	0.2286	0.0511
6	83.0	0.2222	0.2532	0.2458	0.0310
7	85.0	0.2593	0.2879	0.2811	0.0286
8	87.0	0.2963	0.3234	0.3173	0.0271

Caudal de diseño:
 Caudal (Q): m3/s
 Período de retorno (T): años
 Probabilidad (P): %
 Q=f(T) T=f(Q) P(Q<q) P(Q>q)

Parámetros distribución Gumbel:
 Con momentos ordinarios:
 De posición (μ): 89.4691
 De escala (alfa): 20.3766
 Con momentos lineales:
 De posición (μ): 89.744
 De escala (alfa): 19.9003

Tipo de ajuste:
☒ Parámetros ordinarios
☐ Momentos lineales

Nivel significación:
☐ 0.20
☐ 0.10
☒ 0.05
☐ 0.01

Ajuste con momentos ordinarios:
 Como el delta teórico 0.0915, es menor que el delta tabular 0.2667. Los datos se ajustan a la distribución Gumbel, con un nivel de significación del 5%

Archivos y resultados:
 Crear Accesar Excel Reporte

19.07 8/5/2025

Tabla 4.24 HIDROESTA 2 (Log PEARSON TIPO III)

Ajuste de una serie de datos a la distribución log-Pearson tipo III

Ingreso de datos:
Nota: Una vez que digite el dato, presionar ENTER

N°	X
1	66.0
2	73.0
3	74.0
4	77.0
5	82.0
6	83.0
7	85.0
8	87.0
9	88.0
10	92.0
11	92.0
12	94.0
13	95.0
14	95.0

m	X	P(X)	G(Y) Ordinario	G(Y) Mom Lineal	Delta
1	66.0	0.0370	0.0103	0.0040	0.0267
2	73.0	0.0741	0.0708	0.0636	0.0033
3	74.0	0.1111	0.0847	0.0785	0.0265
4	77.0	0.1481	0.1327	0.1310	0.0154
5	82.0	0.1852	0.2287	0.2346	0.0435
6	83.0	0.2222	0.2493	0.2565	0.0270
7	85.0	0.2593	0.2911	0.3005	0.0318
8	87.0	0.2963	0.3331	0.3442	0.0368

Caudal de diseño:
 Caudal (Q): m3/s
 Período de retorno (T): años
 Probabilidad (P): %
 Q=f(T) T=f(Q) P(Q<q) P(Q>q)

Parámetros distribución LogPearson3:
 Momentos ordinarios:
 De posición (μ): 4.0229
 De forma (gamma): 5.8624
 De escala (beta): 0.0967
 Momentos lineales:
 De posición (μ): 4.1155
 De forma (gamma): 3.9707
 De escala (beta): 0.1194

Tipo de ajuste:
☒ Parámetros ordinarios
☐ Momentos lineales

Nivel significación:
☐ 0.20
☐ 0.10
☒ 0.05
☐ 0.01

Ajuste con momentos ordinarios:
 Como el delta teórico 0.06526, es menor que el delta tabular 0.2667. Los datos se ajustan a la distribución Log-Pearson tipo 3, con un nivel de significación del 5%

Archivos y resultados:
 Crear Accesar Excel Reporte

19.12 8/5/2025

Fuente: Software Hidroestar 2.

Tabla 4.25 HIDROESTA 2 (Normal)

Ajuste de una serie de datos a la distribución Normal

Ingreso de datos:
Nota: Una vez que digite el dato, presionar ENTER

N°	X
1	66,0
2	73,0
3	74,0
4	77,0
5	82,0
6	83,0
7	85,0
8	87,0
9	88,0
10	92,0
11	92,0
12	94,0
13	95,0
14	95,0

m	X	P(X)	F(Z) Ordinario	F(Z) Mom Lineal	Delta
1	66,0	0,0370	0,0888	0,0748	0,0518
2	73,0	0,0741	0,1400	0,1241	0,0659
3	74,0	0,1111	0,1487	0,1327	0,0376
4	77,0	0,1481	0,1769	0,1608	0,0288
5	82,0	0,1852	0,2309	0,2158	0,0457
6	83,0	0,2222	0,2427	0,2279	0,0205
7	85,0	0,2593	0,2673	0,2534	0,0080
8	87,0	0,2963	0,2930	0,2803	0,0033

Parámetros de diseño:
Caudal (Q): m³/s
Período de retorno (T): años
Probabilidad (P): %
Q=f(T) | T=f(Q) | P(Q<q) | P(Q>q)

Parámetros distribución normal:
Con momentos ordinarios:
De localización (X_m): 101,2308
De escala (S): 26,134
Con momentos lineales:
Media lineal (X_L): 101,2308
Des. Estandar (S_L): 24,449

Tipo de ajuste:
☒ Parámetros ordinarios
☐ Momentos lineales

Nivel significación:
☐ 0.20
☐ 0.10
☒ 0.05
☐ 0.01

Ajuste con momentos ordinarios:
Como el delta teórico 0,1615, es menor que el delta tabular 0,2667. Los datos se ajustan a la distribución Normal, con un nivel de significación del 5%

Archivos y resultados:
Crear | Accesar | Excel | Reporte

19:22 8/5/2025

Fuente: Software Hidroestar 2.

Una vez ejecutada la verificación por el software Hidroesta 2, las pruebas de ajuste por las tres probabilidades seleccionadas para la presente tesis de grado, se observó que los valores calculados en hidroesta 2, son idénticos que nuestro cálculo, por lo cual así mismo se verificará con el software Hydrognomon.

4.2.6.2 Prueba de Smirnov- Kolmogorov (Hydrognomon)

Hydrognomon es un software de mucha ayuda en la rama de la hidrología actualmente se utiliza para la verificación de homogeneidad entre estaciones, es decir la curva de doble masa y muchas más funciones.

En este caso lo manejaremos para la verificación de los resultados de ajustes de probabilidad ya nombradas anteriormente.

Tabla 4.26 Las 3 probabilidades HYDROGNOMON

24 HRS MAX AASANA	
1999	66,00
2000	73,00
2001	74,00
2002	77,00
2003	82,00
2004	83,00
2005	85,00
2006	87,00
2007	88,00
2008	92,00
2009	92,00
2010	94,00
2011	95,00
2012	95,00
2013	97,00
2014	97,00
2015	101,00
2016	102,00
2017	104,00
2018	110,00
2019	112,00
2020	117,00
2021	134,00
2022	139,00
2023	159,00
2024	177,00

Statistics					
File Edit View Options Forecasts P&C Intervals Parameters MLE Tests					
Distribution functions plots Histogram - Density functions plots Parameter values - Forecasts					
Kolmogorov-Smirnov test for: All data	a=1%	a=5%	a=10%	Attained a	DMax
Normal	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	43,3199%	0,16151
Normal (L-Moments)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	43,4879%	0,16128
LogNormal	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	84,1753%	0,11149
Galton	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	99,0273%	0,07688
Exponential	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	87,9743%	0,10591
Exponential (L-Moments)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	81,1454%	0,11556
Gamma	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	71,0418%	0,12796
Pearson III	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	99,3567%	0,07400
Log Pearson III	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	99,8674%	0,06526
EV1-Max (Gumbel)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	95,3841%	0,09151
EV2-Max	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	99,9364%	0,06206
EV1-Min (Gumbel)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	10,3222%	0,22933
EV3-Min (Weibull)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	32,8550%	0,17673
GEV-Max	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	98,3569%	0,08102
GEV-Min	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	97,9381%	0,08303
Pareto	ACCEPT	ACCEPT	REJECT	7,01466%	0,24441
GEV-Max (L-Moments)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	98,8505%	0,07813
GEV-Min (L-Moments)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	93,1991%	0,09660
EV1-Max (Gumbel, L-Moments)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	94,6890%	0,09326
EV2-Max (L-Moments)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	98,5758%	0,07983
EV1-Min (Gumbel, L-Moments)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	10,6119%	0,22821
EV3-Min (Weibull, L-Moments)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	32,4446%	0,17738
Pareto (L-Moments)	ACCEPT	ACCEPT	REJECT	6,21681%	0,24895
GEV-Max (kappa specified)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	99,9687%	0,05935
GEV-Min (kappa specified)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	23,1606%	0,19413
GEV-Max (kappa specified, L-Moments)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	99,5536%	0,07169
GEV-Min (kappa specified, L-Moments)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	24,5257%	0,19139

Select distributions to display. Use shift and/or ctrl key or drag to select many at once:

- Normal
- LogNormal
- Galton
- Exponential
- Gamma
- PearsonIII
- LogPearsonIII
- Gumbel Max
- EV2-Max
- Gumbel Min
- Weibull
- GEV Max
- GEV Min
- Pareto
- L-Moments Normal
- L-Moments Exponential
- L-Moments EV1-Max
- L-Moments EV2-Max
- L-Moments EV1-Min
- L-Moments EV3-Min
- L-Moments GEV Max
- L-Moments GEV Min
- L-Moments Pareto
- GEV-Max (k spec.)
- GEV-Min (k spec.)
- L-Moments GEV-Max (k spec.)

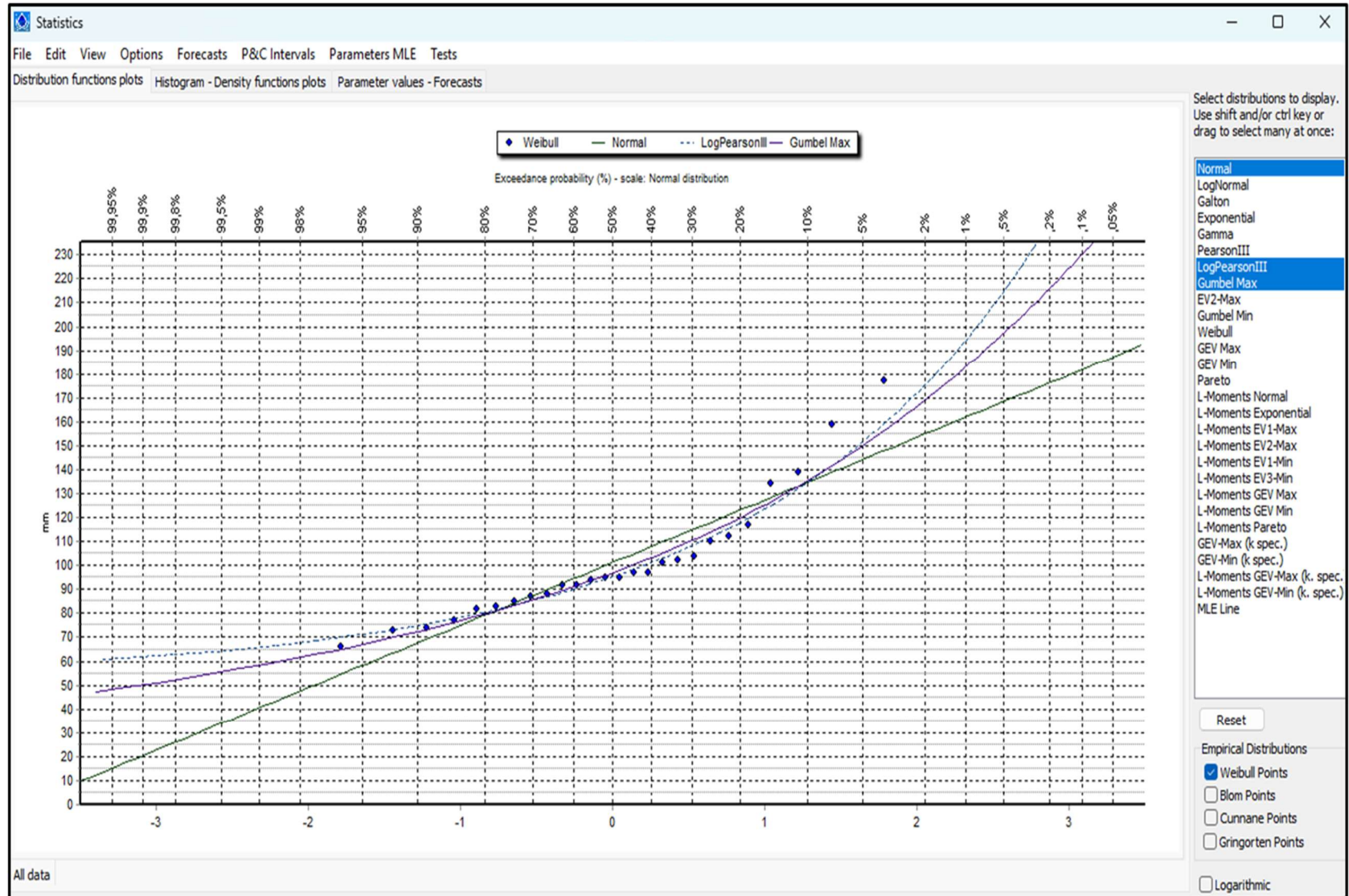
Reset

Empirical Distributions

- ☒ Weibull Points
- ☐ Blom Points
- ☐ Cunnane Points
- ☐ Gringorten Points
- ☐ Logarithmic

Fuente: Hydrognomon (software).

Tabla 4.27 Grafica de probabilidades HYDROGNOMON



Fuente: Hydrognomon (software).

4.2.6.3 Resumen de Prueba de Smirnov- Kolmogorov

Como se puede apreciar la tabla 4.21 pág. 102, se ha comprobado que los resultados se ajustan más a la probabilidad Log Pearson Tipo III, con un 99.87% de probabilidad superando a Gumbel que alcanza a tener un 95, 38% y la distribución Normal con un 43.32 % (ver figura 4.22), pág. 103.

4.2.7 Curvas Intensidad Duración y Frecuencia (IDF).

Para proceder con la determinación de las curvas (IDF), es necesario obtener las precipitaciones máximas 24 horas. De la estación a analizar o de estudio, verificar a que probabilidad de distribución se ajusta más próxima, generalmente se ajusta a una ley Gumbel y Log Pearson tipo III en este caso, la estación meteorológica **AASANA SENAMHI**, Cobija – Pando – Bolivia, se ajustó más a la probabilidad Log Pearson tipo III.

4.2.7.1 Precipitaciones para cada periodo de retorno

Para este cálculo se utiliza la ley de probabilidad con la que más se ajustó las precipitaciones 24 horas máximas, por cual se utilizara la de Log Pearson Tipo III

Tabla 4.28 Distribución log PERSON TIPO III para distintos periodos de retorno

Nº	AÑO	Mes Max. Precip.	PRE CIPITACION (mm)	
			x_i	$\log x_i$
1	2000	Noviembre	176.70	2.247
2	2010	Febrero	158.90	2.201
3	2009	Diciembre	138.80	2.142
4	2006	Febrero	133.90	2.127
5	2004	Febrero	117.00	2.068
6	2001	Marzo	111.70	2.048
7	2015	Enero	110.00	2.041
8	2008	Febrero	104.20	2.018
9	2022	Marzo	101.80	2.008
10	2003	Febrero	100.60	2.003
11	1999	Noviembre	97.20	1.988
12	2018	Noviembre	96.80	1.986
13	2021	Marzo	95.30	1.979
14	2011	Marzo	95.00	1.978
15	2002	Marzo	94.40	1.975
16	2016	Diciembre	91.80	1.963
17	2019	Diciembre	91.50	1.961
18	2007	Marzo	87.50	1.942
19	2013	Marzo	87.40	1.942
20	2014	Octubre	85.20	1.930
21	2020	Diciembre	83.30	1.921
22	2005	Febrero	82.10	1.914
23	2024	Noviembre	77.30	1.888
24	2012	Abril	73.60	1.867
25	2023	Enero	72.90	1.863
26	2017	Marzo	66.10	1.820

Calculo variables Probabilistico		
Media $(\log P)_m$ 1,990 mm Desviacion Estandar $\sigma_{(\log P)}$ 0,113 mm Coficiente de asimetria $C_{s(\log P)}$ 0,505 mm	El valor de x_0 $x_0 = \overline{\log P} - \frac{2\sigma_{(\log P)}}{C_{s(\log P)}}$ $x_0 =$ 1,54	El valor de z $Z = W - \frac{2.515517 + 0.802853W + 0.010328W^2}{1 + 1.432788W + 0.189269W^2 + 0.001308W^3}$ El valor de K_T $K_T = Z + (Z^2 - 1)k + (Z^3 - 3Z) \left(\frac{k^3}{3} \right) - (Z^2 - 1)k^3 + Zk^4 + \frac{k^5}{3}$
El valor de β $\beta = \frac{C_{s(\log P)} \sigma_{(\log P)}}{2}$ $\beta =$ 0,0287	El valor de γ $\gamma = \left(\frac{4}{C_{s(\log P)}} \right)^{\frac{1}{2}}$ $\gamma =$ 15,68	El valor de Y $Y = \overline{\log P} + K_T * \sigma_{(\log P)}$
El valor de k $k = \frac{C_s}{6}$ $k =$ 0,0842	El valor de w $w = \left[\ln \left(\frac{1}{p^2} \right) \right]^{1/2}$	Precipitaciones 24 hora maximas $P_{\text{máx}24h(T)} = 10^Y$

PERIODO DE RETORNO	DATOS				Pmáx24h(T) (mm)
	w	z	k_T	Y	
2	1.177	0.000	-0.135	1.979	95.3656
5	1.794	0.841	0.774	2.072	117.9254
10	2.146	1.282	1.334	2.128	134.3831
25	2.537	1.751	1.998	2.196	156.9380
50	2.797	2.054	2.466	2.243	175.0696
100	3.035	2.327	2.915	2.289	194.3908
500	3.526	2.879	3.904	2.389	244.9221

Fuente: Elaboración propia.

4.2.7.2 Precipitaciones procesadas a duraciones en horas

Las relaciones o cocientes a la lluvia de 24 horas se emplean para duraciones de varias horas. Duración y Frecuencia. Campos A. propone los siguientes cocientes: Fuente: D. F. Campos A.1978.

Tabla 4.29 Duración en horas

Duraciones, en horas									
1	2	3	4	5	6	8	12	18	24
0,30	0,39	0,46	0,52	0,57	0,61	0,68	0,80	0,91	1,00

Fuente: Elaboración propia.

Estos datos serán obtenidos como un porcentaje de los resultados de la precipitación máxima probable para 24 horas, para cada período de retorno, diferentes porcentajes de este valor según los tiempos de duración de lluvia adoptados.

Tabla 4.30 Precipitaciones máximas para diferentes tiempos de duración de lluvias

Tiempo de Duración	Cociente	P.M.P. (mm) para diferentes tiempos de duración Sg. Periodo de Retorno						
		2 años	5 años	10 años	25 años	50 años	100 años	500 años
24 hr	X24 = 91%	95.3656	117.9254	134.3831	156.9380	175.0696	194.3908	244.9221
18 hr	X18 = 80%	88.7827	107.3121	122.2886	142.8136	159.3133	176.8956	222.8791
12 hr	X12 = 68%	76.2924	94.3403	107.5065	125.5504	140.0557	155.5126	195.9377
8 hr	X8 = 61%	64.8486	80.1893	91.3805	106.7178	119.0473	132.1857	166.5470
6 hr	X6 = 57%	58.1730	71.9345	81.9737	95.7322	106.7924	118.5784	149.4025
5 hr	X5 = 52%	54.3584	67.2175	76.5984	89.4547	99.7897	110.8027	139.6056
4 hr	X4 = 46%	49.5901	61.3212	69.8792	81.6078	91.0362	101.0832	127.3595
3 hr	X3 = 39%	43.8682	54.2457	61.8162	72.1915	80.5320	89.4198	112.6642
2 hr	X2 = 30%	37.1926	45.9909	52.4094	61.2058	68.2771	75.8124	95.5196
1 hr	X1 = 30%	28.6097	35.3776	40.3149	47.0814	52.5209	58.3172	73.4766

Fuente: Elaboración propia.

Basándose en los resultados de la anterior tabla, y los tiempos de duración adoptados, calculamos la intensidad equivalente para cada caso, según:

$$I = \frac{P \text{ [mm]}}{t_{\text{duración}} \text{ [hr.]}}$$

Ecuación 32.- Intensidad de precipitación (I=P/t)

Donde:

I = intensidad (mm/hrs).

P = precipitación (mm).

t = duración (hrs).

Tabla 4.31 Intensidades de lluvias para diferentes tiempos de

Tiempo de duracion		Intensidad de la lluvia (mm /hr) según el Periodo de Retorno						
Hr	min	2 años	5 años	10 años	25 años	50 años	100 años	500 años
24 hr	1440	3.9736	4.9136	5.5993	6.5391	7.2946	8.0996	10.2051
18 hr	1080	4.8213	5.9618	6.7938	7.9341	8.8507	9.8275	12.3822
12 hr	720	6.3577	7.8617	8.9589	10.4625	11.6713	12.9594	16.3281
8 hr	480	8.1061	10.0237	11.4226	13.3397	14.8809	16.5232	20.8184
6 hr	360	9.6955	11.9891	13.6623	15.9554	17.7987	19.7631	24.9004
5 hr	300	10.8717	13.4435	15.3197	17.8909	19.9579	22.1605	27.9211
4 hr	240	12.3975	15.3303	17.4698	20.4019	22.7590	25.2708	31.8399
3 hr	180	14.6227	18.0819	20.6054	24.0638	26.8440	29.8066	37.5547
2 hr	120	18.5963	22.9955	26.2047	30.6029	34.1386	37.9062	47.7598
1 hr	60	28.6097	35.3776	40.3149	47.0814	52.5209	58.3172	73.4766

Fuente: Elaboración propia.

4.2.7.3 Regresiones de intensidad duración periodo de retorno

La representación matemática de las curvas Intensidad - Duración - Período de retorno, Sg. Bernard es:

$$I = \frac{K \cdot T^m}{t^n}$$

Donde:

I = intensidad (mm/hrs).

T = duración de la lluvia hrs

t = periodo de retorno (años)

K, m, n = parámetros de ajuste

Realizando un cambio de variable:

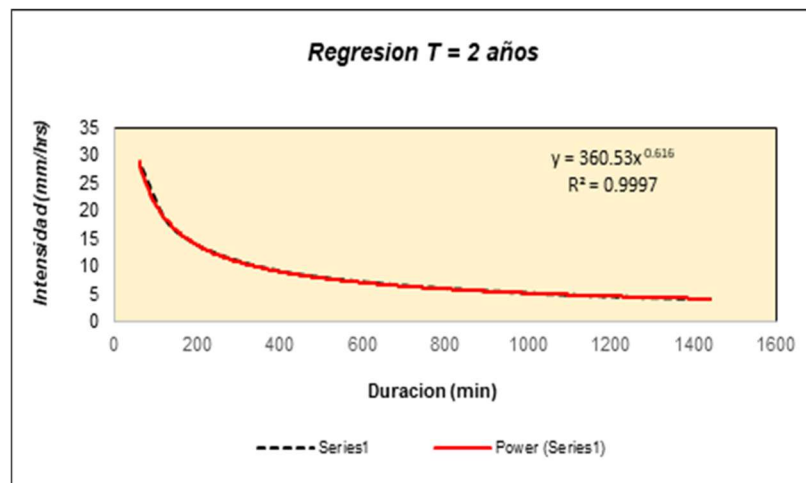
$$d = K \cdot T^m$$

Con lo que de la anterior expresión se obtiene:

$$I = \frac{d}{t^n} \Rightarrow I = d \cdot t^{-n}$$

Tabla 4.32 Registros para cada periodo de retorno registros

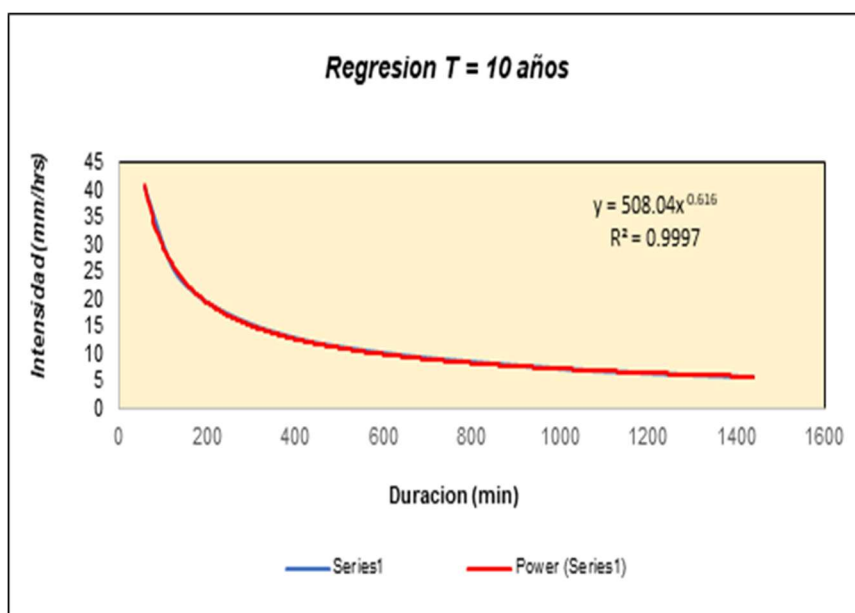
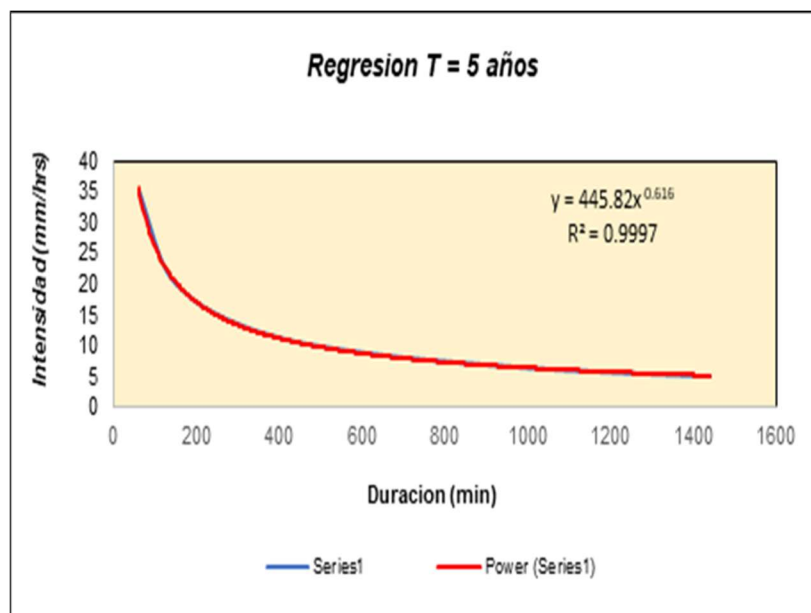
Periodo de retorno para T = 2 años						
N	X (min)	Y (INT)	ln (x)	ln (y)	ln x*ln y	(lnx) ²
1	1440	3.9736	7.2724	1.3797	10.0335	52.8878
2	1080	4.8213	6.9847	1.5730	10.9872	48.7863
3	720	6.3577	6.5793	1.8497	12.1694	43.2865
4	480	8.1061	6.1738	2.0926	12.9193	38.1156
5	360	9.6955	5.8861	2.2717	13.3712	34.6462
6	300	10.8717	5.7038	2.3862	13.6101	32.5331
7	240	12.3975	5.4806	2.5175	13.7975	30.0374
8	180	14.6227	5.1930	2.6826	13.9305	26.9668
9	120	18.5963	4.7875	2.9230	13.9937	22.9201
10	60	28.6097	4.0943	3.3537	13.7314	16.7637
10	4980	118.0520	58.1555	23.0296	128.5439	346.9435
Ln (d) =	5.8876	d =	360.5319	n =	-0.6164	



Fuente: Elaboración propia.

Periodo de retorno para T = 5 años						
N	X (min)	Y (INT)	ln (x)	ln (y)	ln x*ln y	(lnx) ²
1	1440	4.9136	7.2724	1.5920	11.5776	52.8878
2	1080	5.9618	6.9847	1.7854	12.4703	48.7863
3	720	7.8617	6.5793	2.0620	13.5664	43.2865
4	480	10.0237	6.1738	2.3049	14.2303	38.1156
5	360	11.9891	5.8861	2.4840	14.6211	34.6462
6	300	13.4435	5.7038	2.5985	14.8213	32.5331
7	240	15.3303	5.4806	2.7298	14.9612	30.0374
8	180	18.0819	5.1930	2.8949	15.0331	26.9668
9	120	22.9955	4.7875	3.1353	15.0102	22.9201
10	60	35.3776	4.0943	3.5661	14.6008	16.7637
10	4980	145.9786	58.1555	25.1529	140.8923	346.9435
Ln (d) =	6.0999	d =	445.8200	n =	-0.6164	

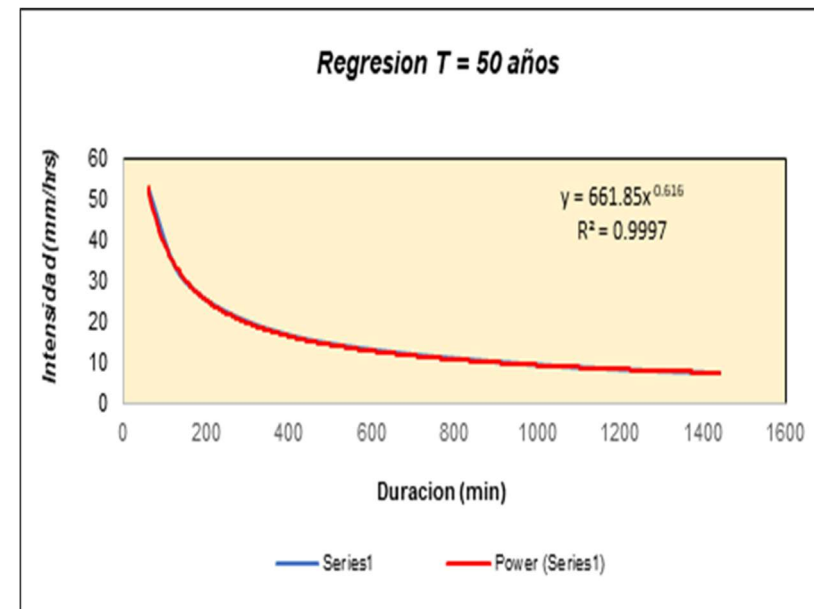
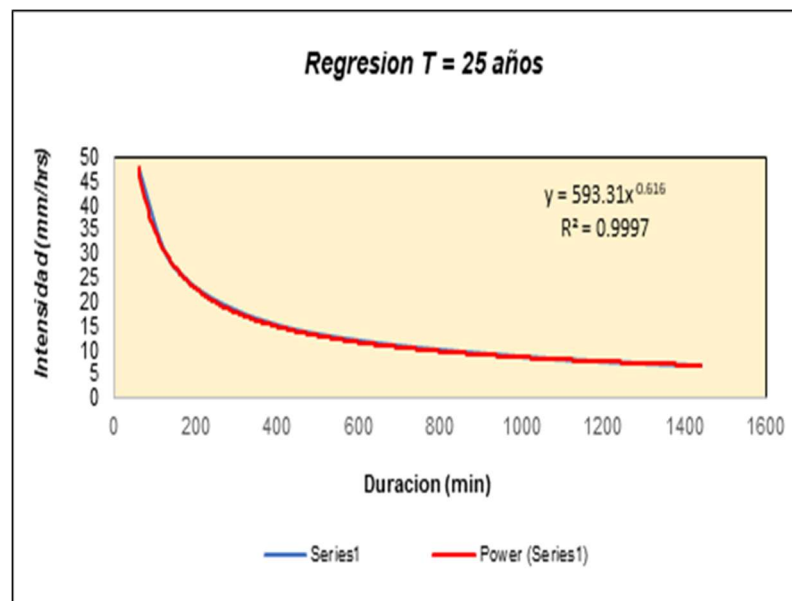
Periodo de retorno para T = 10 años						
N	X (min)	Y (INT)	ln (x)	ln (y)	ln x*ln y	(lnx) ²
1	1440	5.5993	7.2724	1.7226	12.5277	52.8878
2	1080	6.7938	6.9847	1.9160	13.3828	48.7863
3	720	8.9589	6.5793	2.1926	14.4260	43.2865
4	480	11.4226	6.1738	2.4356	15.0368	38.1156
5	360	13.6623	5.8861	2.6146	15.3900	34.6462
6	300	15.3197	5.7038	2.7291	15.5664	32.5331
7	240	17.4698	5.4806	2.8605	15.6772	30.0374
8	180	20.6054	5.1930	3.0256	15.7116	26.9668
9	120	26.2047	4.7875	3.2659	15.6357	22.9201
10	60	40.3149	4.0943	3.6967	15.1357	16.7637
10	4980	166.3514	58.1555	26.4594	148.4899	346.9435
Ln (d) =	6.2306	d =	508.0388	n =	-0.6164	



Fuente: Elaboración propia.

Periodo de retorno para T = 25 años						
N	X (min)	Y (INT)	ln (x)	ln (y)	ln x*ln y	(lnx) ²
1	1440	6.5391	7.2724	1.8778	13.6561	52.8878
2	1080	7.9341	6.9847	2.0712	14.4665	48.7863
3	720	10.4625	6.5793	2.3478	15.4468	43.2865
4	480	13.3397	6.1738	2.5907	15.9947	38.1156
5	360	15.9554	5.8861	2.7698	16.3033	34.6462
6	300	17.8909	5.7038	2.8843	16.4514	32.5331
7	240	20.4019	5.4806	3.0156	16.5276	30.0374
8	180	24.0638	5.1930	3.1807	16.5173	26.9668
9	120	30.6029	4.7875	3.4211	16.3785	22.9201
10	60	47.0814	4.0943	3.8519	15.7709	16.7637
10	4980	194.2718	58.1555	28.0109	157.5130	346.9435
Ln (d) =	6.3857	d =	593.3081	n =	-0.6164	

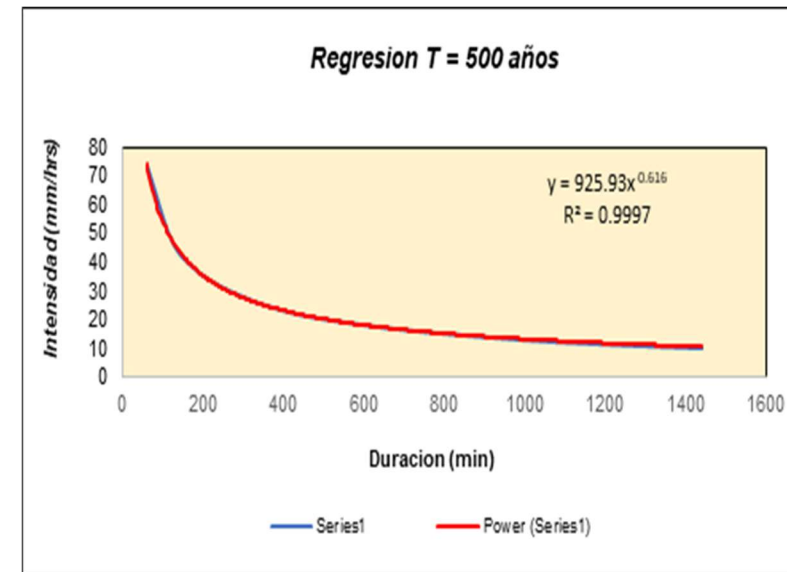
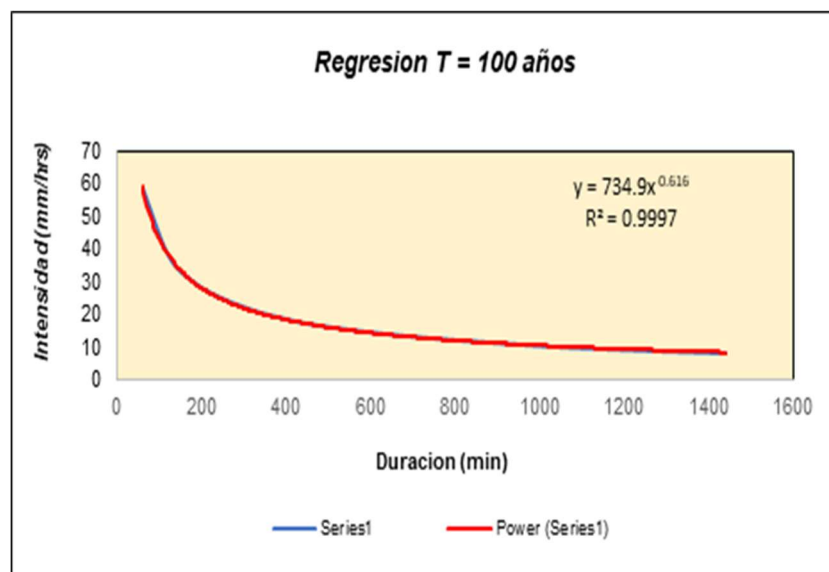
Periodo de retorno para T = 50 años						
N	X (min)	Y (INT)	ln (x)	ln (y)	ln x*ln y	(lnx) ²
1	1440	7.2946	7.2724	1.9871	14.4512	52.8878
2	1080	8.8507	6.9847	2.1805	15.2302	48.7863
3	720	11.6713	6.5793	2.4571	16.1661	43.2865
4	480	14.8809	6.1738	2.7001	16.6697	38.1156
5	360	17.7987	5.8861	2.8791	16.9468	34.6462
6	300	19.9579	5.7038	2.9936	17.0750	32.5331
7	240	22.7590	5.4806	3.1250	17.1268	30.0374
8	180	26.8440	5.1930	3.2900	17.0850	26.9668
9	120	34.1386	4.7875	3.5304	16.9019	22.9201
10	60	52.5209	4.0943	3.9612	16.2186	16.7637
10	4980	216.7167	58.1555	29.1042	163.8713	346.9435
Ln (d) =	6.4950	d =	661.8550	n =	-0.6164	



Fuente: Elaboración propia.

Periodo de retorno para T = 100 años						
N	X (min)	Y (INT)	ln (x)	ln (y)	ln x*ln y	(lnx) ²
1	1440	8.0996	7.2724	2.0918	15.2125	52.8878
2	1080	9.8275	6.9847	2.2852	15.9614	48.7863
3	720	12.9594	6.5793	2.5618	16.8549	43.2865
4	480	16.5232	6.1738	2.8048	17.3160	38.1156
5	360	19.7631	5.8861	2.9838	17.5630	34.6462
6	300	22.1605	5.7038	3.0983	17.6721	32.5331
7	240	25.2708	5.4806	3.2296	17.7005	30.0374
8	180	29.8066	5.1930	3.3947	17.6287	26.9668
9	120	37.9062	4.7875	3.6351	17.4031	22.9201
10	60	58.3172	4.0943	4.0659	16.6472	16.7637
10	4980	240.6342	58.1555	30.1511	169.9594	346.9435
Ln (d) =	6.5997	d =	734.8993	n =	-0.6164	

Periodo de retorno para T = 500 años						
N	X (min)	Y (INT)	ln (x)	ln (y)	ln x*ln y	(lnx) ²
1	1440	10.2051	7.2724	2.3229	16.8930	52.8878
2	1080	12.3822	6.9847	2.5163	17.5753	48.7863
3	720	16.3281	6.5793	2.7929	18.3751	43.2865
4	480	20.8184	6.1738	3.0358	18.7426	38.1156
5	360	24.9004	5.8861	3.2149	18.9231	34.6462
6	300	27.9211	5.7038	3.3294	18.9901	32.5331
7	240	31.8399	5.4806	3.4607	18.9670	30.0374
8	180	37.5547	5.1930	3.6258	18.8286	26.9668
9	120	47.7598	4.7875	3.8662	18.5093	22.9201
10	60	73.4766	4.0943	4.2970	17.5933	16.7637
10	4980	303.1864	58.1555	32.4618	183.3974	346.9435
Ln (d) =	6.8308	d =	925.9342	n =	-0.6164	



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.33 Coeficiente de regresión potencial

Periodo de Retorno (años)	Termino Ctte. De regresion (d)	Coef. De Regresion (n)
2	360.5319	-0.6164
5	445.8200	-0.6164
10	508.0388	-0.6164
25	593.3081	-0.6164
50	661.8550	-0.6164
100	734.8993	-0.6164
500	925.9342	-0.6164
Promedio	604.3410	-0.6164

Fuente: Elaboración propia.

En función del cambio de variable que se obtuvo, se realiza otra regresión de potencia entre las columnas del periodo de retorno (T) y el término constante de regresión (d), para obtener valores de la ecuación:

$$d = K \cdot T^m$$

Tabla 4.34 Regresión potencial

Regresion Potencial						
N°	X (min)	Y (INT)	ln (x)	ln (y)	ln x*ln y	(lnx) ²
1	2	360.5319	0.6931	5.8876	4.0810	0.4805
2	5	445.8200	1.6094	6.0999	9.8174	2.5903
3	10	508.0388	2.3026	6.2306	14.3464	5.3019
4	25	593.3081	3.2189	6.3857	20.5548	10.3612
5	50	661.8550	3.9120	6.4950	25.4088	15.3039
6	100	734.8993	4.6052	6.5997	30.3929	21.2076
7	500	925.9342	6.2146	6.8308	42.4508	38.6214
7	692	4230.3872	22.5558	44.5294	147.0520	93.8667
Ln (K) =	5.8189	K =	336.5860	m =	0.1684	

Fuente: Elaboración propia.

Termino constante de regresión (K) = 336.5860

Coef. de regresión (m) = 0.168354

4.2.7.4 Curva Intensidad Duración y Frecuencia (IDF)

$$I = \frac{K * T^{*coef. regresion}}{t^{*proemdio del coef. regresion (n)*-1}}$$

Ecuación 33.-Curva (IDF)

$$I = \frac{336.5860 * T^{0.1664090.168354}}{t^{0.61639}}$$

Donde:

I = intensidad (mm/hrs).

T = duración de la lluvia hrs

t = periodo de retorno (años)

Tabla 4.35 Curva de intensidad duración y frecuencia

Tabla de intensidades - Tiempo de duración							
Duración en minutos	Frecuencia años						
	2	5	10	25	50	100	500
5	140.26	163.66	183.91	214.59	241.15	271.00	355.34
10	91.49	106.75	119.97	139.98	157.30	176.77	231.79
15	71.26	83.15	93.44	109.02	122.52	137.68	180.53
20	59.68	69.64	78.26	91.31	102.61	115.31	151.20
25	52.01	60.69	68.20	79.57	89.42	100.49	131.77
30	46.48	54.24	60.95	71.12	79.92	89.81	117.76
35	42.27	49.32	55.43	64.67	72.67	81.67	107.09
40	38.93	45.42	51.05	59.56	66.93	75.22	98.63
45	36.20	42.24	47.47	55.39	62.25	69.95	91.72
50	33.93	39.59	44.49	51.91	58.33	65.55	85.95
55	31.99	37.33	41.95	48.95	55.00	61.81	81.05
60	30.32	35.38	39.76	46.39	52.13	58.58	76.82
65	28.86	33.68	37.84	44.16	49.62	55.76	73.12
70	27.57	32.17	36.15	42.18	47.41	53.27	69.85
75	26.42	30.83	34.65	40.43	45.43	51.05	66.94
80	25.39	29.63	33.30	38.85	43.66	49.06	64.33
85	24.46	28.54	32.08	37.43	42.06	47.26	61.97
90	23.62	27.56	30.97	36.13	40.60	45.63	59.83
95	22.84	26.65	29.95	34.95	39.27	44.13	57.87
100	22.13	25.82	29.02	33.86	38.05	42.76	56.07
105	21.48	25.06	28.16	32.86	36.92	41.49	54.41
110	20.87	24.35	27.36	31.93	35.88	40.32	52.87
115	20.30	23.69	26.62	31.06	34.91	39.23	51.44
120	19.78	23.08	25.93	30.26	34.01	38.21	50.11
125	19.29	22.50	25.29	29.51	33.16	37.26	48.86
130	18.83	21.97	24.69	28.80	32.37	36.37	47.70
135	18.39	21.46	24.12	28.14	31.62	35.54	46.60
140	17.99	20.99	23.58	27.52	30.92	34.75	45.57
145	17.60	20.54	23.08	26.93	30.26	34.01	44.59
150	17.24	20.11	22.60	26.37	29.64	33.30	43.67
155	16.89	19.71	22.15	25.84	29.04	32.64	42.79
160	16.56	19.33	21.72	25.34	28.48	32.00	41.97
165	16.25	18.96	21.31	24.87	27.94	31.40	41.18
170	15.96	18.62	20.92	24.41	27.44	30.83	40.43
175	15.67	18.29	20.55	23.98	26.95	30.28	39.71
180	15.40	17.97	20.20	23.57	26.49	29.76	39.03

Fuente: Elaboración propia.

Figura 4.37 hietograma de curva de intensidad duración y frecuencia (IDF)

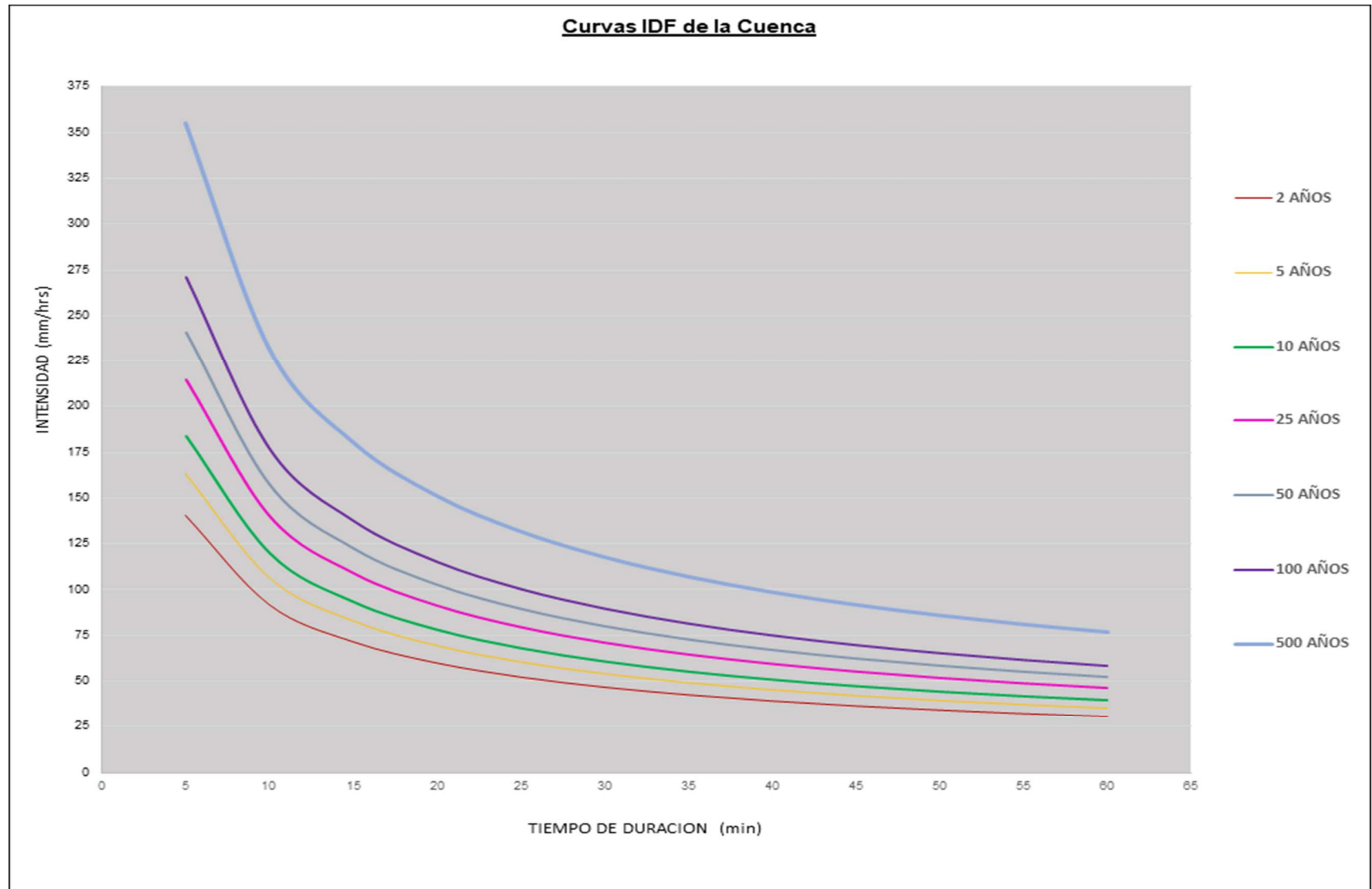
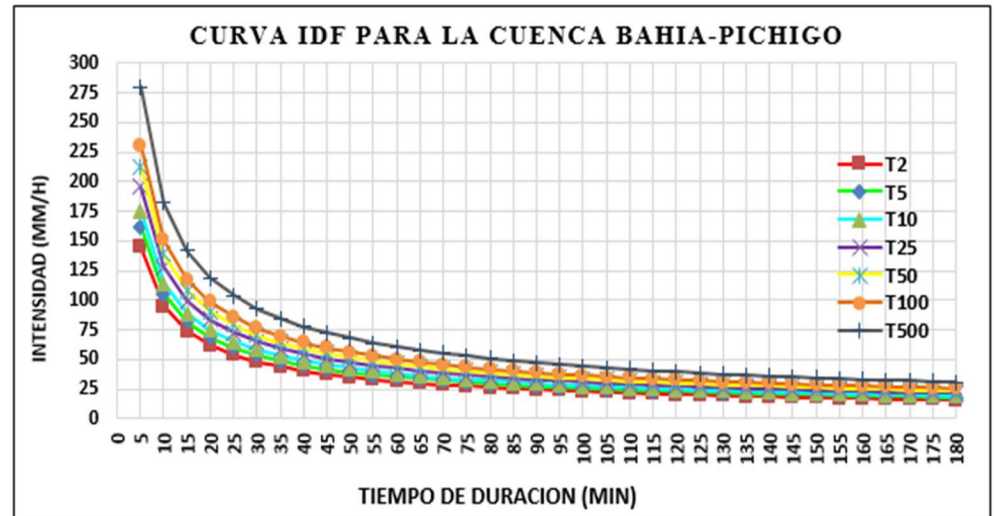


Figura 4.38 hietograma de curva de intensidad duración y frecuencia (IDF) arroyo Bahía

Valores de Intensidad de precipitación según Duración de la misma y Frecuencia de repetición							
Duración (minutos)	Periodo de retorno (años)						
	2	5	10	25	50	100	500
5	145.10	161.80	175.71	195.94	212.78	231.07	279.82
10	94.65	105.55	114.62	127.81	138.80	150.73	182.53
15	73.72	82.21	89.27	99.55	108.10	117.40	142.16
20	61.74	68.85	74.76	83.37	90.54	98.32	119.06
25	53.81	60.00	65.16	72.66	78.90	85.69	103.76
30	48.09	53.62	58.23	64.94	70.52	76.58	92.73
35	43.73	48.76	52.95	59.05	64.13	69.64	84.33
40	40.27	44.91	48.77	54.38	59.06	64.13	77.67
45	37.45	41.76	45.35	50.58	54.92	59.64	72.23
50	35.10	39.14	42.50	47.40	51.47	55.89	67.69
55	33.09	36.91	40.08	44.69	48.53	52.70	63.82
60	31.37	34.98	37.98	42.36	46.00	49.95	60.49
65	29.86	33.29	36.16	40.32	43.78	47.55	57.58
70	28.52	31.81	34.54	38.52	41.83	45.42	55.01
75	27.34	30.48	33.10	36.92	40.09	43.53	52.72
80	26.27	29.29	31.81	35.48	38.52	41.83	50.66
85	25.31	28.22	30.65	34.17	37.11	40.30	48.80
90	24.43	27.24	29.58	32.99	35.83	38.91	47.11
95	23.63	26.35	28.61	31.91	34.65	37.63	45.57
100	22.89	25.53	27.72	30.92	33.57	36.46	44.15
105	22.22	24.77	26.90	30.00	32.58	35.38	42.84
110	21.59	24.07	26.14	29.15	31.66	34.38	41.63
115	21.00	23.42	25.44	28.36	30.80	33.45	40.51
120	20.46	22.82	24.78	27.63	30.00	32.58	39.46
125	19.95	22.25	24.16	26.94	29.26	31.77	38.48
130	19.48	21.72	23.58	26.30	28.56	31.01	37.56
135	19.03	21.22	23.04	25.70	27.90	30.30	36.69
140	18.61	20.75	22.53	25.13	27.29	29.63	35.88
145	18.21	20.30	22.05	24.59	26.70	29.00	35.11
150	17.83	19.88	21.59	24.08	26.15	28.40	34.39
155	17.47	19.49	21.16	23.60	25.63	27.83	33.70
160	17.14	19.11	20.75	23.14	25.13	27.29	33.05
165	16.81	18.75	20.36	22.71	24.66	26.78	32.43
170	16.51	18.41	19.99	22.29	24.21	26.29	31.83
175	16.21	18.08	19.64	21.90	23.78	25.82	31.27
180	15.94	17.77	19.30	21.52	23.37	25.38	30.73

$$I = \frac{360.3202 * T^{0.118944}}{t^{0.61639}}$$



Fuente: modelo hidrológico e hidráulico en la subcuenca del arroyo Bahía

La conclusión clave sobre la variación entre ambas ecuaciones se resume de la siguiente manera:

La diferencia se debe fundamentalmente a la **actualización y extensión de la serie histórica de precipitaciones**, la cual pasó de 20 años (1999–2018) en estudios previos a **26 años (1999–2024)** en la presente tesis de grado.

El factor determinante que las hace diferentes es la **sensibilidad a los eventos extremos: Mayor Exponente (T)**: Tu ecuación tiene un exponente de periodo de retorno más alto (0.166409 vs 0.118944), lo que significa que, al incluir los datos de los últimos 6 años, el modelo detecta que las tormentas extremas son ahora más intensas.

Seguridad en el Diseño: Esto hace que tu modelo sea **técnicamente más robusto y seguro** para el diseño de obras de ingeniería civil, ya que proyecta intensidades de lluvia mayores para proteger la infraestructura contra inundaciones extremas, en comparación con el modelo anterior de Bahía-Pichigo.

En resumen, la variación existe porque tu estudio **captura la variabilidad climática más reciente** de Cobija, lo que ajusta los coeficientes para reflejar una realidad hidrológica con lluvias más severas.

4.3 AFOROS EN EL ARROYO BAJO VIRTUDES

Se realizaron aforos durante 9 meses, para conocer cómo se comporta el arroyo y cuáles son sus caudales de aporte que pasan por el punto de aforo, de una sección dada. Se calculó el caudal con los dos métodos minimolinet M1 y flotador

Tabla 4.36 Resumen de aforo del mes enero 2025

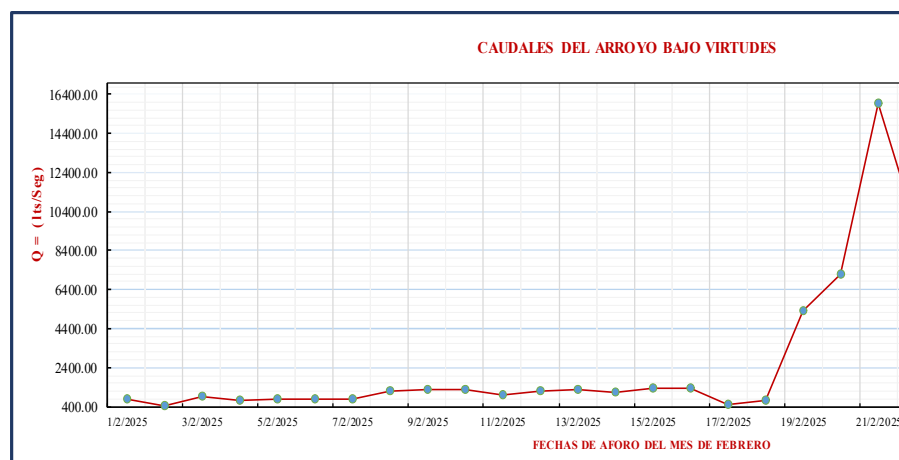
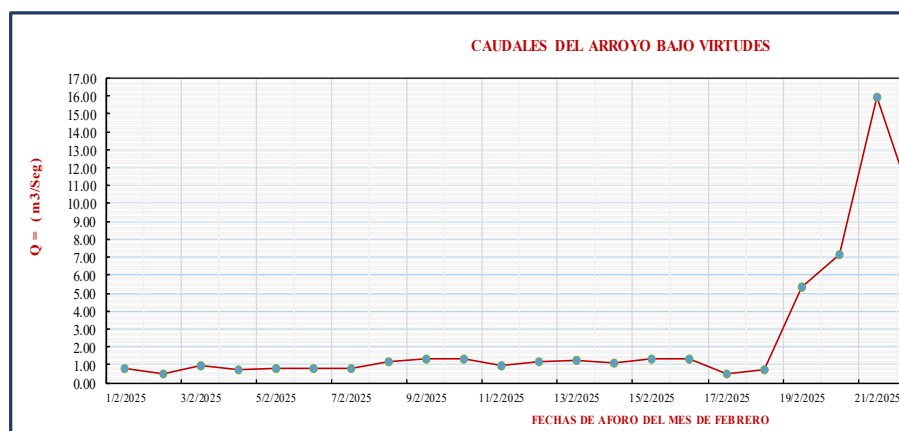
#	Fechas	CAUDAL TOTAL <i>m³/seg</i>	CAUDAL TOTAL <i>lts/seg</i>
1	1/1/2025	0.252	252
2	2/1/2025	0.414	414
3	3/1/2025	0.576	576
4	4/1/2025	0.703	703
5	5/1/2025	0.829	829
6	6/1/2025	0.683	683
7	7/1/2025	0.537	537
8	8/1/2025	0.565	565
9	9/1/2025	0.593	593
10	10/1/2025	0.446	446
11	11/1/2025	0.299	299
12	12/1/2025	0.280	280
13	13/1/2025	0.261	261
14	14/1/2025	1.489	1489
15	15/1/2025	2.716	2716
16	16/1/2025	1.768	1768
17	17/1/2025	0.819	819
18	18/1/2025	0.730	730
19	19/1/2025	0.640	640
20	20/1/2025	0.819	819
21	21/1/2025	0.997	997
22	22/1/2025	0.486	486
23	23/1/2025	0.630	630
24	24/1/2025	0.535	535
25	25/1/2025	0.688	688
26	26/1/2025	1.698	1698
27	27/1/2025	0.595	595
28	28/1/2025	0.535	535
29	29/1/2025	0.304	304
30	30/1/2025	0.405	405
31	31/1/2025	0.308	308



Fuente: Elaboración propia

Tabla 4.37 Resumen de aforo del mes de febrero 2025

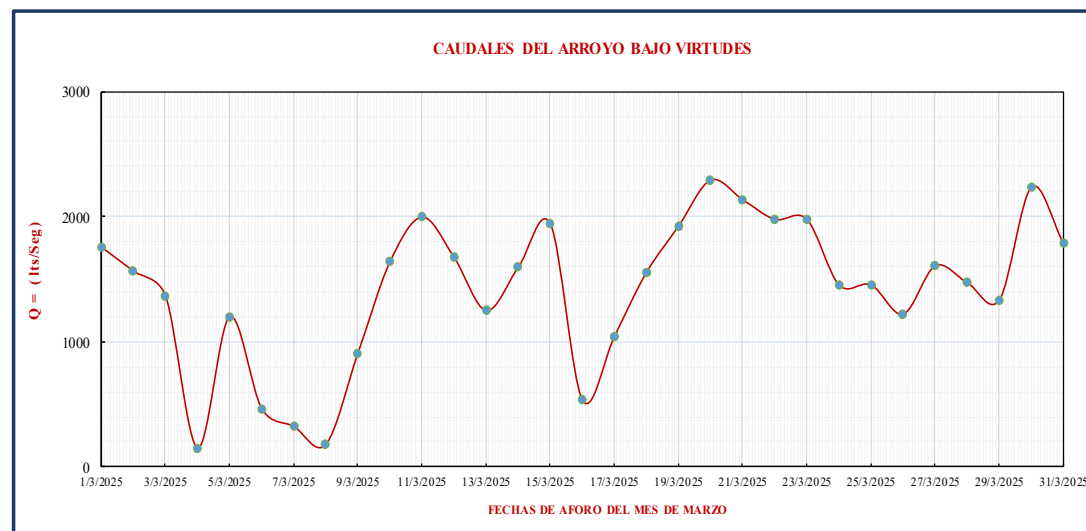
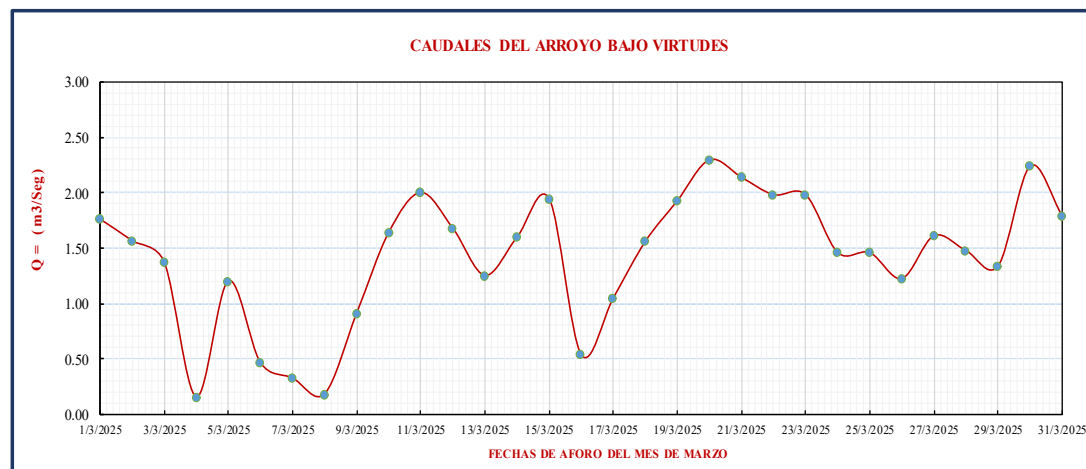
#	Fechas	CAUDAL TOTAL m ³ /seg	CAUDAL TOTAL lts/seg
1	1/2/2025	0.784	784
2	2/2/2025	0.461	461
3	3/2/2025	0.941	941
4	4/2/2025	0.729	729
5	5/2/2025	0.818	818
6	6/2/2025	0.812	812
7	7/2/2025	0.786	786
8	8/2/2025	1.185	1185
9	9/2/2025	1.298	1298
10	10/2/2025	1.302	1302
11	11/2/2025	0.987	987
12	12/2/2025	1.196	1196
13	13/2/2025	1.272	1272
14	14/2/2025	1.130	1130
15	15/2/2025	1.361	1361
16	16/2/2025	1.317	1317
17	17/2/2025	0.530	530
18	18/2/2025	0.745	745
19	19/2/2025	5.312	5312
20	20/2/2025	7.196	7196
21	21/2/2025	15.944	15944
22	22/2/2025	9.697	9697
23	23/2/2025	2.337	2337
24	24/2/2025	1.432	1432
25	25/2/2025	2.088	2088
26	26/2/2025	1.952	1952
27	27/2/2025	1.760	1760
28	28/2/2025	2.088	2088



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.38 Resumen de aforo del mes de marzo 2025

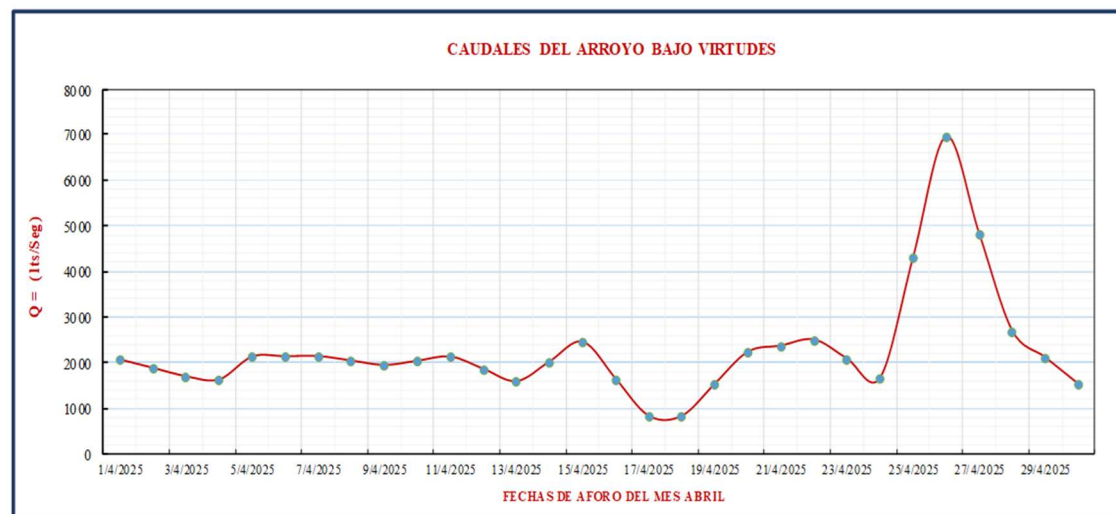
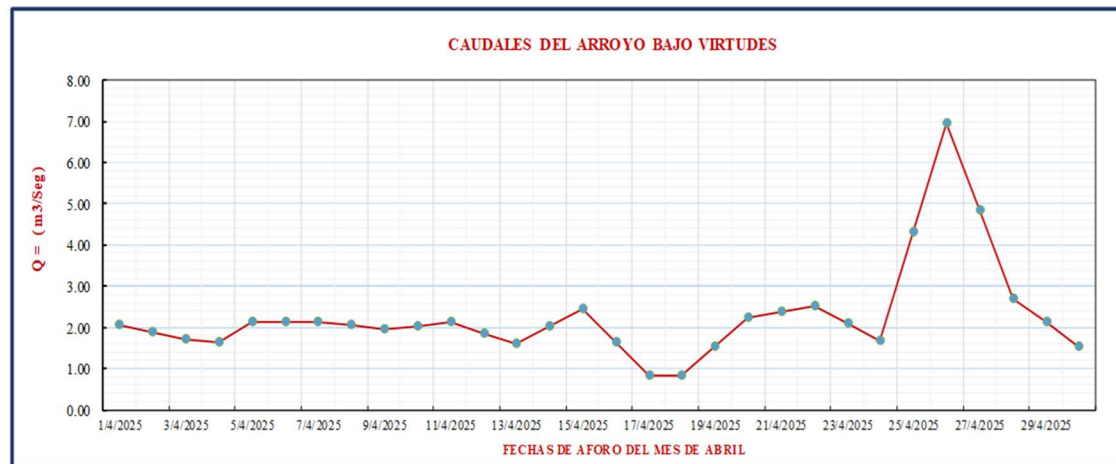
#	Fechas	CAUDAL TOTAL <i>m³/seg</i>	CAUDAL TOTAL <i>lts/seg</i>
1	1/3/2025	1.761	1761
2	2/3/2025	1.565	1565
3	3/3/2025	1.369	1369
4	4/3/2025	0.152	152
5	5/3/2025	1.202	1202
6	6/3/2025	0.466	466
7	7/3/2025	0.324	324
8	8/3/2025	0.181	181
9	9/3/2025	0.911	911
10	10/3/2025	1.640	1640
11	11/3/2025	2.000	2000
12	12/3/2025	1.676	1676
13	13/3/2025	1.251	1251
14	14/3/2025	1.597	1597
15	15/3/2025	1.943	1943
16	16/3/2025	0.535	535
17	17/3/2025	1.047	1047
18	18/3/2025	1.558	1558
19	19/3/2025	1.927	1927
20	20/3/2025	2.295	2295
21	21/3/2025	2.138	2138
22	22/3/2025	1.981	1981
23	23/3/2025	1.981	1981
24	24/3/2025	1.457	1457
25	25/3/2025	1.457	1457
26	26/3/2025	1.223	1223
27	27/3/2025	1.609	1609
28	28/3/2025	1.474	1474
29	29/3/2025	1.338	1338
30	30/3/2025	2.240	2240
31	31/3/2025	1.789	1789



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.39 Resumen de aforo del mes de abril 2025

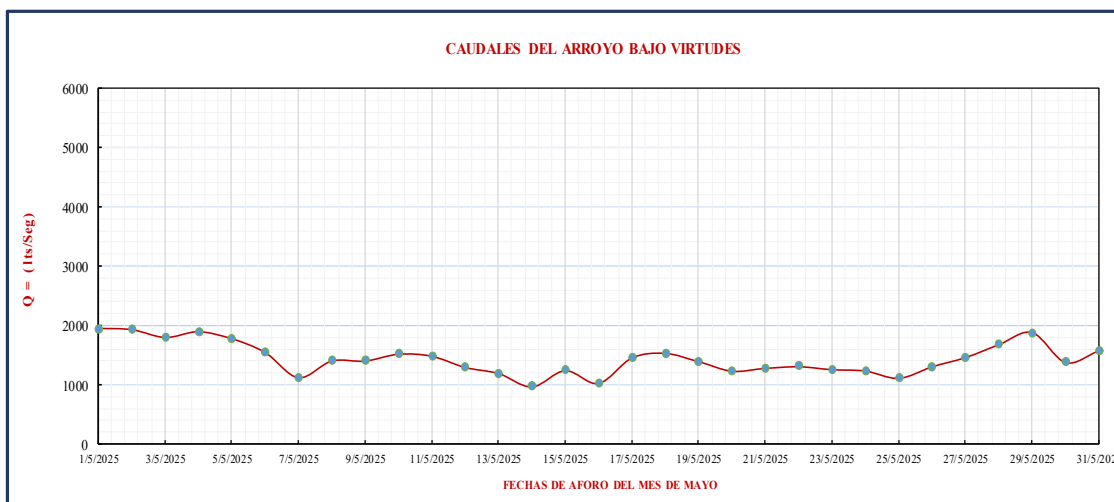
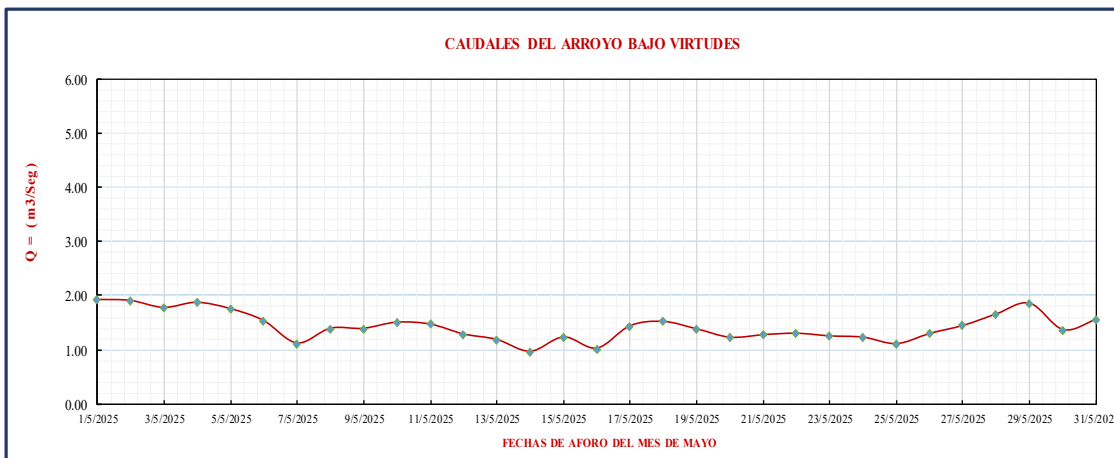
#	Fechas	CAUDAL TOTAL <i>m³/seg</i>	CAUDAL TOTAL <i>lts/seg</i>
1	1/4/2025	2.065	2065
2	2/4/2025	1.882	1882
3	3/4/2025	1.699	1699
4	4/4/2025	1.629	1629
5	5/4/2025	2.130	2130
6	6/4/2025	2.135	2135
7	7/4/2025	2.140	2140
8	8/4/2025	2.043	2043
9	9/4/2025	1.946	1946
10	10/4/2025	2.038	2038
11	11/4/2025	2.130	2130
12	12/4/2025	1.861	1861
13	13/4/2025	1.591	1591
14	14/4/2025	2.024	2024
15	15/4/2025	2.456	2456
16	16/4/2025	1.645	1645
17	17/4/2025	0.833	833
18	18/4/2025	0.833	833
19	19/4/2025	1.535	1535
20	20/4/2025	2.237	2237
21	21/4/2025	2.371	2371
22	22/4/2025	2.504	2504
23	23/4/2025	2.086	2086
24	24/4/2025	1.667	1667
25	25/4/2025	4.311	4311
26	26/4/2025	6.954	6954
27	27/4/2025	4.825	4825
28	28/4/2025	2.696	2696
29	29/4/2025	2.114	2114
30	30/4/2025	1.531	1531



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.40 Resumen de aforo del mes de mayo 2025

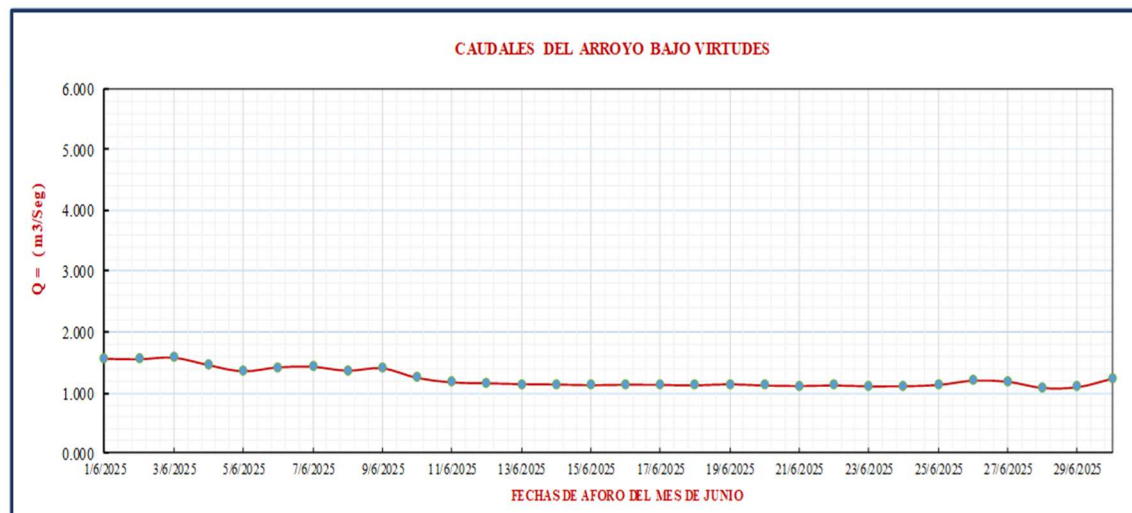
#	Fechas	CAUDAL TOTAL m^3/seg	CAUDAL TOTAL lts/seg
1	1/5/2025	1.939	1939
2	2/5/2025	1.920	1920
3	3/5/2025	1.789	1789
4	4/5/2025	1.885	1885
5	5/5/2025	1.768	1768
6	6/5/2025	1.542	1542
7	7/5/2025	1.123	1123
8	8/5/2025	1.400	1400
9	9/5/2025	1.398	1398
10	10/5/2025	1.513	1513
11	11/5/2025	1.478	1478
12	12/5/2025	1.291	1291
13	13/5/2025	1.191	1191
14	14/5/2025	0.970	970
15	15/5/2025	1.239	1239
16	16/5/2025	1.027	1027
17	17/5/2025	1.450	1450
18	18/5/2025	1.528	1528
19	19/5/2025	1.389	1389
20	20/5/2025	1.232	1232
21	21/5/2025	1.278	1278
22	22/5/2025	1.306	1306
23	23/5/2025	1.257	1257
24	24/5/2025	1.234	1234
25	25/5/2025	1.112	1112
26	26/5/2025	1.303	1303
27	27/5/2025	1.456	1456
28	28/5/2025	1.670	1670
29	29/5/2025	1.870	1870
30	30/5/2025	1.374	1374
31	31/5/2025	1.567	1567



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.41 Resumen de aforo del mes de junio 2025

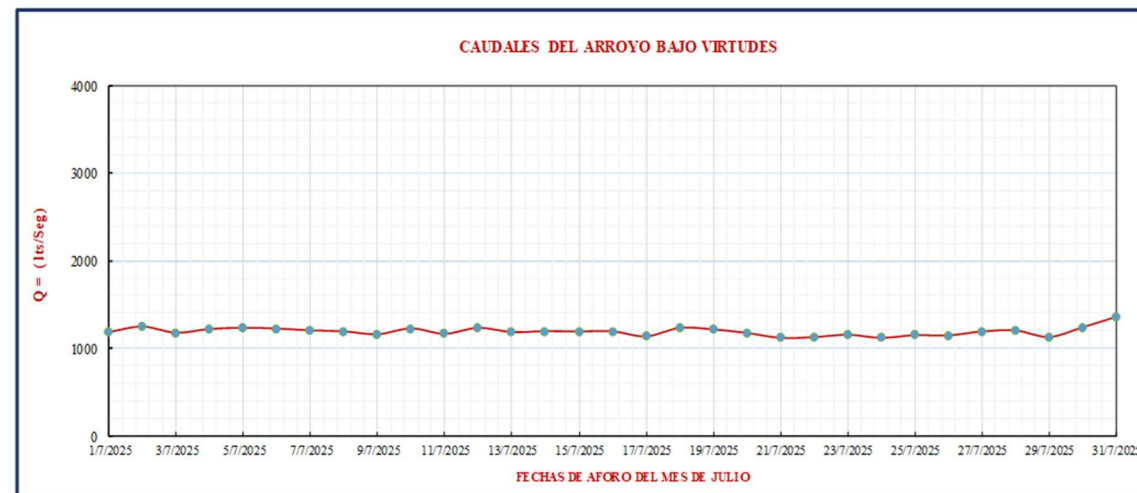
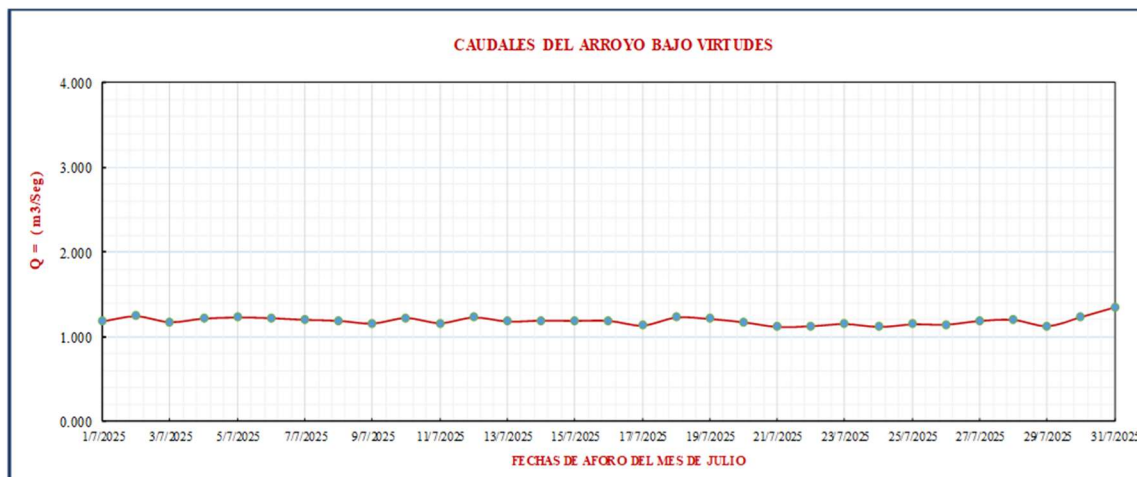
#	Fechas	CAUDAL TOTAL <i>m³/seg</i>	CAUDAL TOTAL <i>lts/seg</i>
1	1/6/2025	1.571	1571
2	2/6/2025	1.562	1562
3	3/6/2025	1.590	1590
4	4/6/2025	1.468	1468
5	5/6/2025	1.364	1364
6	6/6/2025	1.430	1430
7	7/6/2025	1.440	1440
8	8/6/2025	1.374	1374
9	9/6/2025	1.415	1415
10	10/6/2025	1.257	1257
11	11/6/2025	1.182	1182
12	12/6/2025	1.168	1168
13	13/6/2025	1.154	1154
14	14/6/2025	1.147	1147
15	15/6/2025	1.137	1137
16	16/6/2025	1.145	1145
17	17/6/2025	1.143	1143
18	18/6/2025	1.133	1133
19	19/6/2025	1.153	1153
20	20/6/2025	1.130	1130
21	21/6/2025	1.122	1122
22	22/6/2025	1.132	1132
23	23/6/2025	1.117	1117
24	24/6/2025	1.119	1119
25	25/6/2025	1.141	1141
26	26/6/2025	1.212	1212
27	27/6/2025	1.193	1193
28	28/6/2025	1.089	1089
29	29/6/2025	1.104	1104
30	30/6/2025	1.245	1245



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.42 Resumen de aforo del mes de julio 2025

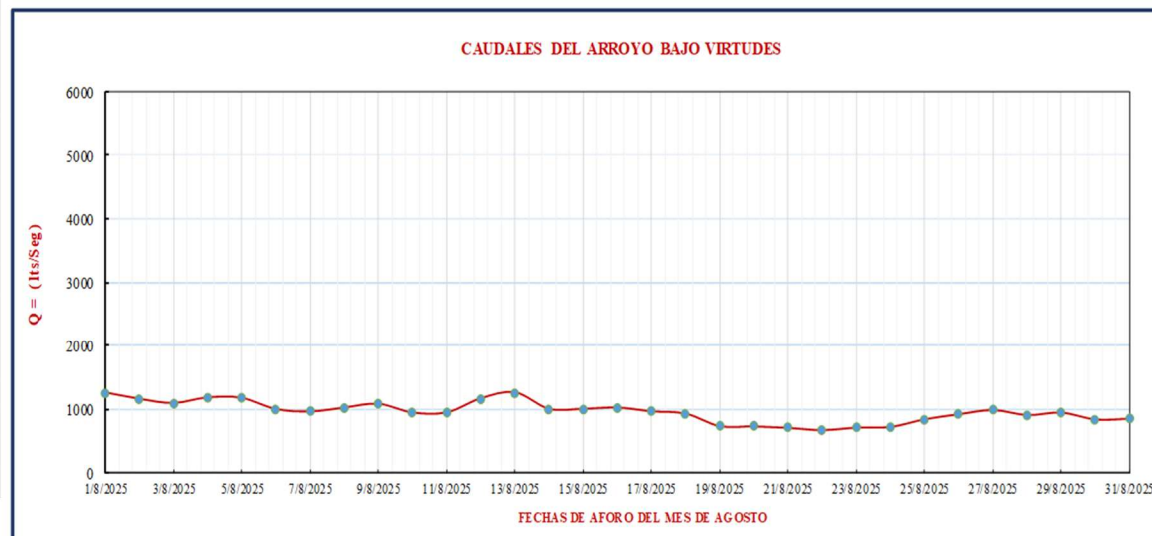
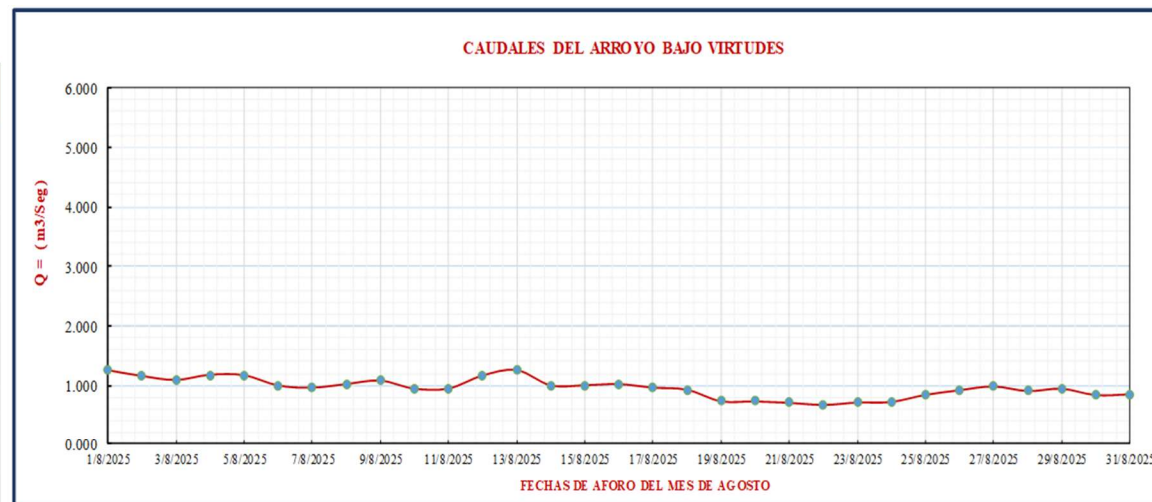
#	Fechas	CAUDAL TOTAL m^3/seg	CAUDAL TOTAL lts/seg
1	1/7/2025	1.186	1186
2	2/7/2025	1.247	1247
3	3/7/2025	1.178	1178
4	4/7/2025	1.220	1220
5	5/7/2025	1.233	1233
6	6/7/2025	1.225	1225
7	7/7/2025	1.205	1205
8	8/7/2025	1.194	1194
9	9/7/2025	1.162	1162
10	10/7/2025	1.226	1226
11	11/7/2025	1.167	1167
12	12/7/2025	1.233	1233
13	13/7/2025	1.186	1186
14	14/7/2025	1.196	1196
15	15/7/2025	1.192	1192
16	16/7/2025	1.194	1194
17	17/7/2025	1.138	1138
18	18/7/2025	1.232	1232
19	19/7/2025	1.215	1215
20	20/7/2025	1.176	1176
21	21/7/2025	1.122	1122
22	22/7/2025	1.131	1131
23	23/7/2025	1.156	1156
24	24/7/2025	1.122	1122
25	25/7/2025	1.152	1152
26	26/7/2025	1.149	1149
27	27/7/2025	1.193	1193
28	28/7/2025	1.203	1203
29	29/7/2025	1.132	1132
30	30/7/2025	1.239	1239
31	31/7/2025	1.353	1353



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.43 Resumen de aforo del mes de agosto 2025

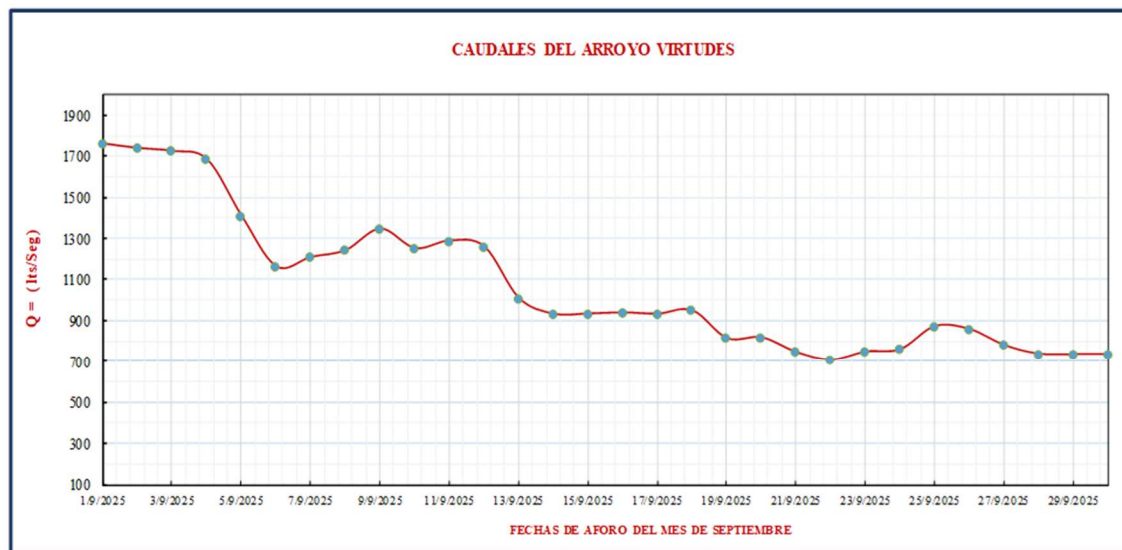
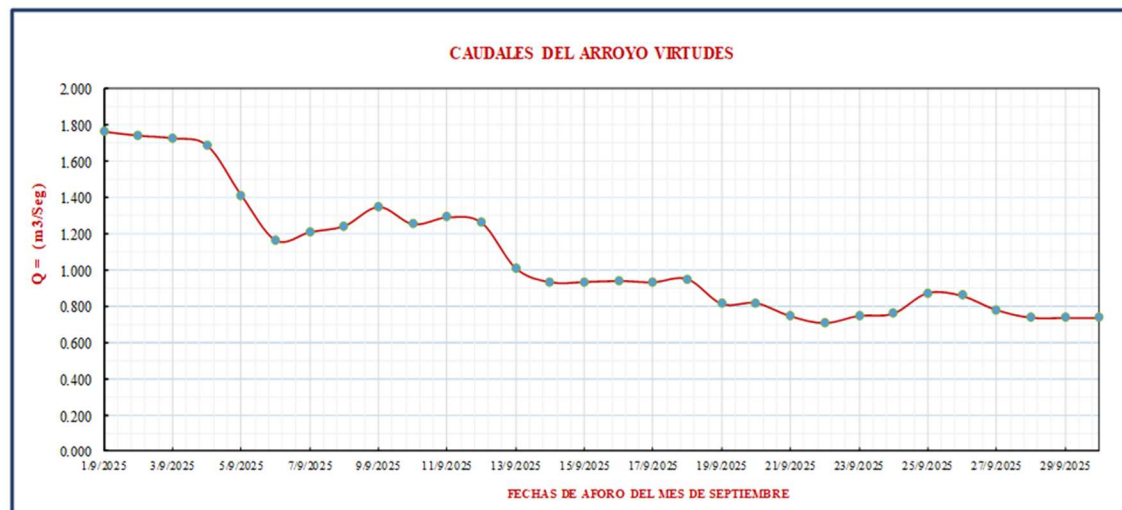
#	Fechas	CAUDAL TOTAL m^3/seg	CAUDAL TOTAL lts/seg
1	1/8/2025	1.253	1253
2	2/8/2025	1.158	1158
3	3/8/2025	1.093	1093
4	4/8/2025	1.178	1178
5	5/8/2025	1.171	1171
6	6/8/2025	1.002	1002
7	7/8/2025	0.965	965
8	8/8/2025	1.024	1024
9	9/8/2025	1.082	1082
10	10/8/2025	0.949	949
11	11/8/2025	0.950	950
12	12/8/2025	1.164	1164
13	13/8/2025	1.256	1256
14	14/8/2025	1.004	1004
15	15/8/2025	1.005	1005
16	16/8/2025	1.024	1024
17	17/8/2025	0.967	967
18	18/8/2025	0.932	932
19	19/8/2025	0.741	741
20	20/8/2025	0.738	738
21	21/8/2025	0.716	716
22	22/8/2025	0.681	681
23	23/8/2025	0.719	719
24	24/8/2025	0.729	729
25	25/8/2025	0.846	846
26	26/8/2025	0.922	922
27	27/8/2025	0.985	985
28	28/8/2025	0.909	909
29	29/8/2025	0.947	947
30	30/8/2025	0.842	842
31	31/8/2025	0.855	855



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.44 Resumen de aforo del mes de septiembre 2025

#	Fechas	CAUDAL TOTAL m^3/seg	CAUDAL TOTAL lts/seg
1	1/9/2025	1.762	1762
2	2/9/2025	1.740	1740
3	3/9/2025	1.726	1726
4	4/9/2025	1.686	1686
5	5/9/2025	1.410	1410
6	6/9/2025	1.164	1164
7	7/9/2025	1.210	1210
8	8/9/2025	1.243	1243
9	9/9/2025	1.348	1348
10	10/9/2025	1.253	1253
11	11/9/2025	1.290	1290
12	12/9/2025	1.261	1261
13	13/9/2025	1.010	1010
14	14/9/2025	0.934	934
15	15/9/2025	0.935	935
16	16/9/2025	0.941	941
17	17/9/2025	0.934	934
18	18/9/2025	0.951	951
19	19/9/2025	0.815	815
20	20/9/2025	0.819	819
21	21/9/2025	0.747	747
22	22/9/2025	0.709	709
23	23/9/2025	0.749	749
24	24/9/2025	0.761	761
25	25/9/2025	0.874	874
26	26/9/2025	0.859	859
27	27/9/2025	0.781	781
28	28/9/2025	0.739	739
29	29/9/2025	0.737	737
30	30/9/2025	0.737	737



Fuente: Elaboración propia.

4.3.1 Resumen de aforo

Como se puede observar en las tablas 4.45 y 4.46 es el resumen de aforo de caudales durante 9 meses, máximos, mínimos y mensuales.

Tabla 4.45 Caudal medios mensuales

Mes	Q (m3/seg)	Q (lts)
Enero	0.593	593
Febrero	1.285	1285
Marzo	1.558	1558
Abril	2.054	2054
Mayo	5.436	5436
Junio	1.161	1161
Julio	1.193	1193
Agosto	0.965	965
Septiembre	0.938	938

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.46 Caudales máximos y mínimos mensuales

Mes	Maximas m3/seg	Minimas m3/seg
Enero	2.716	0.252
Febrero	15.944	0.461
Marzo	2.295	0.152
Abril	6.954	0.833
Mayo	1.939	0.970
Junio	1.590	1.089
Julio	1.353	1.122
Agosto	1.256	0.68
Septiembre	1.762	0.709

Fuente: Elaboración propia.

Como conclusión se puede ver los diferentes volúmenes de caudal existente en el arroyo lo cual se obtuvo los meses de llenura como también en tiempo de estiaje, para conocer un poco más del potencial que brinda el arroyo Virtudes como la dotación de agua potable o riego de una manera eficiente, requiere del conocimiento de la cantidad de agua que pasa por un lugar en un determinado tiempo, lo cual es necesario ubicar estaciones de mediciones de caudal en puntos estratégicos para conocer el comportamiento del arroyo anual, para todo tipo de estudio hidráulico.

4.4 MONITOREO DEL NIVEL FREÁTICO Y VARIABLES DE CALIDAD DE AGUA

4.4.1 Área de estudio

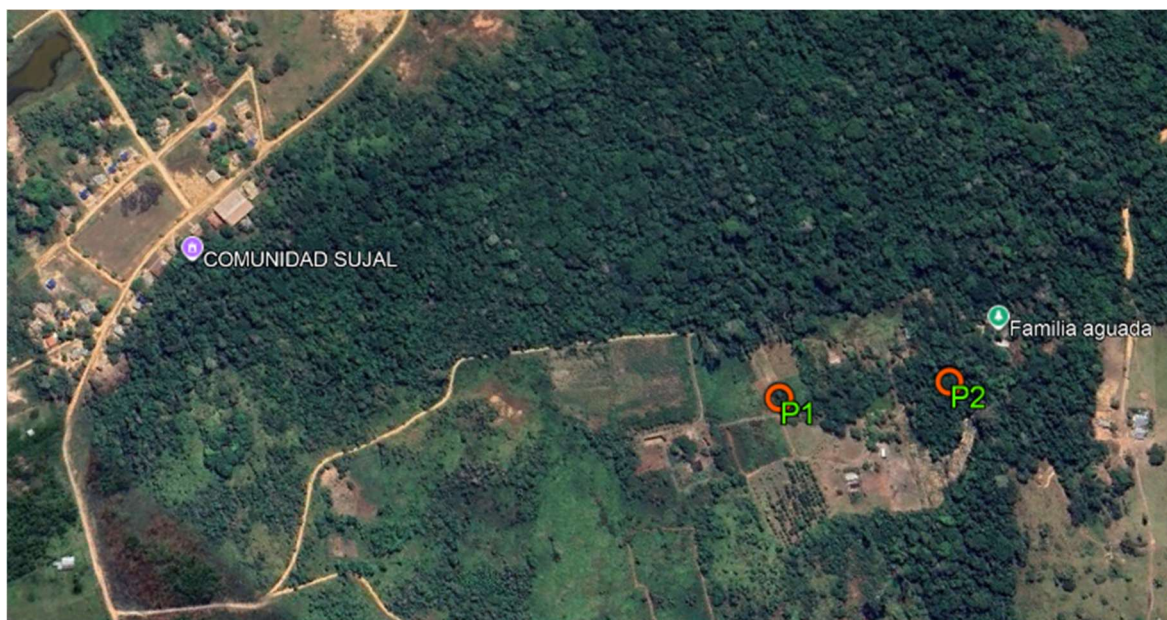
La subcuenca Bajo Virtudes tiene un área de 62.23 km² y es una de las más importantes para el municipio Cobija, la cual cumple con la dotación de agua potable para la zona “C”, la cual tiene una cantidad de 10538 habitantes, dentro del área de la subcuenca se realizaron 5 perforaciones para el monitoreo del nivel freático, dos perforaciones en la zona del Sujal y tres en la zona de Zofra.

Tabla 4.47 Ubicación del nivel freático

Puntos	Lugar	Coordenadas (UTM)	
P1	Sujal	521393.00	8772917.00
P2	Sujal	521517.00	8772793.00
P1	Zofra	521158.00	8772310.00
P2	Zofra	520832.00	8771393.00
P3	Zofra	521622.00	8771627.00

Fuente: Elaboración propia.

Figura 4.39 Ubicación de los puntos (sujal)



Fuente: Elaboración propia.

Figura 4.40 Ubicación de los puntos (zofra)



Fuente: Elaboración propia.

4.4.2 Pozos monitoreo

El método más directo, y generalmente confiable, para manejar el control de la profundidad del muestreo de aguas subterráneas es la instalación de pozos de monitoreo, perforados a propósito a una profundidad que se da con un filtro situado a un intervalo de profundidad conocido.

4.4.3 Potencial de hidrógeno (pH)

La escala pH varía de 1 a 14 grados, un pH de 7° C en el agua indica neutralidad, un pH comprendido entre el valor neutro y 14° indica alcalinidad, un pH comprendido entre uno y el valor neutro indica acidez.

4.4.4 Resultados

En este capítulo se presentan los resultados de las variables ambientales medidas in situ y de los analizados en el laboratorio, en los diferentes muestreos de perforación ubicados en la zona Sujal y Zofra dentro de la subcuenca Bajo Virtudes.

4.4.4.1 Profundidad de cada pozo de monitoreo

En el Sujal se realizó dos perforaciones uno de 1.42 y otra de 56 centímetros de altura y en la zona de Zofra hay 3 perforaciones, las cuales son de 3.20 metros y 1.03 metros, la última de 4.36, en total hay 5 perforaciones ubicadas dentro de la subcuenca del arroyo Bajo Virtudes.

4.4.4.2 Volumen de agua

Con las mediciones de cada perforación se obtuvo el nivel de espejo de agua y la profundidad de agua, con estos valores se procedió al cálculo de volumen de agua en las 5 perforaciones para establecer en que zona hay más agua subterránea y poder preservar esas afluentes que drenan a la red hídrica principal del arroyo.

4.4.4.3 Temperatura

Termodinámicamente se considera como una medida de la energía térmica del movimiento desordenado de las moléculas en una sustancia en equilibrio térmico.

Significado sanitario: los efectos de la temperatura merecen consideraciones en los procesos de auto purificación natural, relacionada a la rápida estabilización de la materia orgánica y el nivel de oxígeno disuelto, permite ser un parámetro por medio del cual se normalizan numerosas pruebas físicas, químicas y biológicas.

Límites máximos aceptables:	18 – 30 °C
Límites máximos permisible:	no mayor a 34 °C

Las temperaturas tomadas en zona del Sujal de los 2 pozos de monitoreo se encontraron temperaturas desde 27°C hasta los 30°C y en la zona de Zofra en los 3 pozos de monitoreo las temperaturas son desde los 28°C hasta los 32°C (ver tabla 10.2 y 10.3 el resumen de todos los datos del monitoreo en los 5 pozos.

Tabla 4.48 Resumen de datos del nivel freático Sujal pozo 1

Fechas	Cantidad de Pozos Sujal	Diametro de pozo (m)	Profundidad de Pozos en Sujal (m)	Nivel de espejo de agua (m)	Nivel total de agua (m)	Volumen de agua (m3)	Volumen de agua (lts)	PH	Temperatura °C	Conductividad	Oxígeno Disuelto Do (mg/l)	Caudales m3/sg	Precipitaciones (mm)
19/12/2024	Pozo 1	0.08	1.42	0.49	0.93	0.005	4.67	4.08	28.10	103.90	2.50	0.278	37.3
20/12/2024	Pozo 1	0.08	1.42	0.50	0.92	0.005	4.62	4.76	30.00	169.70	2.10	0.214	77.6
21/12/2024	Pozo 1	0.08	1.42	0.85	0.57	0.003	2.87	4.22	26.60	27.30	2.00	0.229	10.5
22/12/2024	Pozo 1	0.08	1.42	0.83	0.59	0.003	2.97	4.21	26.40	27.50	2.00	0.253	1.8
27/12/2024	Pozo 1	0.08	1.42	0.50	0.92	0.005	4.62	5.20	30.40	84.40	3.00	0.295	47.3
28/12/2024	Pozo 1	0.08	1.42	0.51	0.91	0.005	4.57	5.86	29.00	89.30	1.80	0.277	0.1
29/12/2024	Pozo 1	0.08	1.42	0.49	0.93	0.005	4.67	6.27	28.50	79.80	1.50	0.260	8.7
30/12/2024	Pozo 1	0.08	1.42	0.49	0.93	0.005	4.67	5.43	31.60	50.00	2.50	0.270	54.7
31/12/2024	Pozo 1	0.08	1.42	0.50	0.92	0.005	4.62	5.45	30.60	80.00	2.40	0.250	0
20/1/2025	Pozo 1	0.08	1.42	0.45	0.97	0.005	4.88	6.01	31.00	70.80	2.90	0.819	0
21/1/2025	Pozo 1	0.08	1.42	0.28	1.14	0.006	5.73	6.13	30.20	83.00	1.70	0.997	0.2
22/1/2025	Pozo 1	0.08	1.42	0.29	1.13	0.006	5.68	6.12	31.00	85.00	1.60	0.486	0
23/1/2025	Pozo 1	0.08	1.42	0.31	1.11	0.006	5.58	6.23	29.40	76.00	1.80	0.63	1.5
24/1/2025	Pozo 1	0.08	1.42	0.47	0.95	0.005	4.78	5.86	28.20	65.00	0.90	0.535	38.4
25/1/2025	Pozo 1	0.08	1.42	0.45	0.97	0.005	4.88	5.97	28.40	49.80	3.00	0.688	4
26/1/2025	Pozo 1	0.08	1.42	0.43	0.99	0.005	4.98	5.60	27.70	86.60	1.10	1.698	34
27/1/2025	Pozo 1	0.08	1.42	0.28	1.14	0.006	5.73	6.46	29.60	58.00	1.30	0.595	1.3
28/1/2025	Pozo 1	0.08	1.42	0.44	0.98	0.005	4.93	5.78	29.10	66.00	1.30	0.535	0
29/1/2025	Pozo 1	0.08	1.42	0.48	0.94	0.005	4.72	5.67	28.00	68.00	1.25	0.304	0
30/1/2025	Pozo 1	0.08	1.42	0.30	1.12	0.006	5.63	5.67	29.20	78.00	1.40	0.405	0
31/1/2025	Pozo 1	0.08	1.42	0.20	1.22	0.006	6.13	5.96	30.20	69.00	0.80	0.308	1.2
1/2/2025	Pozo 1	0.08	1.42	0.27	1.15	0.006	5.78	5.96	30.20	69.00	0.80	0.784	0
2/2/2025	Pozo 1	0.08	1.42	0.23	1.19	0.006	5.98	5.28	30.20	58.00	1.30	0.461	0
3/2/2025	Pozo 1	0.08	1.42	0.19	1.23	0.006	6.18	5.38	29.20	72.00	1.70	0.941	1
4/2/2025	Pozo 1	0.08	1.42	0.18	1.24	0.006	6.23	5.48	31.30	87.00	2.10	0.729	4.1
5/2/2025	Pozo 1	0.08	1.42	0.23	1.19	0.006	5.98	6.10	29.30	76.00	1.90	0.818	0.7
8/2/2025	Pozo 1	0.08	1.42	0.26	1.16	0.006	5.83	5.97	30.30	67.00	1.70	1.185	1.4
9/2/2025	Pozo 1	0.08	1.42	0.26	1.16	0.006	5.83	5.97	30.00	66.00	1.60	1.298	51
10/2/2025	Pozo 1	0.08	1.42	0.24	1.18	0.006	5.93	5.98	29.10	69.00	1.50	1.302	22.8
11/2/2025	Pozo 1	0.08	1.42	0.22	1.20	0.006	6.03	6.20	29.60	65.00	1.70	0.987	6.5
12/2/2025	Pozo 1	0.08	1.42	0.27	1.15	0.006	5.78	5.96	29.30	65.00	1.40	1.196	5.8
16/2/2025	Pozo 1	0.08	1.42	0.18	1.24	0.006	6.23	5.98	29.70	45.00	1.50	1.317	0.1
17/2/2025	Pozo 1	0.08	1.42	0.22	1.20	0.006	6.03	5.98	29.70	45.00	1.50	0.53	0
18/2/2025	Pozo 1	0.08	1.42	0.24	1.18	0.006	5.93	5.78	29.70	58.00	1.90	0.745	0
19/2/2025	Pozo 1	0.08	1.42	0.16	1.26	0.006	6.33	5.78	29.70	58.00	1.90	5.312	32.5
20/2/2025	Pozo 1	0.08	1.42	0.27	1.15	0.006	5.78	6.04	30.10	69.00	1.50	7.196	0

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.49 Resumen de datos del nivel freático zofra Sujal pozo 2

Fechas	Cantidad de Pozos Sujal	Diametro de pozo (m)	Profundidad de Pozos en Sujal (m)	Nivel de espejo de agua (m)	Nivel total de agua (m)	Volumen de agua (m3)	Volumen de agua (lts)	PH	Temperatura °C	Conductividad	Oxígeno Disuelto Do (mg/l)	Caudales m3/sg	Precipitaciones (mm)
19/12/2024	Pozo 2	0.08	0.56	0.04	0.52	0.003	2.61	5.08	26.80	61.30	2.70	0.278	37.3
20/12/2024	Pozo 2	0.08	0.56	0.05	0.51	0.003	2.56	4.96	26.80	60.00	2.70	0.214	77.6
21/12/2024	Pozo 2	0.08	0.56	0.04	0.52	0.003	2.61	5.09	28.80	63.30	2.50	0.229	10.5
22/12/2024	Pozo 2	0.08	0.56	0.04	0.52	0.003	2.61	5.09	28.80	63.30	2.50	0.253	1.8
27/12/2024	Pozo 2	0.08	0.56	0.05	0.51	0.003	2.56	5.73	29.60	15.56	2.90	0.295	47.3
28/12/2024	Pozo 2	0.08	0.56	0.05	0.51	0.003	2.56	6.05	29.00	16.42	0.90	0.277	0.1
29/12/2024	Pozo 2	0.08	0.56	0.05	0.51	0.003	2.56	6.16	29.70	19.73	0.70	0.260	8.7
30/12/2024	Pozo 2	0.08	0.56	0.05	0.51	0.003	2.56	6.15	32.50	15.29	1.80	0.270	54.7
31/12/2024	Pozo 2	0.08	0.56	0.04	0.52	0.003	2.61	6.16	31.50	15.29	1.70	0.250	0
20/1/2025	Pozo 2	0.08	0.56	0.10	0.46	0.002	2.31	6.31	27.00	28.60	1.50	0.819	0
21/1/2025	Pozo 2	0.08	0.55	0.10	0.45	0.002	2.26	6.89	30.30	68.00	1.40	0.997	0.2
22/1/2025	Pozo 2	0.08	0.56	0.12	0.44	0.002	2.21	6.90	31.20	70.00	1.60	0.486	0
23/1/2025	Pozo 2	0.08	0.56	0.12	0.44	0.002	2.21	5.87	29.30	103.00	1.60	0.63	1.5
24/1/2025	Pozo 2	0.08	0.56	0.08	0.48	0.002	2.41	5.99	27.80	33.00	0.80	0.535	38.4
25/1/2025	Pozo 2	0.08	0.56	0.07	0.49	0.002	2.46	6.42	28.20	36.60	2.00	0.688	4
26/1/2025	Pozo 2	0.08	0.56	0.10	0.46	0.002	2.31	5.94	27.60	28.50	0.90	1.698	34
27/1/2025	Pozo 2	0.08	0.55	0.14	0.41	0.002	2.06	6.04	30.30	79.00	0.90	0.595	1.3
28/1/2025	Pozo 2	0.08	0.56	0.09	0.47	0.002	2.36	5.97	29.20	33.00	0.70	0.535	0
29/1/2025	Pozo 2	0.08	0.56	0.08	0.48	0.002	2.41	5.90	30.00	31.00	1.00	0.304	0
30/1/2025	Pozo 2	0.08	0.56	0.04	0.52	0.003	2.61	5.98	30.10	58.00	0.90	0.405	0
31/1/2025	Pozo 2	0.08	0.56	0.06	0.50	0.003	2.51	5.99	30.70	47.00	0.70	0.308	1.2
1/2/2025	Pozo 2	0.08	0.56	0.11	0.45	0.002	2.26	5.99	30.70	47.00	0.70	0.784	0
2/2/2025	Pozo 2	0.08	0.56	0.10	0.46	0.002	2.31	5.17	29.90	44.00	0.90	0.461	0
3/2/2025	Pozo 2	0.08	0.56	0.08	0.48	0.002	2.41	5.66	29.60	28.00	1.50	0.941	1
4/2/2025	Pozo 2	0.08	0.56	0.1	0.46	0.002	2.31	6.14	30.40	37.00	1.70	0.729	4.1
5/2/2025	Pozo 2	0.08	0.56	0.05	0.51	0.003	2.56	6.17	29.10	59.00	1.10	0.818	0.7
8/2/2025	Pozo 2	0.08	0.56	0.05	0.51	0.003	2.56	6.11	29.90	47.00	1.00	1.185	1.4
9/2/2025	Pozo 2	0.08	0.56	0.05	0.51	0.003	2.56	6.09	28.00	50.00	1.00	1.298	51
10/2/2025	Pozo 2	0.08	0.56	0.07	0.49	0.002	2.46	6.09	28.00	56.00	1.00	1.302	22.8
11/2/2025	Pozo 2	0.08	0.56	0.03	0.53	0.003	2.66	5.89	29.60	49.00	1.00	0.987	6.5
12/2/2025	Pozo 2	0.08	0.56	0.09	0.47	0.002	2.36	5.99	30.10	49.00	1.10	1.196	5.8
16/2/2025	Pozo 2	0.08	0.56	0.06	0.50	0.003	2.51	5.72	30.20	34.00	0.90	1.317	0.1
17/2/2025	Pozo 2	0.08	0.56	0.12	0.44	0.002	2.21	5.54	30.10	37.00	0.80	0.53	0
18/2/2025	Pozo 2	0.08	0.56	0.05	0.51	0.003	2.56	5.35	30.10	47.00	0.90	0.745	0
19/2/2025	Pozo 2	0.08	0.56	0.05	0.51	0.003	2.56	6.45	28.50	89.00	1.90	5.312	32.5
20/2/2025	Pozo 2	0.08	0.56	0.06	0.50	0.003	2.51	6.16	29.50	98.00	1.20	7.196	0

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.50 Resumen de datos del nivel freático Zofra pozo 1

Fechas	Cantidad de Pozos Zofra	Diámetro de pozo (m)	Profundidad de Pozos en Sujal (m)	Nivel de espejo de agua (m)	Nivel total de agua (m)	Volumen de agua (m ³)	Volumen de agua (lts)	PH	Temperatura °C	Conductividad	Oxígeno Disuelto Do (mg/l)	Caudales m ³ /sg	Precipitaciones (mm)
19/12/2024	Pozo 1	0.08	3.20	2.04	1.16	0.006	5.83	6.63	28.20	356.00	1.60	0.278	37.3
20/12/2024	Pozo 1	0.08	3.20	2.04	1.16	0.006	5.83	6.63	28.20	356.00	1.60	0.214	77.6
21/12/2024	Pozo 1	0.08	3.20	2.07	1.13	0.006	5.68	7.08	26.60	356.00	1.70	0.229	10.5
22/12/2024	Pozo 1	0.08	3.20	2.07	1.13	0.006	5.68	7.08	26.60	356.00	1.70	0.253	1.8
27/12/2024	Pozo 1	0.08	3.20	2.17	1.03	0.005	5.18	6.96	29.60	420.00	1.10	0.295	47.3
28/12/2024	Pozo 1	0.08	3.20	2.08	1.12	0.006	5.63	7.14	29.00	425.00	1.90	0.277	0.1
29/12/2024	Pozo 1	0.08	3.20	2.14	1.06	0.005	5.33	7.02	30.00	430.00	1.70	0.260	8.7
30/12/2024	Pozo 1	0.08	3.20	2.14	1.06	0.005	5.33	7.06	32.10	4.65	5.60	0.270	54.7
31/12/2024	Pozo 1	0.08	3.20	2.18	1.02	0.005	5.13	7.06	32.10	4.65	5.60	0.250	0
20/1/2025	Pozo 1	0.08	3.20	2.06	1.14	0.006	5.73	7.17	26.70	682.00	5.20	0.819	0
21/1/2025	Pozo 1	0.08	3.20	2.08	1.12	0.006	5.63	6.14	30.30	378.00	2.10	0.997	0.2
22/1/2025	Pozo 1	0.08	3.20	2.09	1.11	0.006	5.58	6.12	29.00	374.00	2.20	0.486	0
23/1/2025	Pozo 1	0.08	3.20	2.03	1.17	0.006	5.88	6.58	29.10	472.00	2.40	0.63	1.5
24/1/2025	Pozo 1	0.08	3.20	2.07	1.13	0.006	5.68	6.91	28.20	528.00	4.10	0.535	38.4
25/1/2025	Pozo 1	0.08	3.20	1.81	1.39	0.007	6.99	6.89	28.70	562.00	4.80	0.688	4
26/1/2025	Pozo 1	0.08	3.20	2.15	1.05	0.005	5.28	6.71	28.10	488.00	4.20	1.698	34
27/1/2025	Pozo 1	0.08	3.20	2.06	1.14	0.006	5.73	6.56	29.40	385.00	1.90	0.595	1.3
28/1/2025	Pozo 1	0.08	3.20	2.17	1.03	0.005	5.18	6.81	29.20	5.48	4.40	0.535	0
29/1/2025	Pozo 1	0.08	3.20	2.18	1.02	0.005	5.13	6.22	28.00	498.00	3.90	0.304	0
30/1/2025	Pozo 1	0.08	3.20	2.16	1.04	0.005	5.23	6.96	31.70	566.00	4.90	0.405	0
31/1/2025	Pozo 1	0.08	3.20	2.15	1.05	0.005	5.28	6.58	30.10	480.00	4.10	0.308	1.2
1/2/2025	Pozo 1	0.08	3.20	2.09	1.11	0.006	5.58	6.91	28.40	520.00	3.70	0.784	0
2/2/2025	Pozo 1	0.08	3.20	2.13	1.07	0.005	5.38	6.41	28.40	421.00	3.10	0.461	0
3/2/2025	Pozo 1	0.08	3.20	2.18	1.02	0.005	5.13	6.20	30.30	427.00	2.10	0.941	1
4/2/2025	Pozo 1	0.08	3.20	2.14	1.06	0.005	5.33	6.35	29.70	487.00	2.70	0.729	4.1
5/2/2025	Pozo 1	0.08	3.20	2.15	1.05	0.005	5.28	6.52	30.30	587.00	3.80	0.818	0.7
8/2/2025	Pozo 1	0.08	3.20	2.11	1.09	0.005	5.48	6.28	29.70	496.00	3.20	1.185	1.4
9/2/2025	Pozo 1	0.08	3.20	2.07	1.13	0.006	5.68	6.34	30.10	344.00	2.70	1.298	51
10/2/2025	Pozo 1	0.08	3.20	2.08	1.12	0.006	5.63	6.67	29.80	426.00	3.10	1.302	22.8
11/2/2025	Pozo 1	0.08	3.20	2.11	1.09	0.005	5.48	6.16	30.20	367.00	2.80	0.987	6.5
12/2/2025	Pozo 1	0.08	3.20	2.08	1.12	0.006	5.63	6.57	30.10	392.00	2.50	1.196	5.8
16/2/2025	Pozo 1	0.08	3.20	2.11	1.09	0.005	5.48	6.13	29.08	298.00	2.40	1.317	0.1
17/2/2025	Pozo 1	0.08	3.20	2.09	1.11	0.006	5.58	6.32	29.40	341.00	2.70	0.53	0
18/2/2025	Pozo 1	0.08	3.20	2.09	1.11	0.006	5.58	6.08	29.10	453.00	2.20	0.745	0
19/2/2025	Pozo 1	0.08	3.20	2.18	1.02	0.005	5.13	6.67	28.70	442.00	2.80	5.312	32.5
20/2/2025	Pozo 1	0.08	3.20	2.06	1.14	0.006	5.73	6.14	30.30	378.00	2.10	7.196	0

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.51 Resumen de datos del nivel freático Zofra pozo 2

Fechas	Cantidad de Pozos Zofra	Diametro de pozo (m)	Profundidad de Pozos en Sujal (m)	Nivel de espejo de agua (m)	Nivel total de agua (m)	Volumen de agua (m3)	Volumen de agua (lts)	PH	Temperatura °C	Conductividad	Oxigeno Disuelto Do (mg/l)	Caudales m3/sg	Precipitaciones (mm)
19/12/2024	Pozo 2	0.08	1.03	0.55	0.48	0.002	2.41	6.05	25.60	130.90	0.80	0.278	37.3
20/12/2024	Pozo 2	0.08	1.03	0.55	0.48	0.002	2.41	6.05	25.60	130.90	0.80	0.214	77.6
21/12/2024	Pozo 2	0.08	1.03	0.72	0.31	0.002	1.56	5.50	27.80	141.70	2.60	0.229	10.5
22/12/2024	Pozo 2	0.08	1.03	0.72	0.31	0.002	1.56	5.50	27.80	141.70	2.60	0.253	1.8
27/12/2024	Pozo 2	0.08	1.03	0.74	0.29	0.001	1.46	6.38	30.20	103.90	0.90	0.295	47.3
28/12/2024	Pozo 2	0.08	1.03	0.56	0.47	0.002	2.36	5.99	28.10	72.00	1.70	0.277	0.1
29/12/2024	Pozo 2	0.08	1.03	0.55	0.48	0.002	2.41	5.51	29.00	87.00	1.80	0.260	8.7
30/12/2024	Pozo 2	0.08	1.03	0.55	0.48	0.002	2.41	5.97	32.10	42.00	5.60	0.270	54.7
31/12/2024	Pozo 2	0.08	1.03	0.78	0.25	0.001	1.26	5.97	32.10	42.00	5.60	0.250	0
20/1/2025	Pozo 2	0.08	1.03	0.69	0.34	0.002	1.71	6.31	26.40	17.46	2.90	0.819	0
21/1/2025	Pozo 2	0.08	1.03	0.81	0.22	0.001	1.11	5.68	31.10	290.00	1.70	0.997	0.2
22/1/2025	Pozo 2	0.08	1.03	0.83	0.20	0.001	1.01	5.70	27.60	295.00	1.80	0.486	0
23/1/2025	Pozo 2	0.08	1.03	0.77	0.26	0.001	1.31	6.34	29.50	389.00	2.10	0.63	1.5
24/1/2025	Pozo 2	0.08	1.03	0.70	0.33	0.002	1.66	6.22	28.40	127.00	1.60	0.535	38.4
25/1/2025	Pozo 2	0.08	1.03	0.78	0.25	0.001	1.26	6.55	27.90	140.70	2.30	0.688	4
26/1/2025	Pozo 2	0.08	1.03	0.76	0.27	0.001	1.36	6.31	28.50	152.00	1.70	1.698	34
27/1/2025	Pozo 2	0.08	1.03	0.78	0.25	0.001	1.26	6.16	29.70	298.00	1.70	0.595	1.3
28/1/2025	Pozo 2	0.08	1.03	0.72	0.31	0.002	1.56	6.27	28.90	163.00	2.10	0.535	0
29/1/2025	Pozo 2	0.08	1.03	0.70	0.33	0.002	1.66	6.07	29.20	173.00	2.00	0.304	0
30/1/2025	Pozo 2	0.08	1.03	0.72	0.31	0.002	1.56	6.31	30.90	61.00	2.80	0.405	0
31/1/2025	Pozo 2	0.08	1.03	0.75	0.28	0.001	1.41	6.27	30.40	78.00	2.70	0.308	1.2
1/2/2025	Pozo 2	0.08	1.03	0.81	0.22	0.001	1.11	6.70	30.10	220.00	1.80	0.784	0
2/2/2025	Pozo 2	0.08	1.03	0.78	0.25	0.001	1.26	6.11	30.10	160.00	2.10	0.461	0
3/2/2025	Pozo 2	0.08	1.03	0.60	0.43	0.002	2.16	5.97	29.60	170.00	1.80	0.941	1
4/2/2025	Pozo 2	0.08	1.03	0.76	0.27	0.001	1.36	5.99	30.10	173.00	2.10	0.729	4.1
5/2/2025	Pozo 2	0.08	1.03	0.74	0.29	0.001	1.46	6.31	29.70	87.00	2.70	0.818	0.7
8/2/2025	Pozo 2	0.08	1.03	0.70	0.33	0.002	1.66	6.02	29.60	310.00	2.90	1.185	1.4
9/2/2025	Pozo 2	0.08	1.03	0.73	0.30	0.002	1.51	6.02	29.60	308.00	2.90	1.298	51
10/2/2025	Pozo 2	0.08	1.03	0.71	0.32	0.002	1.61	6.36	29.50	355.00	2.60	1.302	22.8
11/2/2025	Pozo 2	0.08	1.03	0.69	0.34	0.002	1.71	5.89	29.50	378.00	2.10	0.987	6.5
12/2/2025	Pozo 2	0.08	1.03	0.74	0.29	0.001	1.46	6.49	30.20	375.00	2.10	1.196	5.8
16/2/2025	Pozo 2	0.08	1.03	0.69	0.34	0.002	1.71	5.85	29.90	234.00	1.90	1.317	0.1
17/2/2025	Pozo 2	0.08	1.03	0.72	0.31	0.002	1.56	6.09	29.10	321.00	2.10	0.53	0
18/2/2025	Pozo 2	0.08	1.03	0.73	0.30	0.002	1.51	5.70	30.20	343.00	1.80	0.745	0
19/2/2025	Pozo 2	0.08	1.03	0.62	0.41	0.002	2.06	6.41	29.30	346.00	2.50	5.312	32.5
20/2/2025	Pozo 2	0.08	1.03	0.75	0.28	0.001	1.41	5.68	31.10	290.00	1.70	7.196	0

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.52 Resumen de datos del nivel freático Zofra pozo 3

Fechas	Cantidad de Pozos Zofra	Diametro de pozo (m)	Profundidad de Pozos en Sujal (m)	Nivel de espejo de agua (m)	Nivel total de agua (m)	Volumen de agua (m3)	Volumen de agua (lts)	PH	Temperatura °C	Conductividad	Oxígeno Disuelto Do (mg/l)	Caudales m3/s	Precipitaciones (mm)
19/12/2024	Pozo 3	0.08	4.36	2.89	1.47	0.007	7.39	5.78	27.10	211.00	2.70	0.278	37.3
20/12/2024	Pozo 3	0.08	4.36	2.89	1.47	0.007	7.39	5.78	27.10	211.00	2.70	0.214	77.6
21/12/2024	Pozo 3	0.08	4.36	3.28	1.08	0.005	5.43	5.92	26.30	176.10	2.60	0.229	10.5
22/12/2024	Pozo 3	0.08	4.36	3.28	1.08	0.005	5.43	5.92	26.30	176.10	2.60	0.253	1.8
27/12/2024	Pozo 3	0.08	4.36	2.98	1.38	0.007	6.94	6.55	29.80	162.70	0.80	0.295	47.3
28/12/2024	Pozo 3	0.08	4.36	3.34	1.02	0.005	5.13	6.10	28.90	190.00	2.10	0.277	0.1
29/12/2024	Pozo 3	0.08	4.36	3.34	1.02	0.005	5.13	6.37	29.90	158.00	2.90	0.260	8.7
30/12/2024	Pozo 3	0.08	4.36	3.34	1.02	0.005	5.13	6.71	31.80	217.00	3.10	0.270	54.7
31/12/2024	Pozo 3	0.08	4.36	3.34	1.02	0.005	5.13	6.22	30.00	185.00	2.80	0.250	0
20/1/2025	Pozo 3	0.08	4.36	2.89	1.47	0.007	7.39	6.96	26.60	166.40	2.20	0.819	0
21/1/2025	Pozo 3	0.08	4.36	3.13	1.23	0.006	6.18	5.45	30.80	243.00	1.40	0.997	0.2
22/1/2025	Pozo 3	0.08	4.36	3.10	1.26	0.006	6.33	5.78	31.00	245.00	1.60	0.486	0
23/1/2025	Pozo 3	0.08	4.36	3.19	1.17	0.006	5.88	5.79	30.20	367.00	1.90	0.63	1.5
24/1/2025	Pozo 3	0.08	4.36	2.88	1.48	0.007	7.44	5.73	29.20	60.00	1.90	0.535	38.4
25/1/2025	Pozo 3	0.08	4.36	3.01	1.35	0.007	6.79	5.88	27.80	25.50	2.70	0.688	4
26/1/2025	Pozo 3	0.08	4.36	2.97	1.39	0.007	6.99	5.79	28.40	582.00	2.10	1.698	34
27/1/2025	Pozo 3	0.08	4.36	3.11	1.25	0.006	6.28	5.64	30.20	196.00	1.10	0.595	1.3
28/1/2025	Pozo 3	0.08	4.36	3.02	1.34	0.007	6.74	5.64	29.40	67.00	2.30	0.535	0
29/1/2025	Pozo 3	0.08	4.36	3.00	1.36	0.007	6.84	5.28	28.30	60.30	1.90	0.304	0
30/1/2025	Pozo 3	0.08	4.36	3.07	1.29	0.006	6.48	6.22	30.30	216.00	2.60	0.405	0
31/1/2025	Pozo 3	0.08	4.36	3.00	1.36	0.007	6.84	6.10	29.70	180.00	2.40	0.308	1.2
1/2/2025	Pozo 3	0.08	4.36	3.18	1.18	0.006	5.93	5.78	29.30	72.00	1.70	0.784	0
2/2/2025	Pozo 3	0.08	4.36	3.15	1.21	0.006	6.08	5.28	29.70	87.00	1.70	0.461	0
3/2/2025	Pozo 3	0.08	4.36	3.13	1.23	0.006	6.18	5.82	30.00	120.00	1.70	0.941	1
4/2/2025	Pozo 3	0.08	4.36	3.09	1.27	0.006	6.38	5.87	29.90	89.00	1.90	0.729	4.1
5/2/2025	Pozo 3	0.08	4.36	3.06	1.30	0.007	6.53	6.23	29.70	228.00	2.40	0.818	0.7
8/2/2025	Pozo 3	0.08	4.36	3.07	1.29	0.006	6.48	5.84	28.00	197.00	2.40	1.185	1.4
9/2/2025	Pozo 3	0.08	4.36	3.07	1.29	0.006	6.48	5.80	30.10	196.00	2.40	1.298	51
10/2/2025	Pozo 3	0.08	4.36	3.18	1.18	0.006	5.93	6.23	30.10	223.00	2.50	1.302	22.8
11/2/2025	Pozo 3	0.08	4.36	3.03	1.33	0.007	6.69	5.45	29.60	233.00	1.90	0.987	6.5
12/2/2025	Pozo 3	0.08	4.36	3.09	1.27	0.006	6.38	6.34	29.40	248.00	1.80	1.196	5.8
16/2/2025	Pozo 3	0.08	4.36	3.11	1.25	0.006	6.28	5.79	30.10	187.00	1.70	1.317	0.1
17/2/2025	Pozo 3	0.08	4.36	3.15	1.21	0.006	6.08	5.74	29.60	198.00	1.90	0.53	0
18/2/2025	Pozo 3	0.08	4.36	3.09	1.27	0.006	6.38	5.32	29.70	365.00	1.80	0.745	0
19/2/2025	Pozo 3	0.08	4.36	3.00	1.36	0.007	6.84	6.13	29.50	284.00	1.90	5.312	32.5
20/2/2025	Pozo 3	0.08	4.36	3.13	1.23	0.006	6.18	5.45	30.80	243.00	1.40	7.196	0

Fuente: Elaboración propia.

4.4.4.4 RELACIONAR CAUDAL Y NIVEL PIEZOMÉTRICO CON PARÁMETROS DE CALIDAD DE AGUA PARA COMPRENDER SU INTERACCIÓN.

De los 5 pozos de perforación que se realizó el monitoreo se obtuvo volúmenes a de agua en cual se realizará una correlación entre el nivel total de agua versus caudal subterráneo, en las diferentes perforaciones realizadas.

Tabla 4.53 Resumen de volúmenes del nivel freático

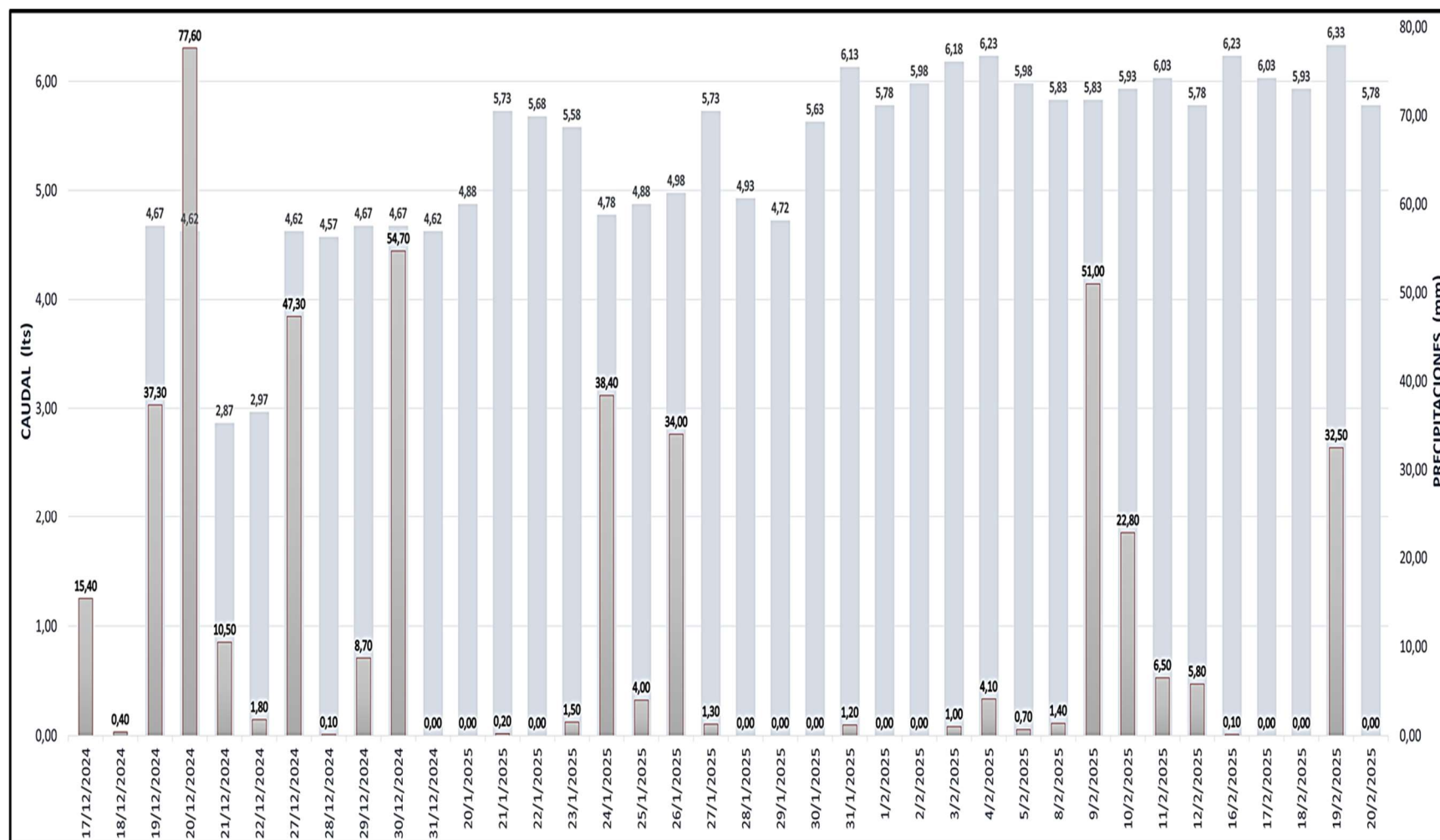
RESUMEN			
UBICACION	VOLUMEN MINIMO (lts)	VOLUMEN MAXIMO (lts)	VOLUMEN TOTAL (lts)
SUJAL	2.01	6.33	311.65
ZOFRA	1.01	10.96	738.05

Fuente: Elaboración propia.

A la vez se realizó una relación de caudal subterráneo versus pH registrado en las perforaciones con la finalidad de cuando de pH hay en una cantidad de caudal subterránea cómo se puede observar en los gráficos del pH y el caudal subterráneo se tiene un pH entre promedio 6.8 a 7.1 lo cual en su menor parte contiene un mínimo de acides.

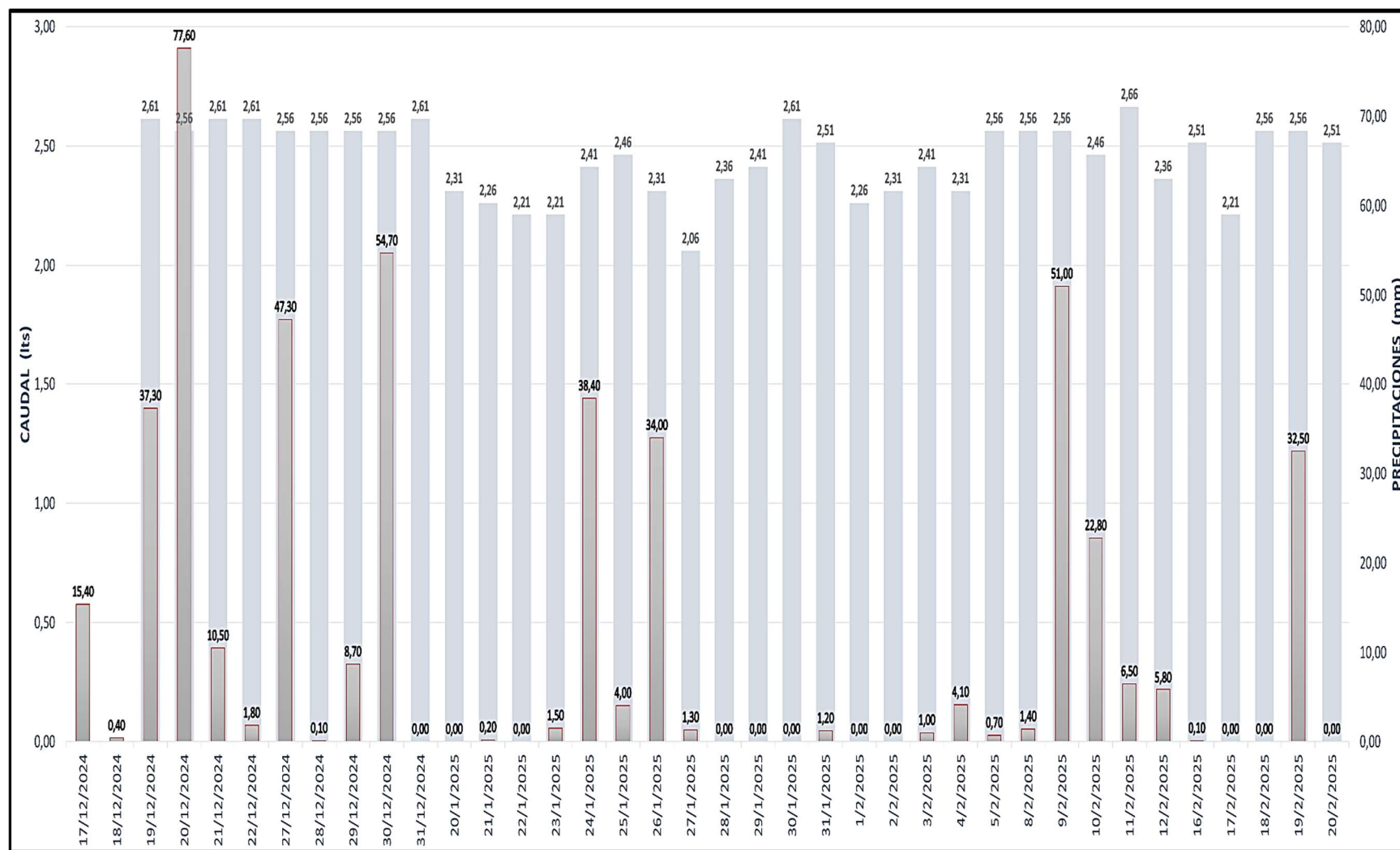
La relación de temperatura ambiente versus el nivel total de agua subterráneo hay un promedio de temperatura entre 28 a 36 grados y la relación de precipitación durante los meses aforado en las perforaciones con la finalidad de cuanto es el nivel de agua en tiempos de lluvia de los 5 pozos.

Figura 4.41 Precipitación vs nivel total de agua pozo 1 Sujal



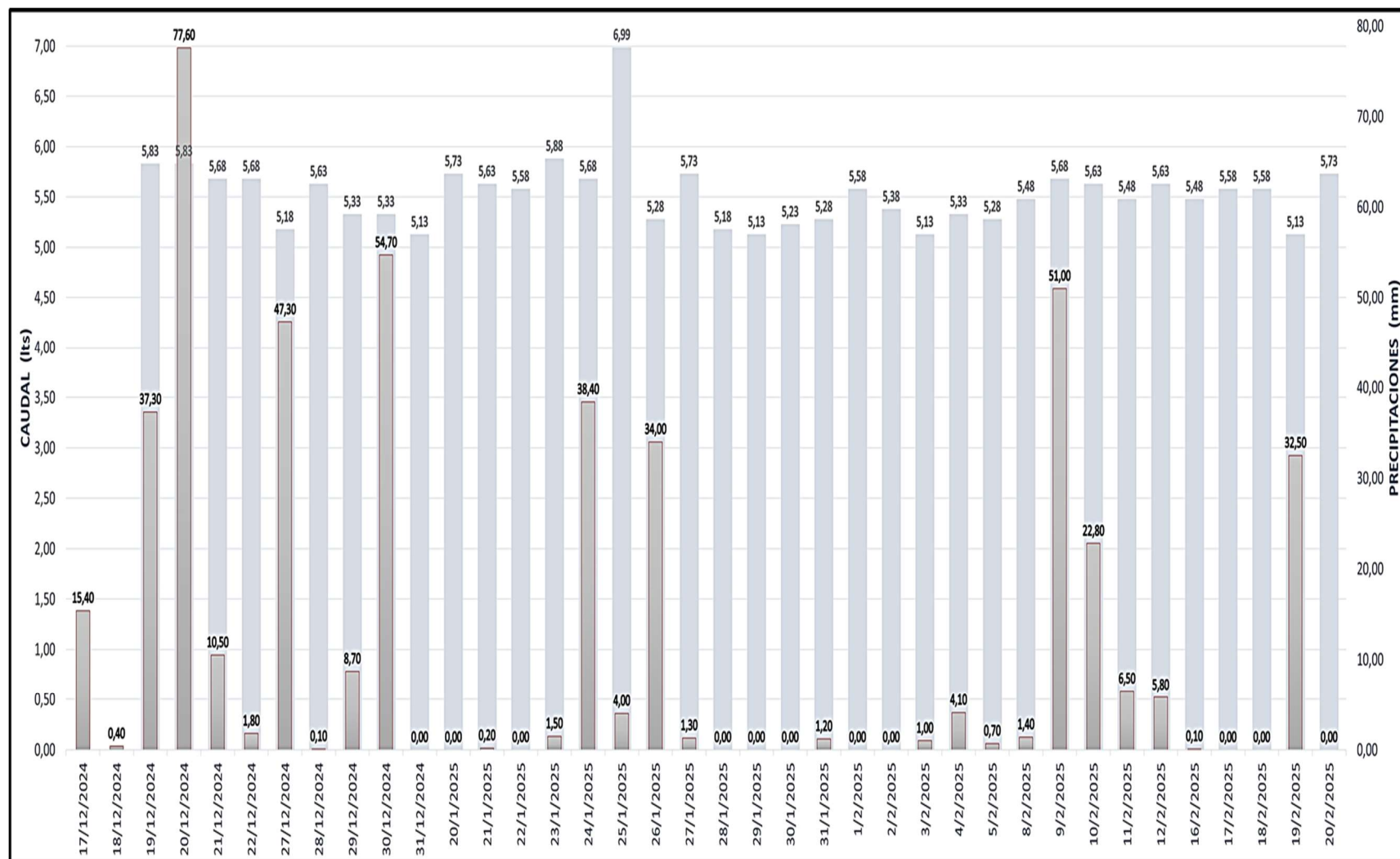
Fuente: Elaboración propia.

Figura 4.42 Precipitación vs nivel total de agua pozo 2 Sujal



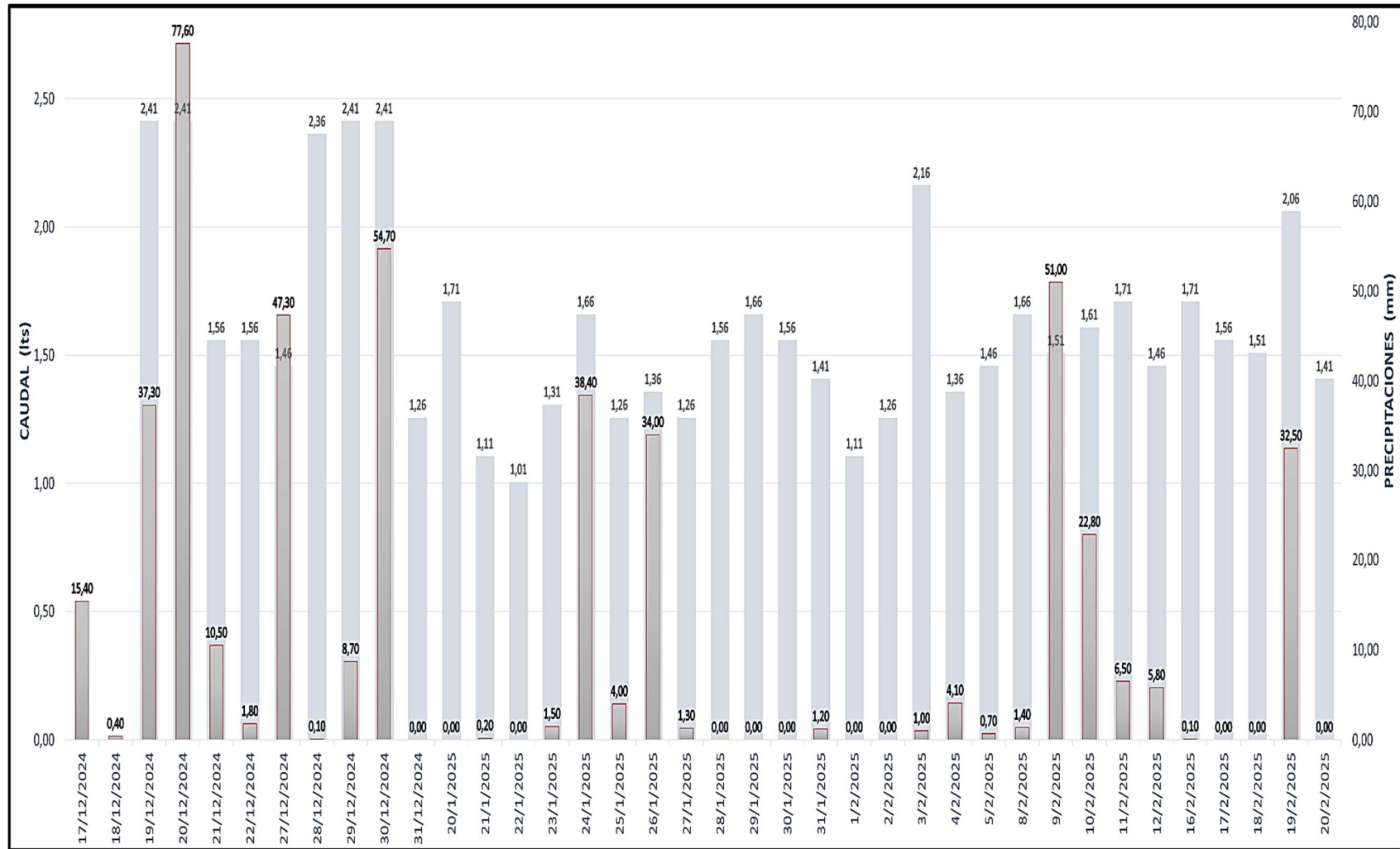
Fuente: Elaboración propia.

Figura 4.43 Precipitación vs nivel total de agua pozo 1 Zofra



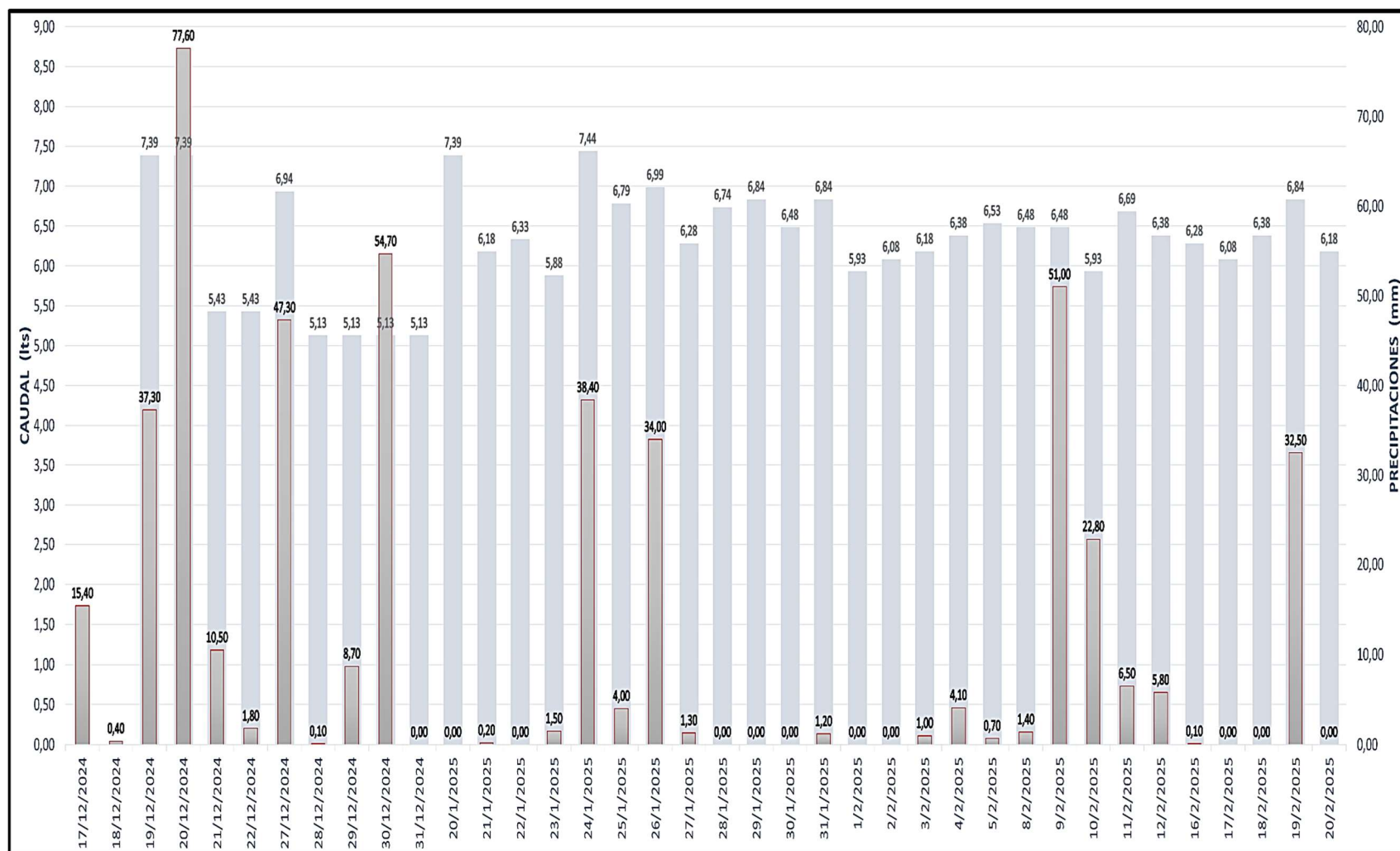
Fuente: Elaboración propia.

Figura 4.44 Precipitación vs nivel total de agua pozo 2 Zofra



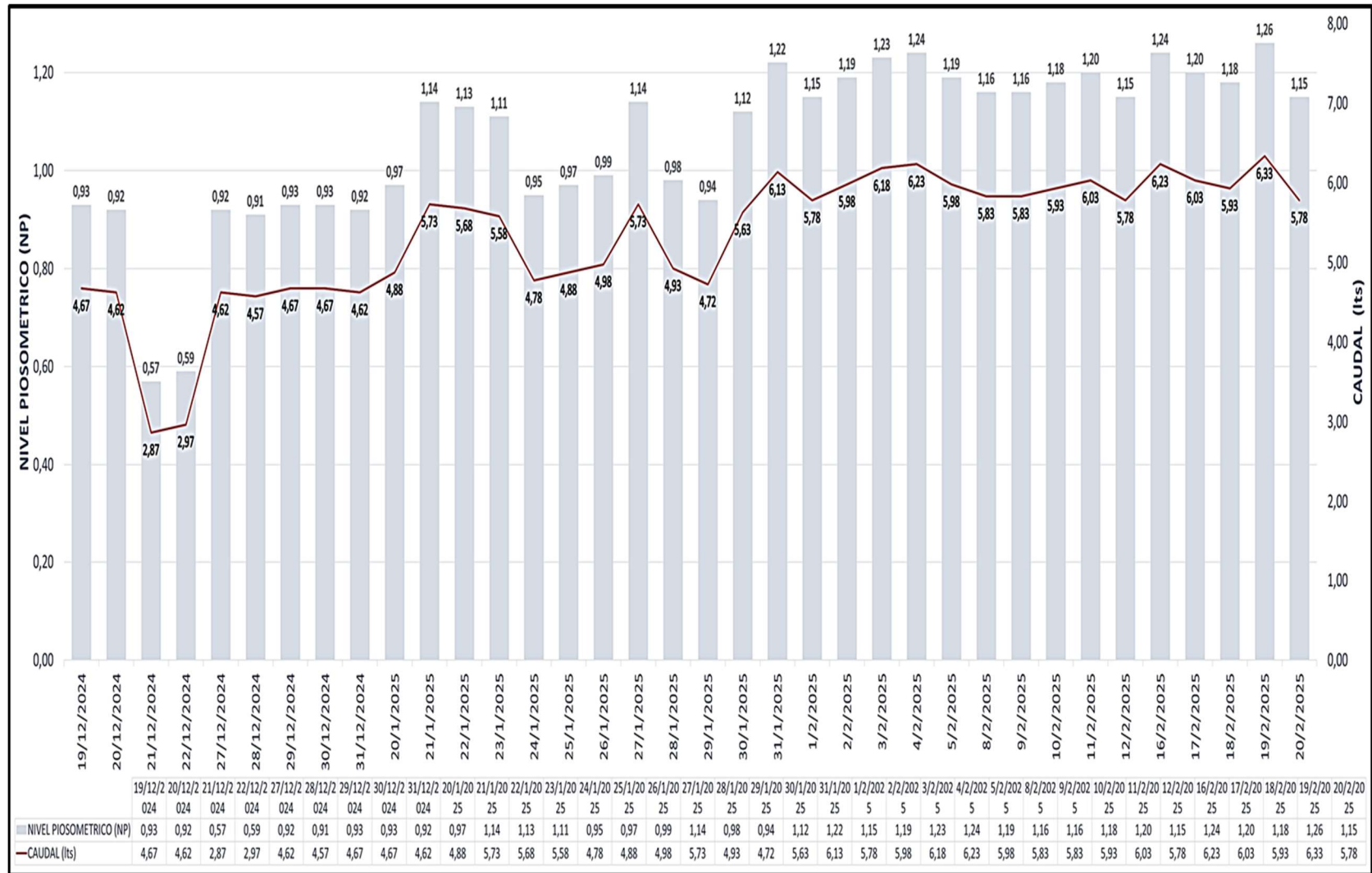
Fuente: Elaboración propia.

Figura 4.45 Precipitación vs nivel total de agua pozo 3 Zofra



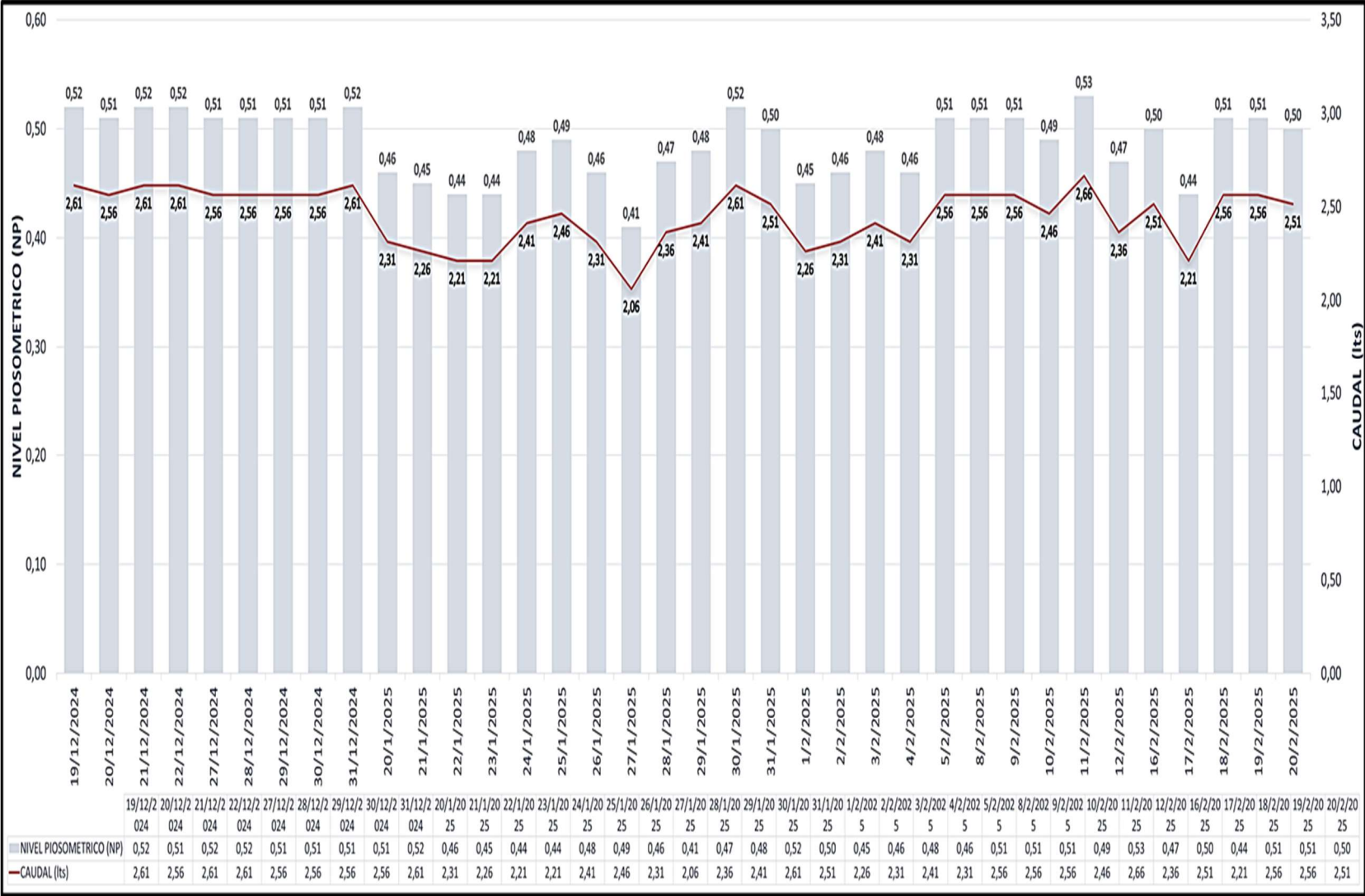
Fuente: Elaboración propia.

Figura 4.46 Relación caudal y nivel piezométrico Sujal pozo 1



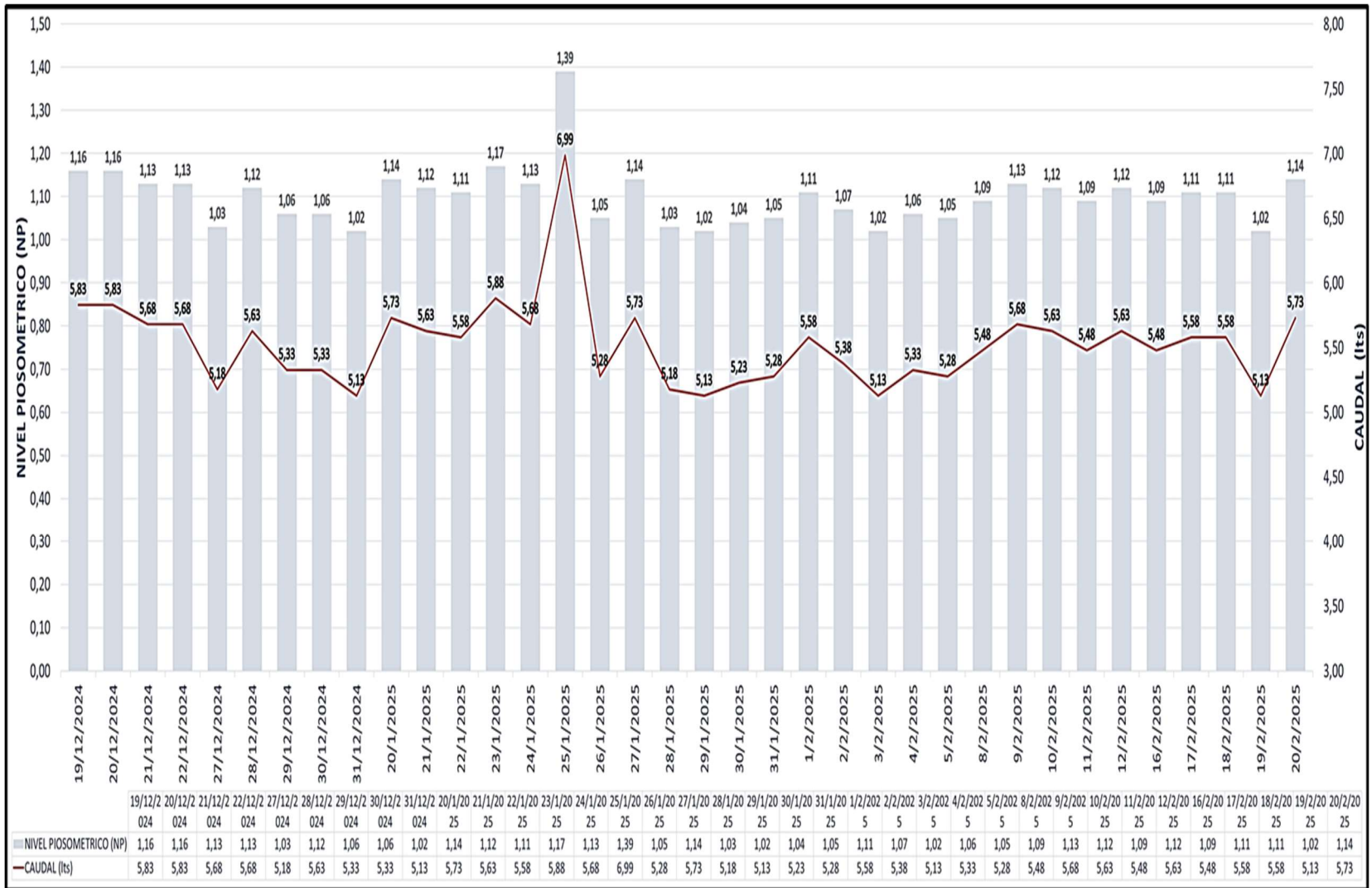
Fuente: Elaboración propia.

Figura 4.47 Relación caudal y nivel piezométrico Sujal pozo 2



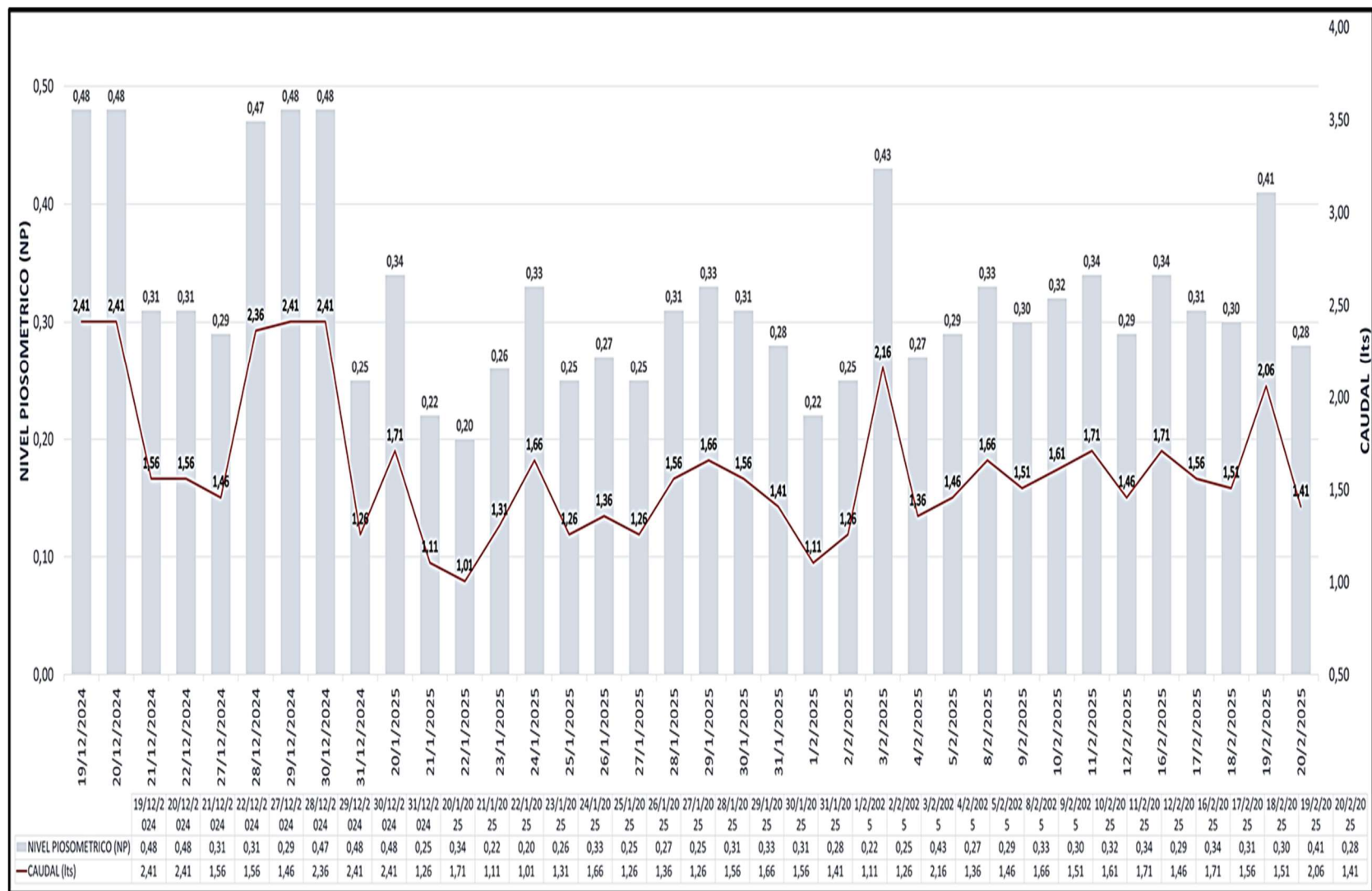
Fuente: Elaboración propia.

Figura 4.48 Relación caudal y nivel piezométrico Zofra pozo 1



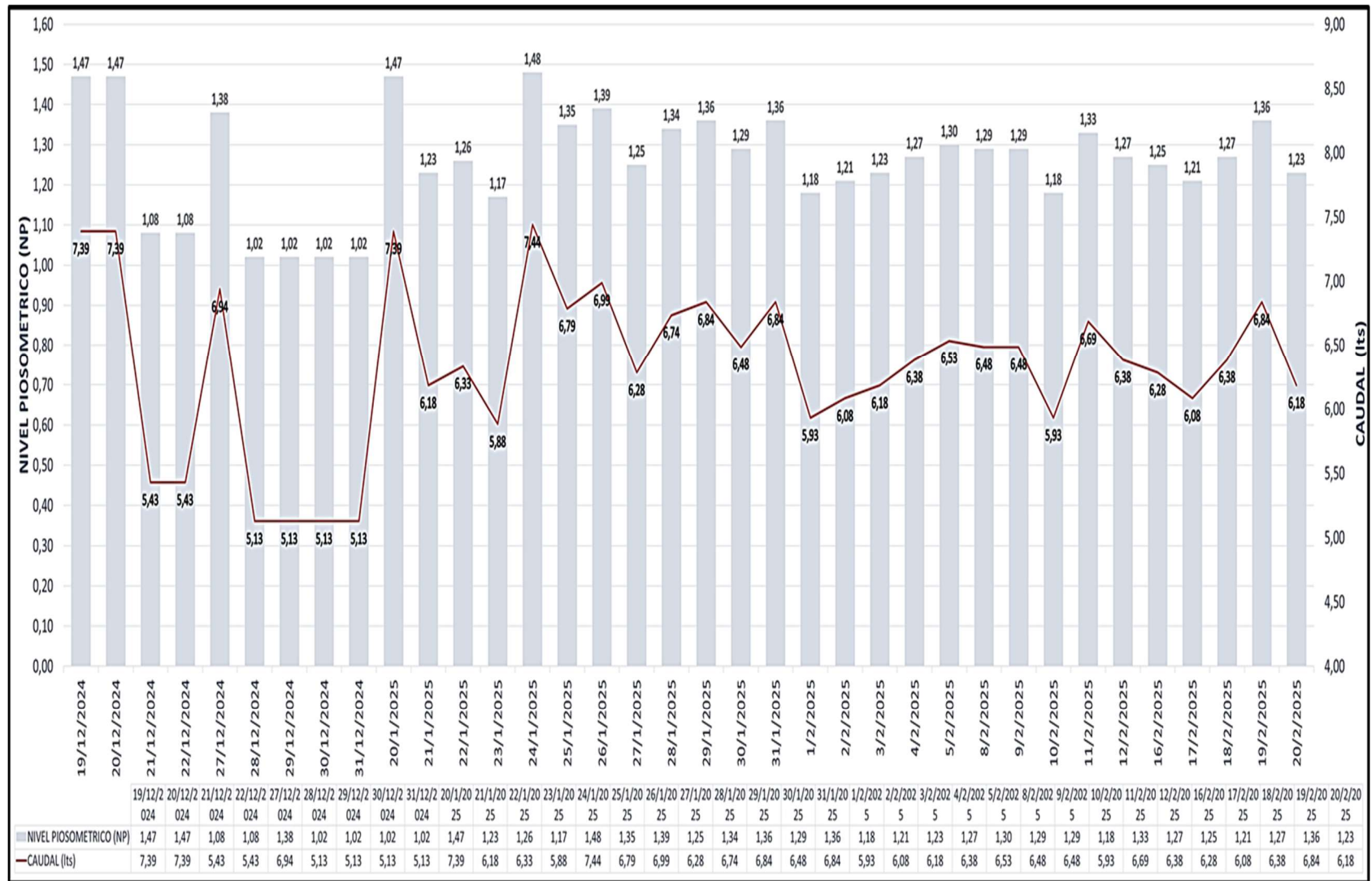
Fuente: Elaboración propia.

Figura 4.49 Relación caudal superficial y nivel piezométrico Zofra pozo 2



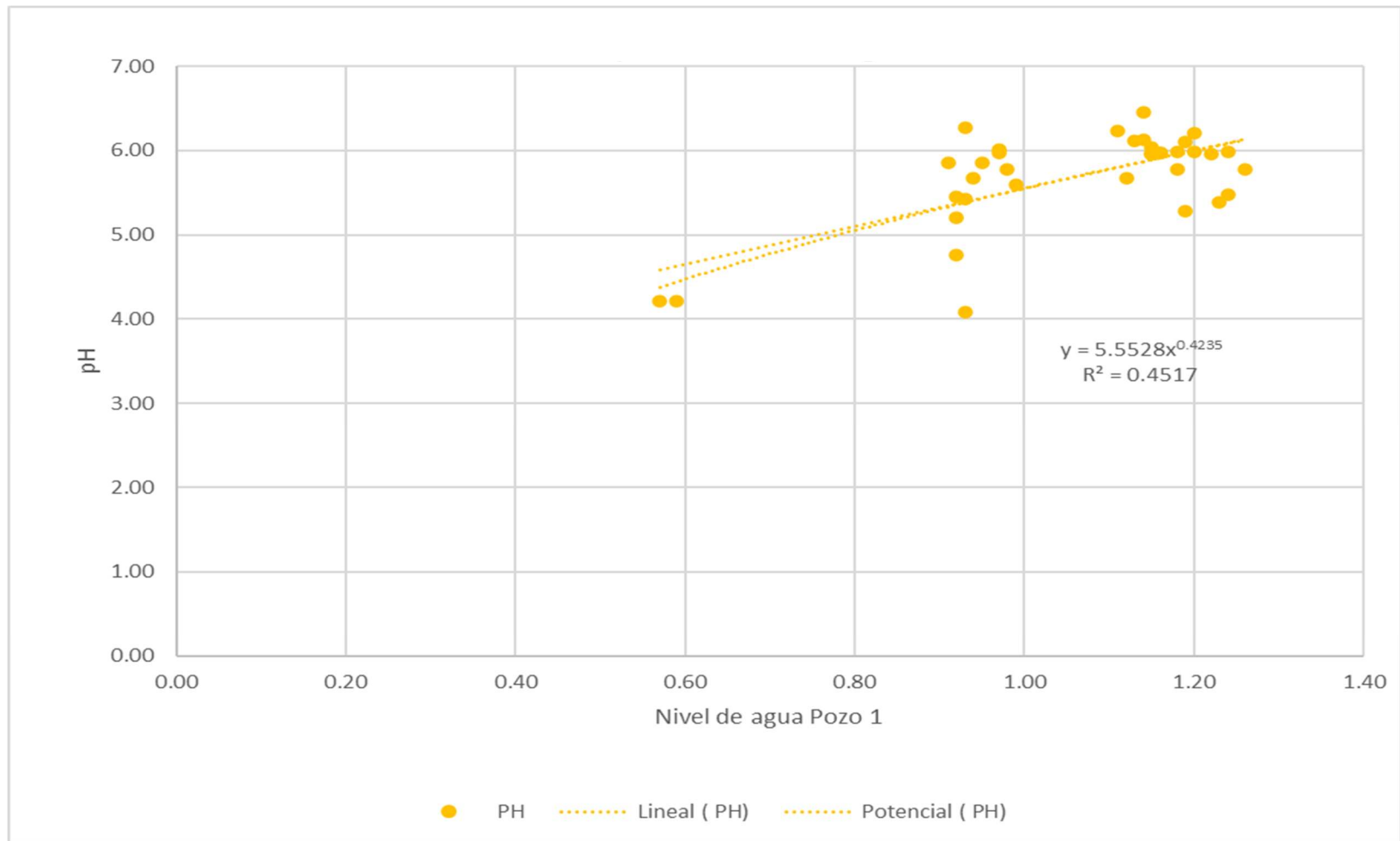
Fuente: Elaboración propia.

Figura 4.50 Relación caudal superficial y nivel piezométrico Zofra pozo 3



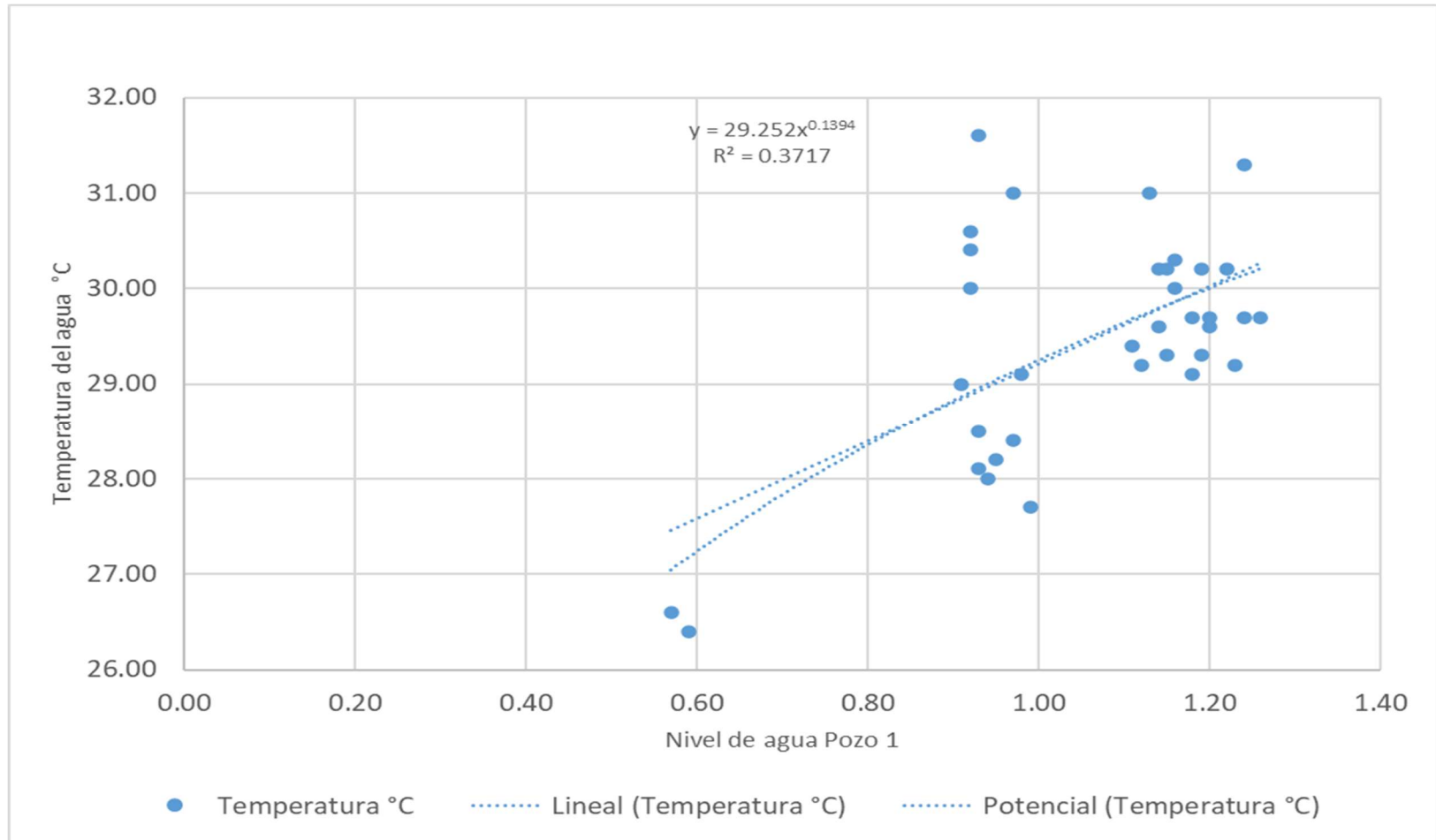
Fuente: Elaboración propia.

Figura 4.51 Relación entre el pH vs nivel de agua Sujal pozo 1



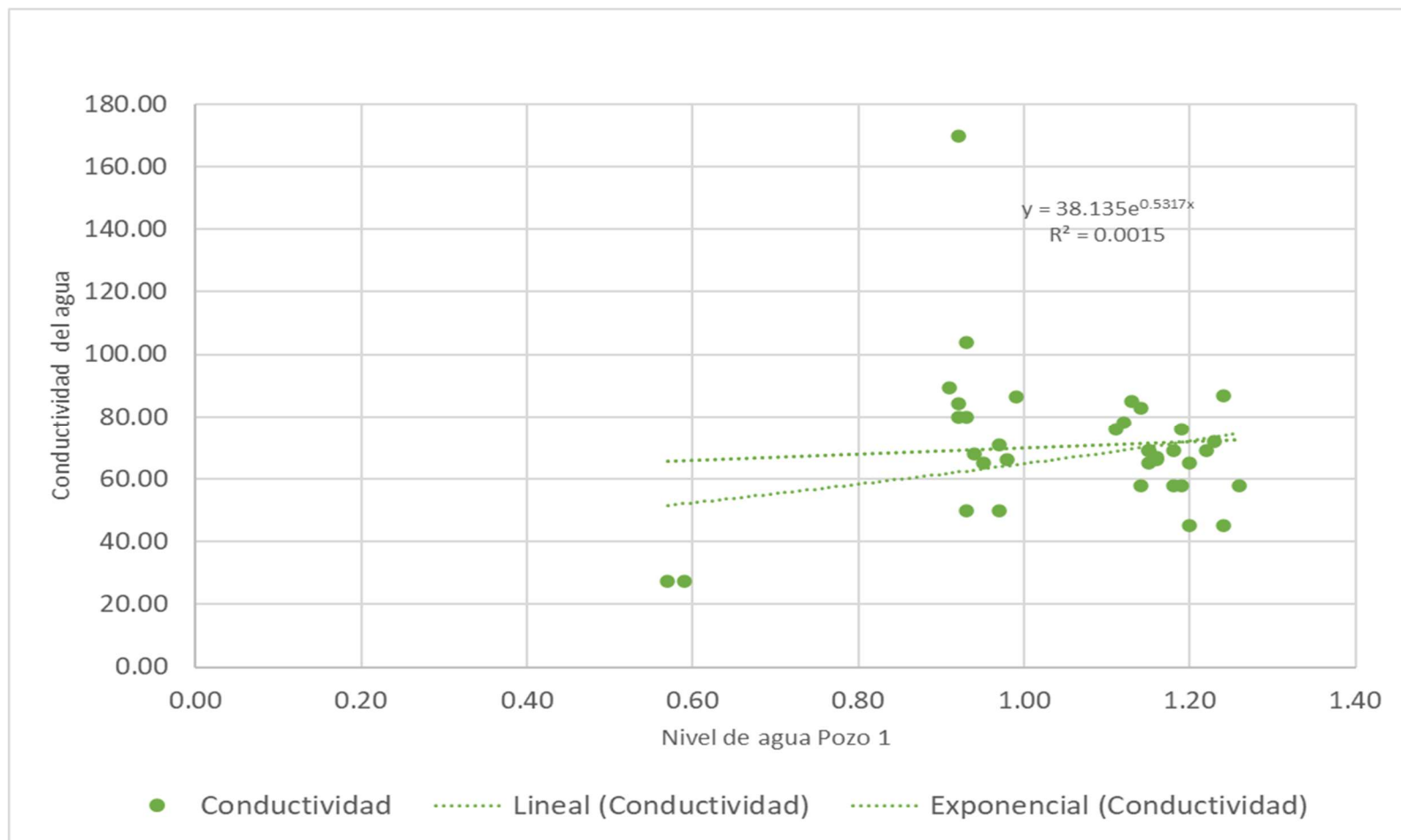
Fuente: Elaboración propia.

Figura 4.52 Relación entre temperatura de agua vs nivel de agua Sujal pozo 1



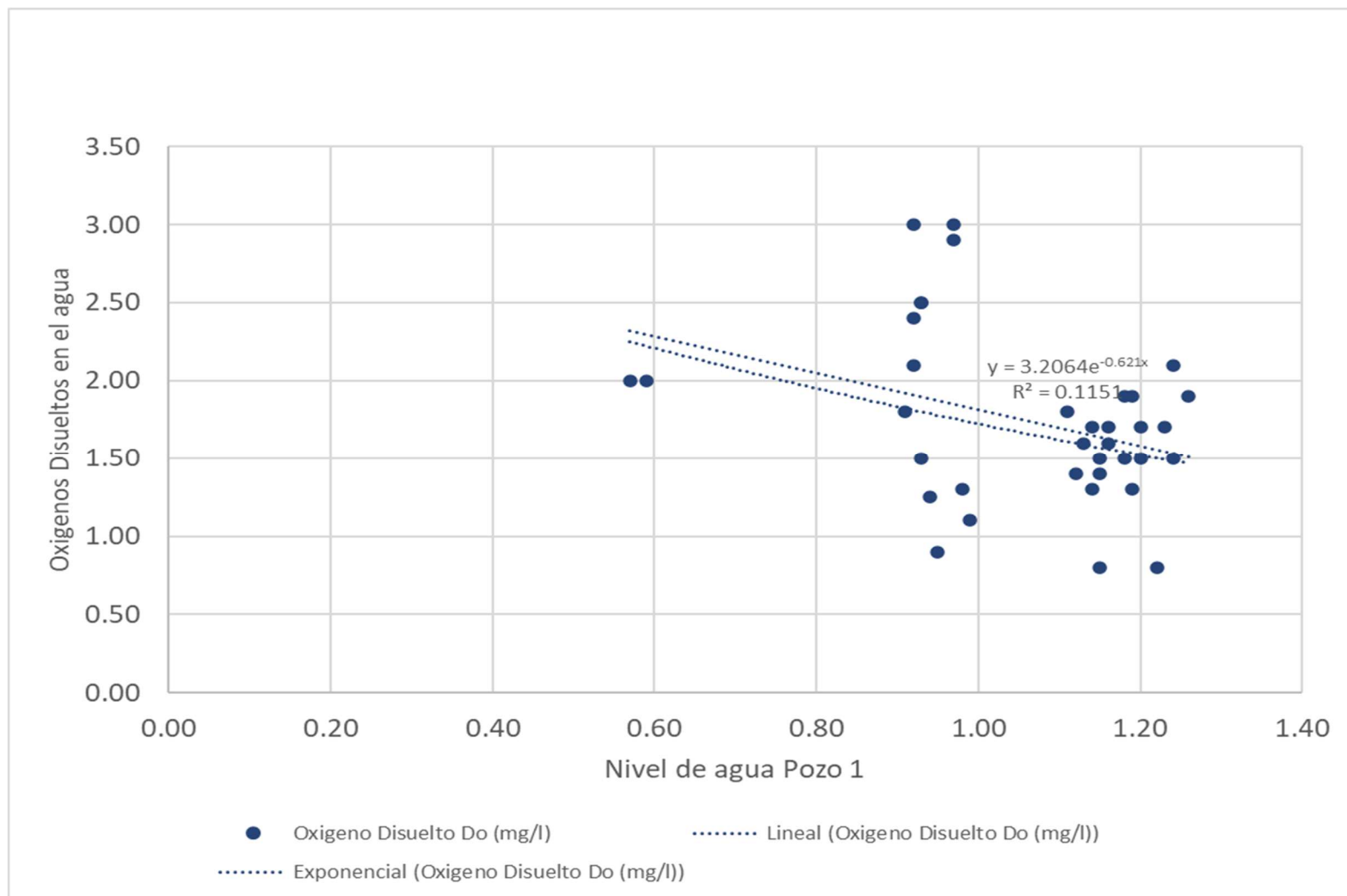
Fuente: Elaboración propia.

Figura 4.53 Relación entre conductividad de agua vs nivel de agua Sujal pozo 1



Fuente: Elaboración propia.

Figura 4.54 Relación entre oxígeno disuelto en el agua vs nivel de agua Sujal pozo 1



Fuente: Elaboración propia.

Figura 4.55 Variable en el tiempo vs nivel de agua Sujal pozo 1

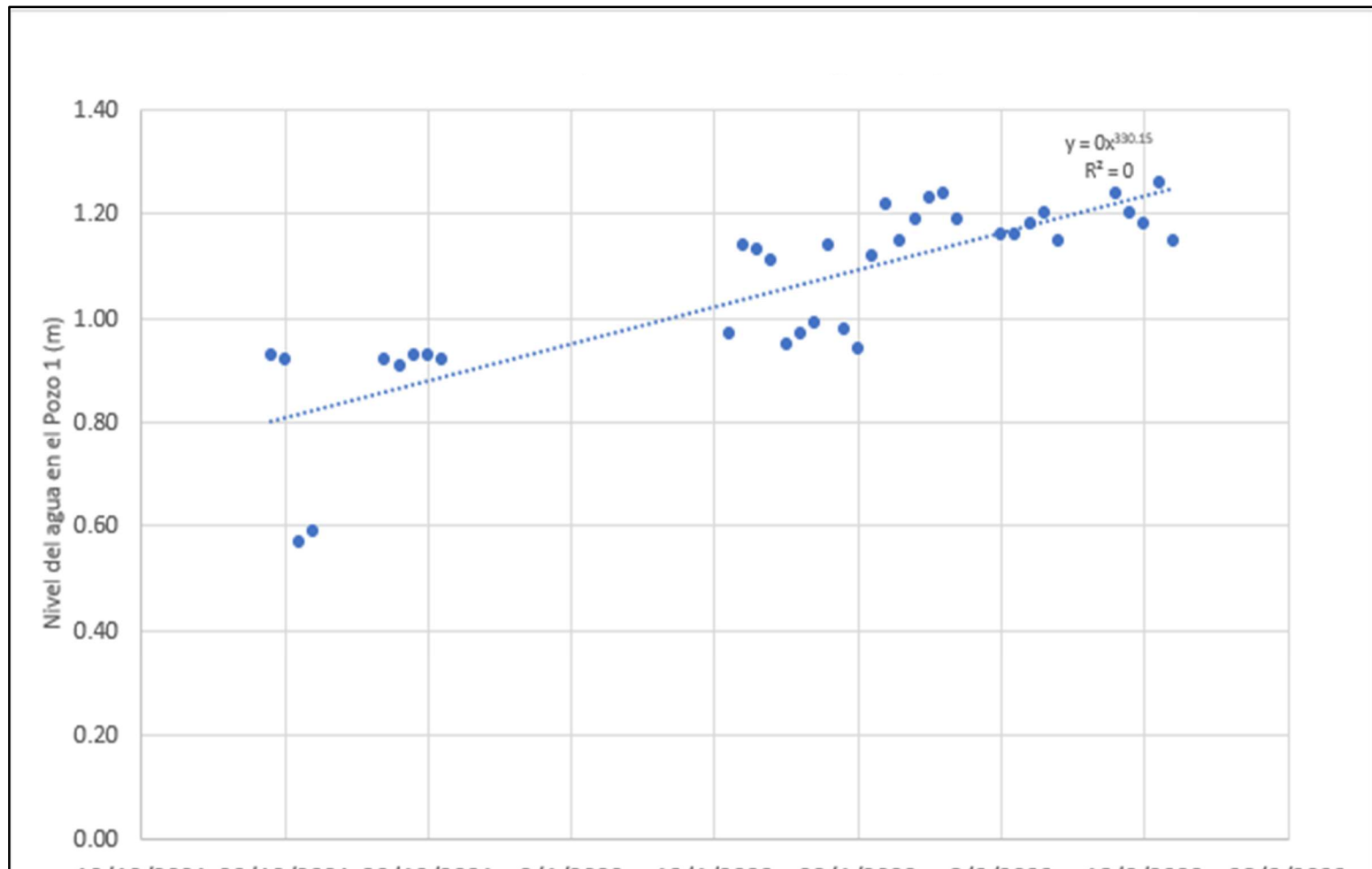
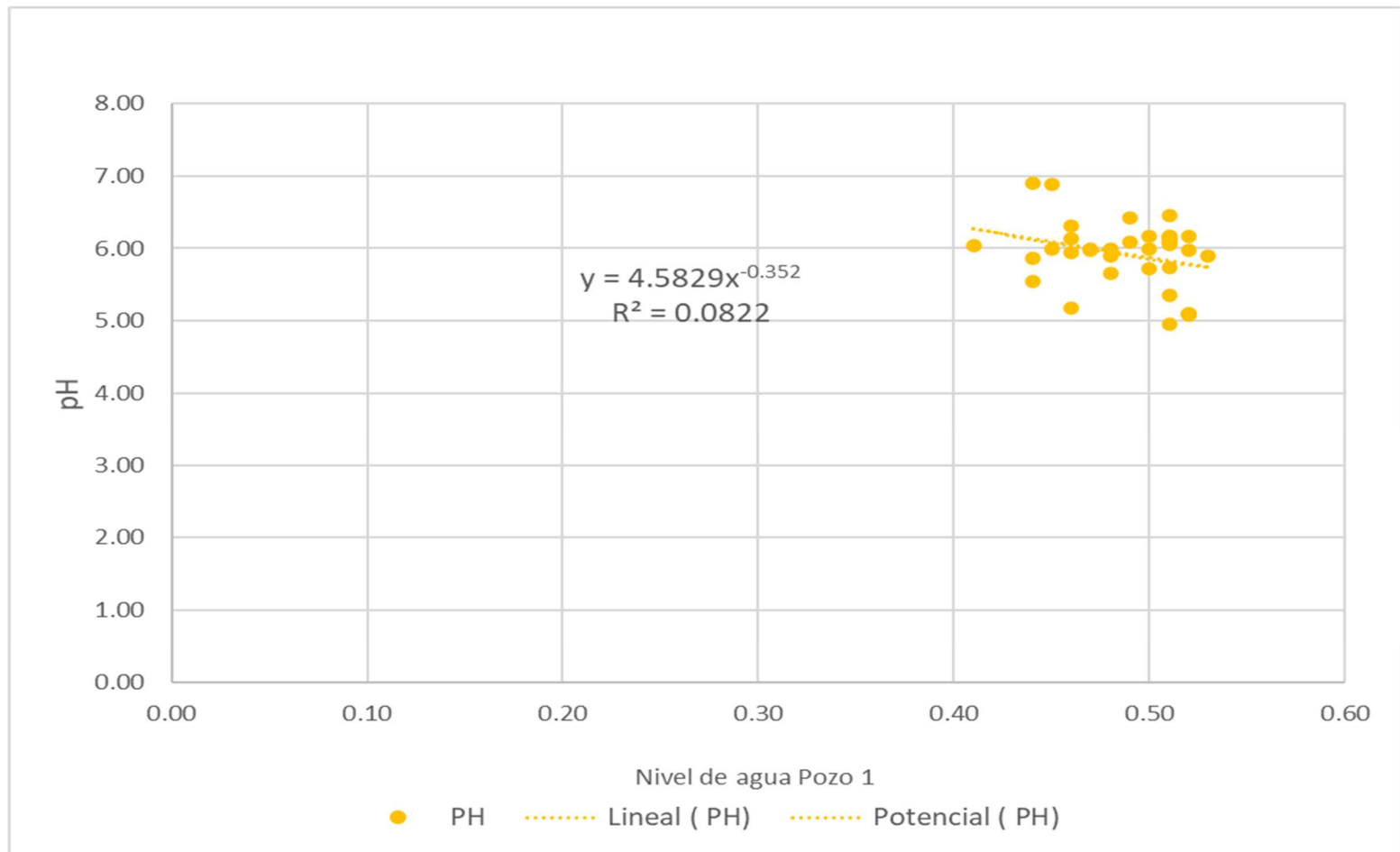
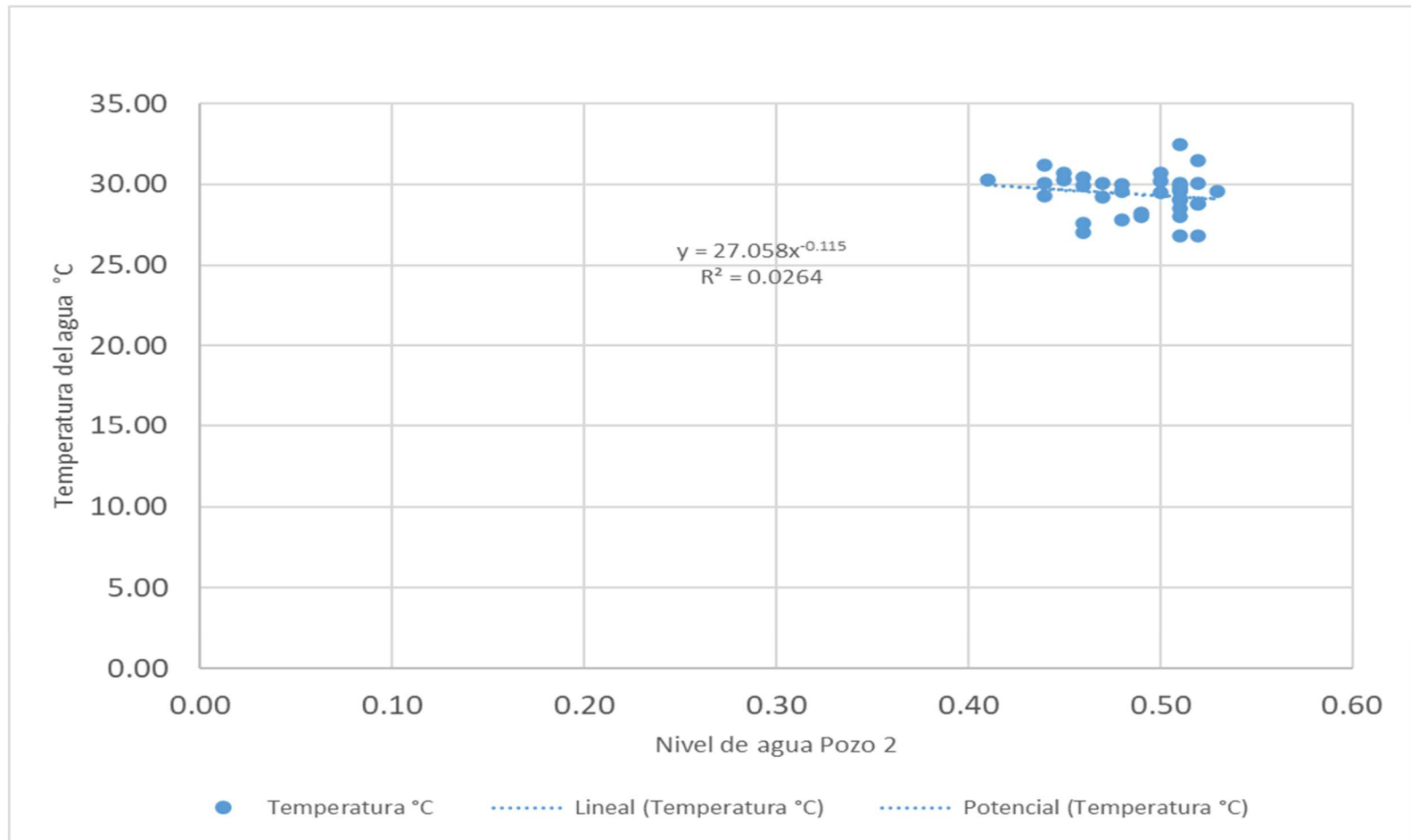


Figura 4.56 Relación entre el pH vs nivel de agua Sujal pozo 2



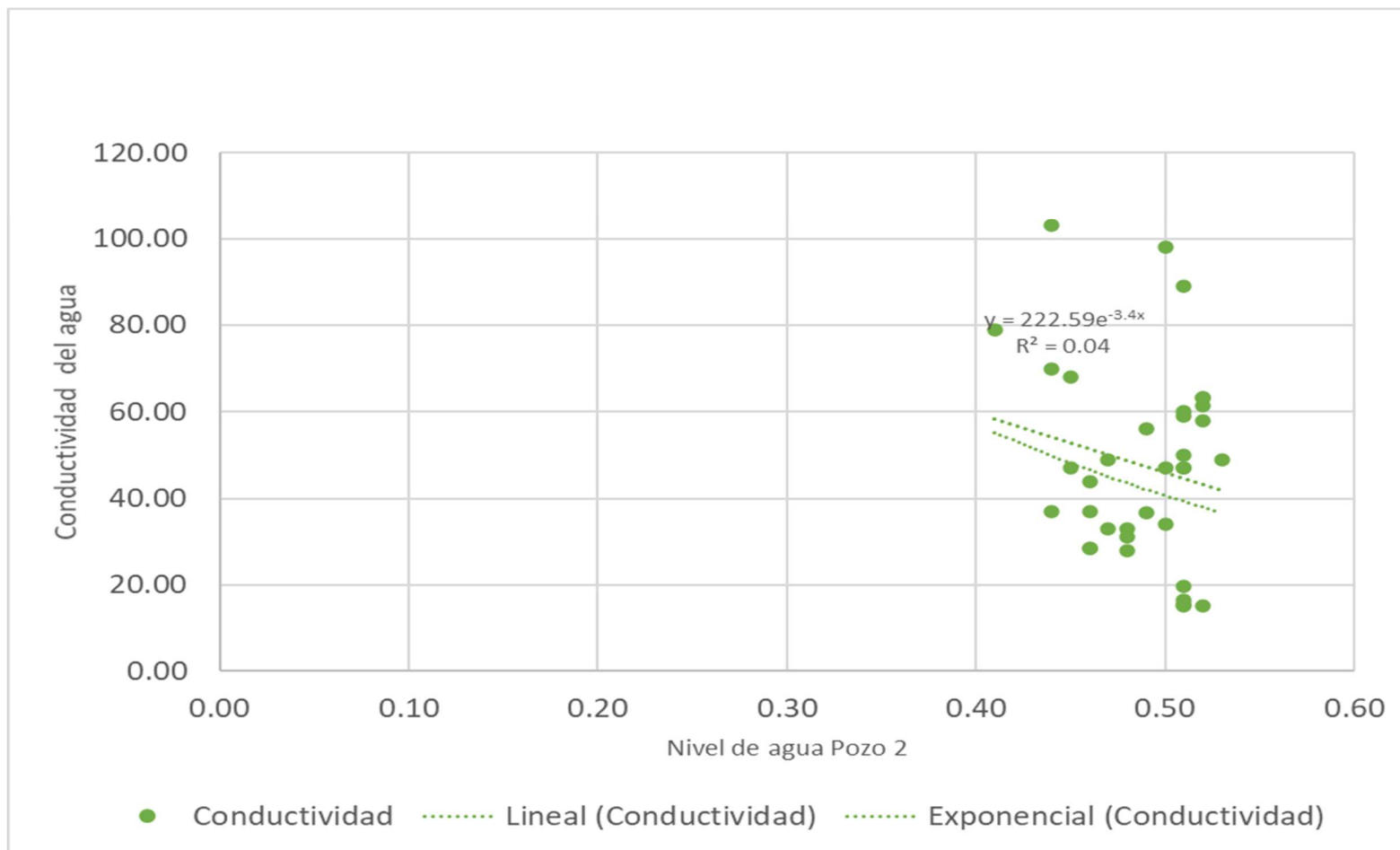
Fuente: Elaboración propia.

Figura 4.57 Relación entre temperatura de agua vs nivel de agua Sujal pozo 2



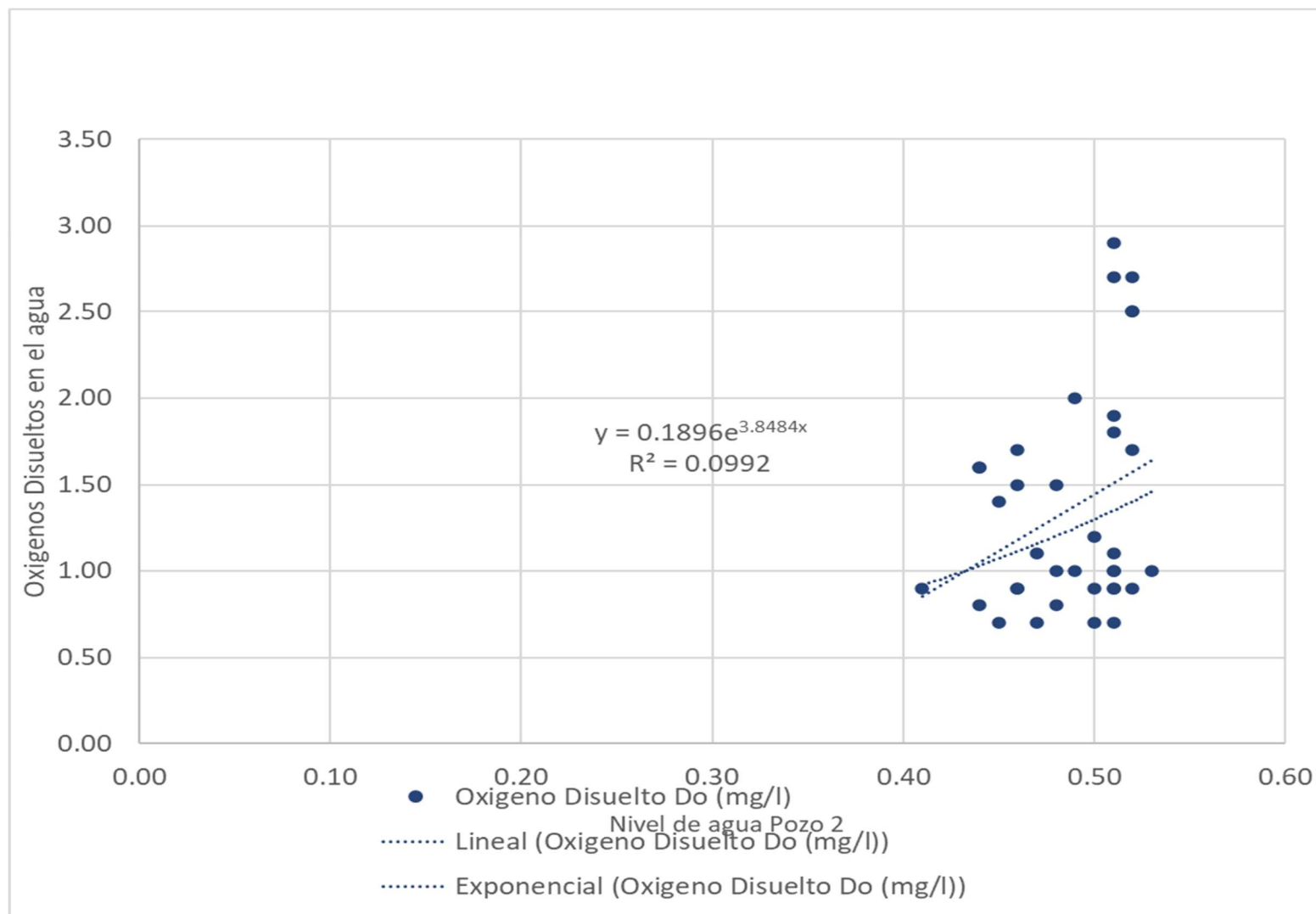
Fuente: Elaboración propia.

Figura 4.58 Relación entre conductividad de agua vs nivel de agua Sujal pozo 2



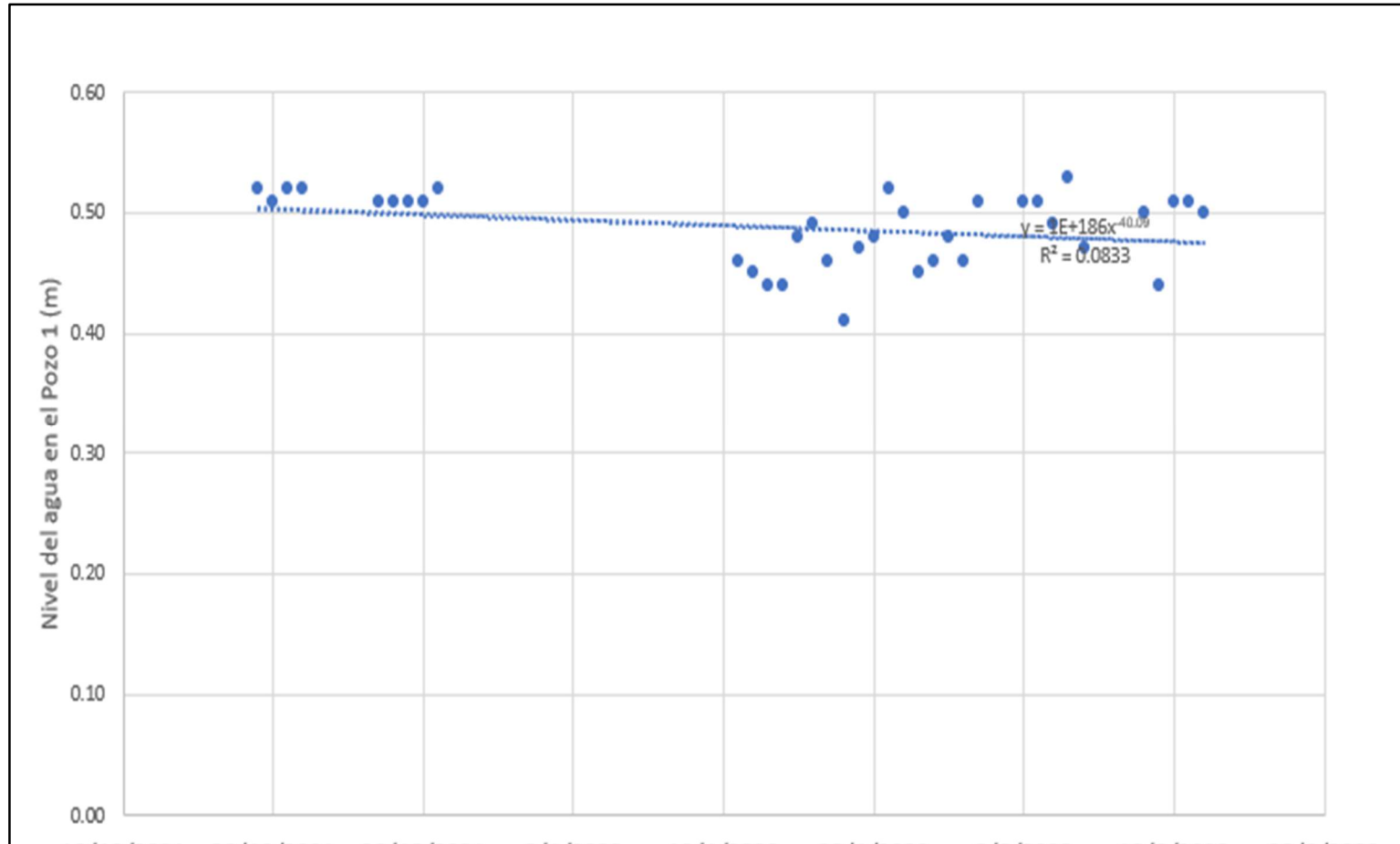
Fuente: Elaboración propia.

Figura 4.59 Relación entre oxígeno disuelto en el agua vs nivel de agua Sujal pozo 2



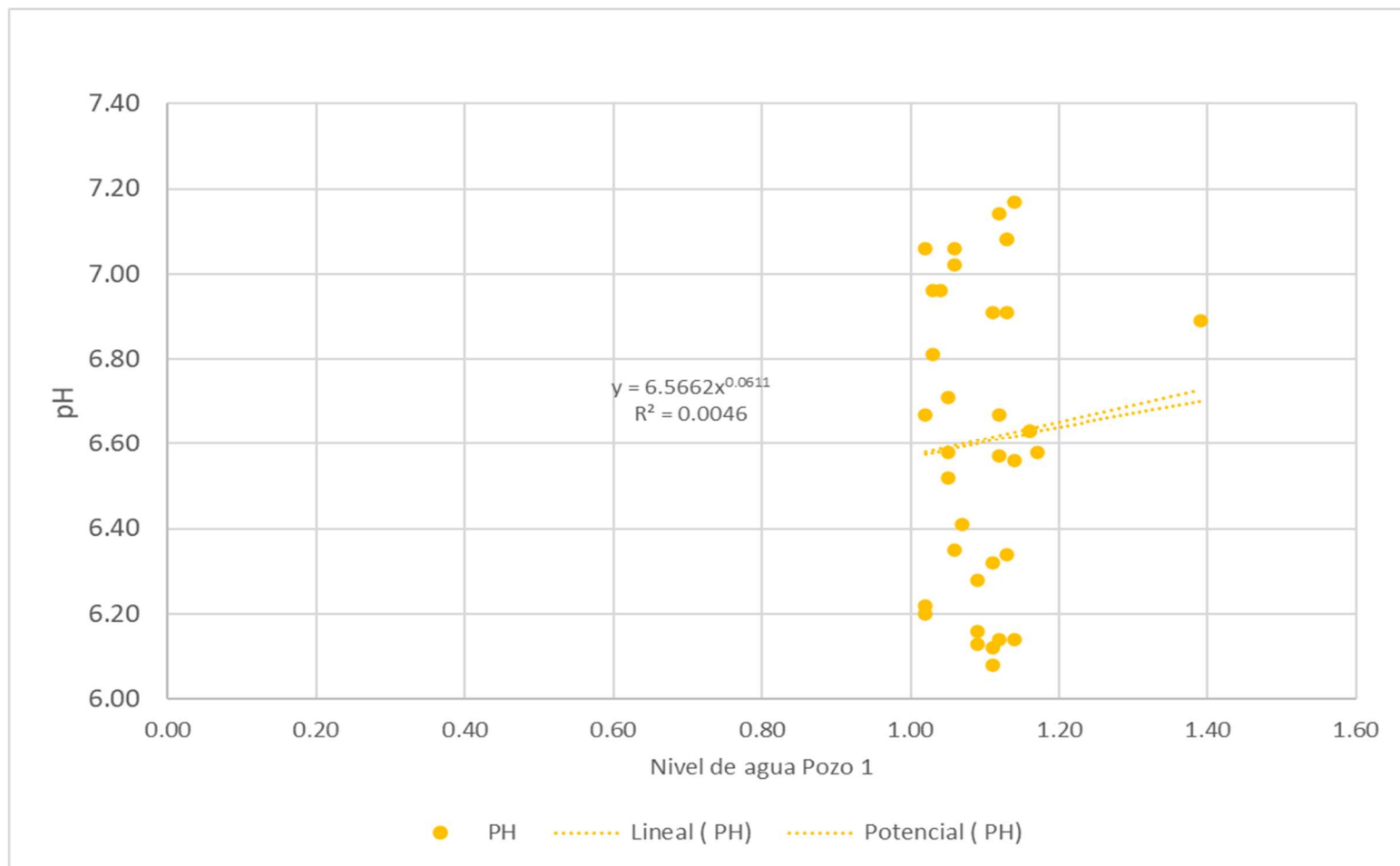
Fuente: Elaboración propia.

Figura 4.60 Variable en el tiempo vs nivel de agua Sujal pozo 2



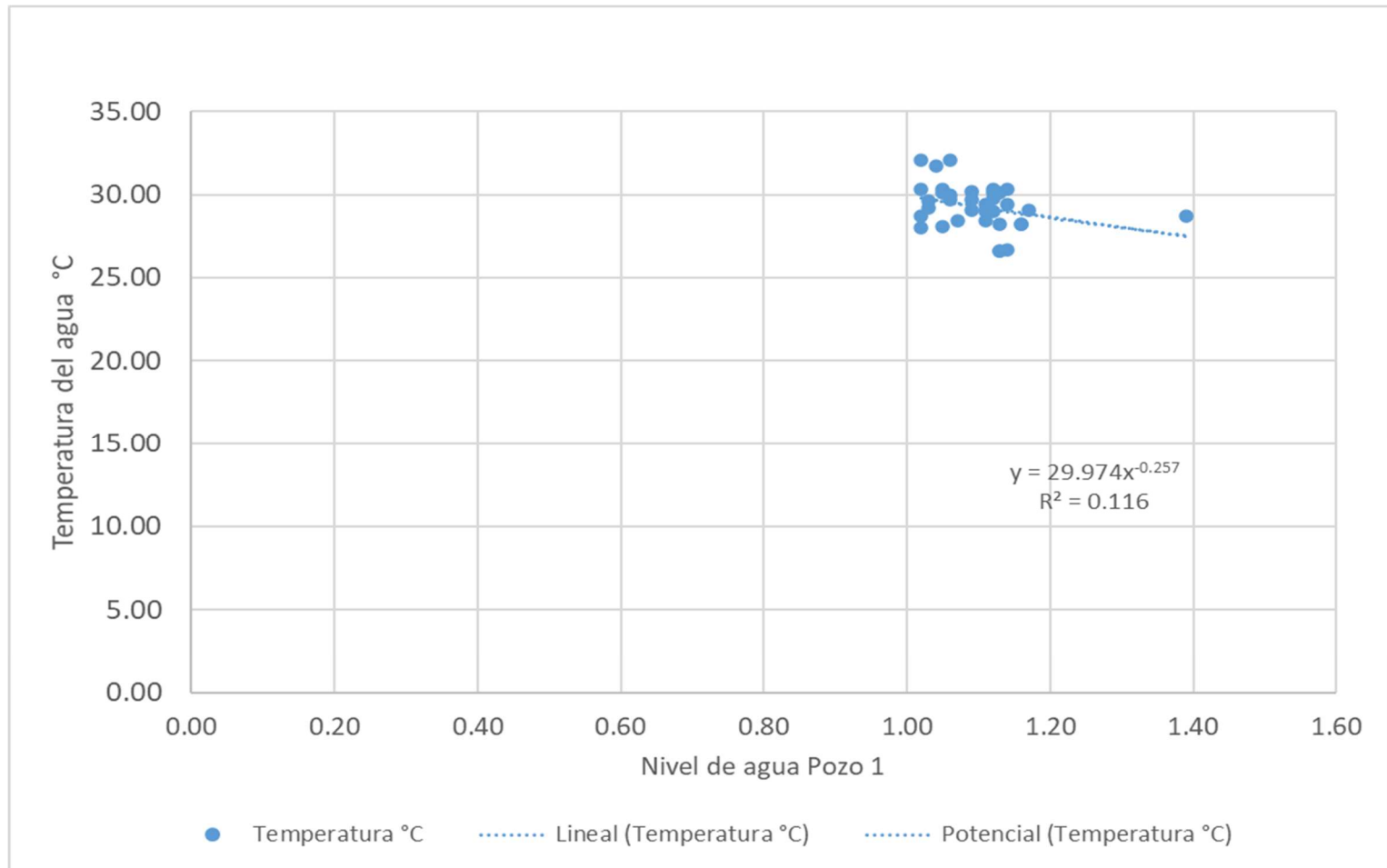
Fuente: Elaboración propia.

Figura 4.61 Relación entre el pH vs nivel de agua Zofra pozo 1



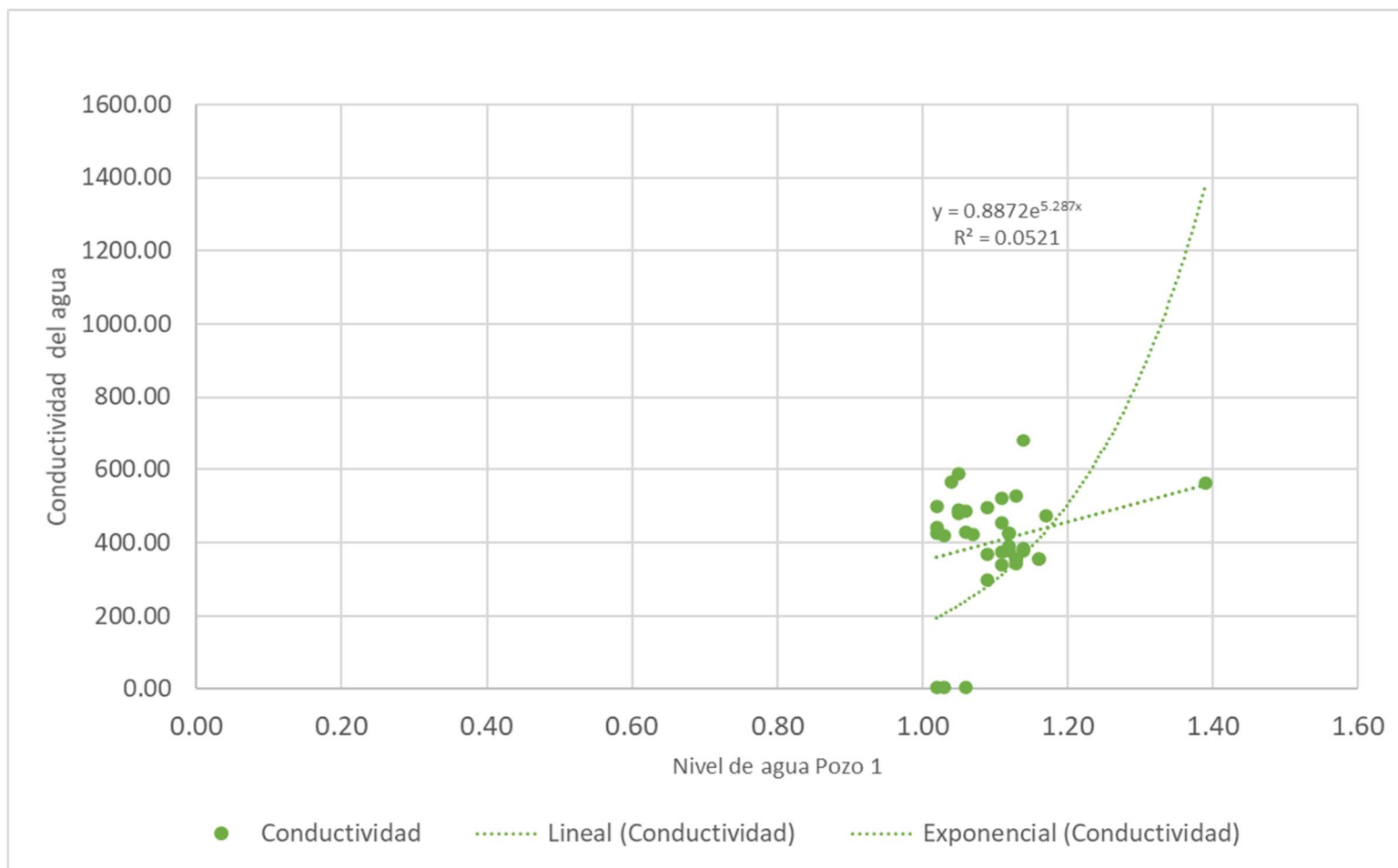
Fuente: Elaboración propia.

Figura 4.62 Relación entre temperatura de agua vs nivel de agua Zofra pozo 1



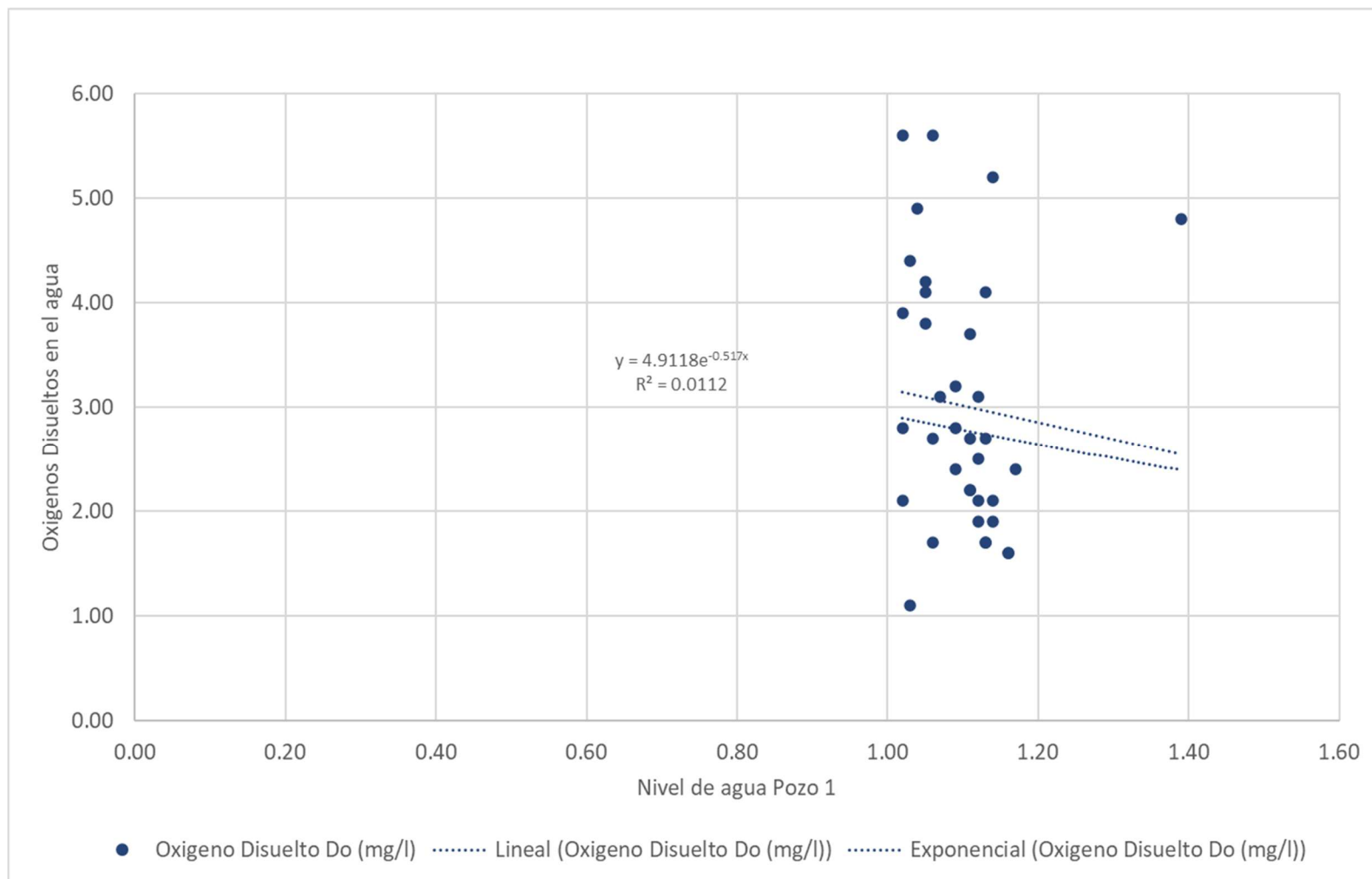
Fuente: Elaboración propia.

Figura 4.63 Relación entre conductividad de agua vs nivel de agua Zofra pozo 1



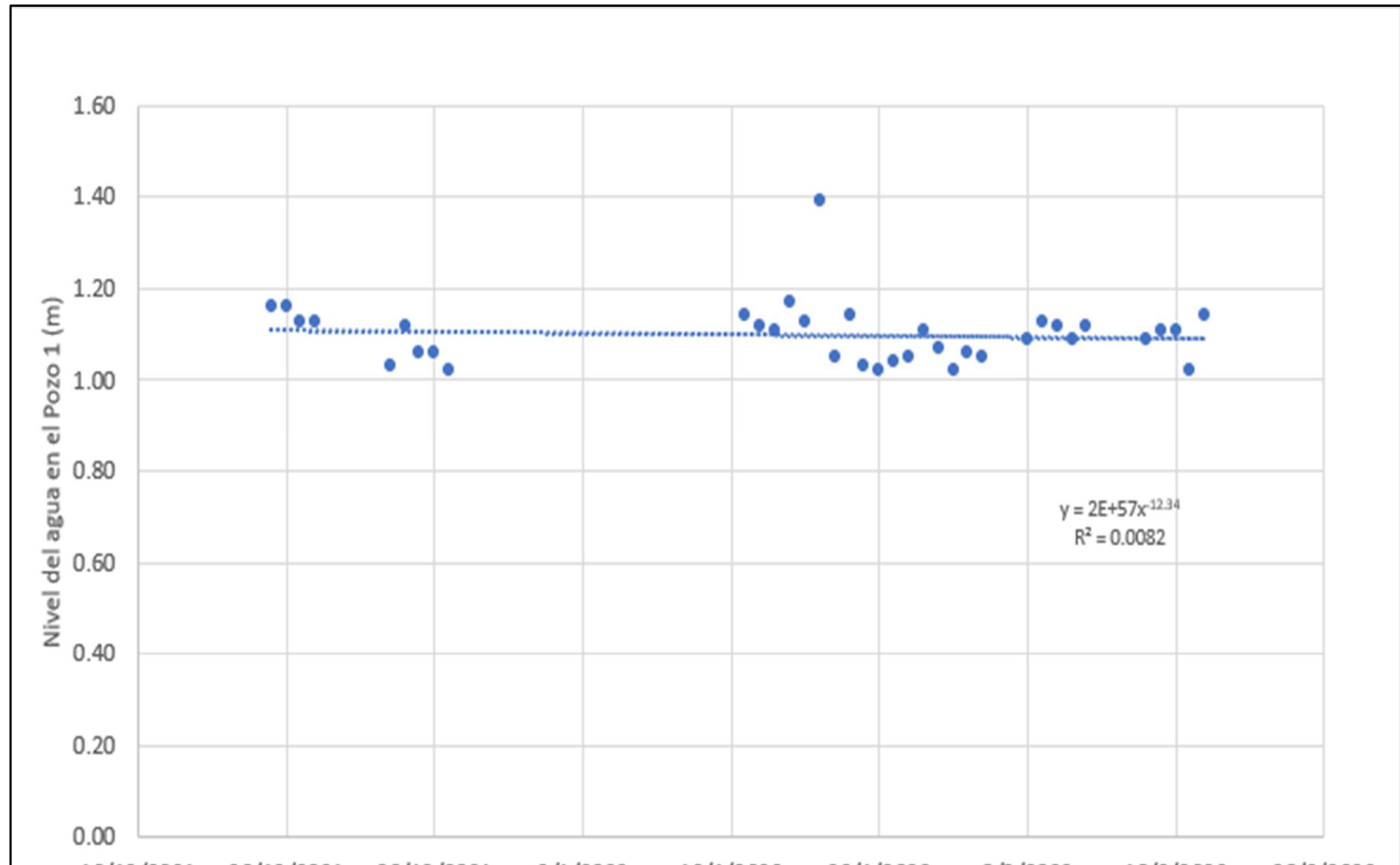
Fuente: Elaboración propia.

Figura 4.64 Relación entre oxígeno disuelto en el agua vs nivel de agua Zofra pozo 1



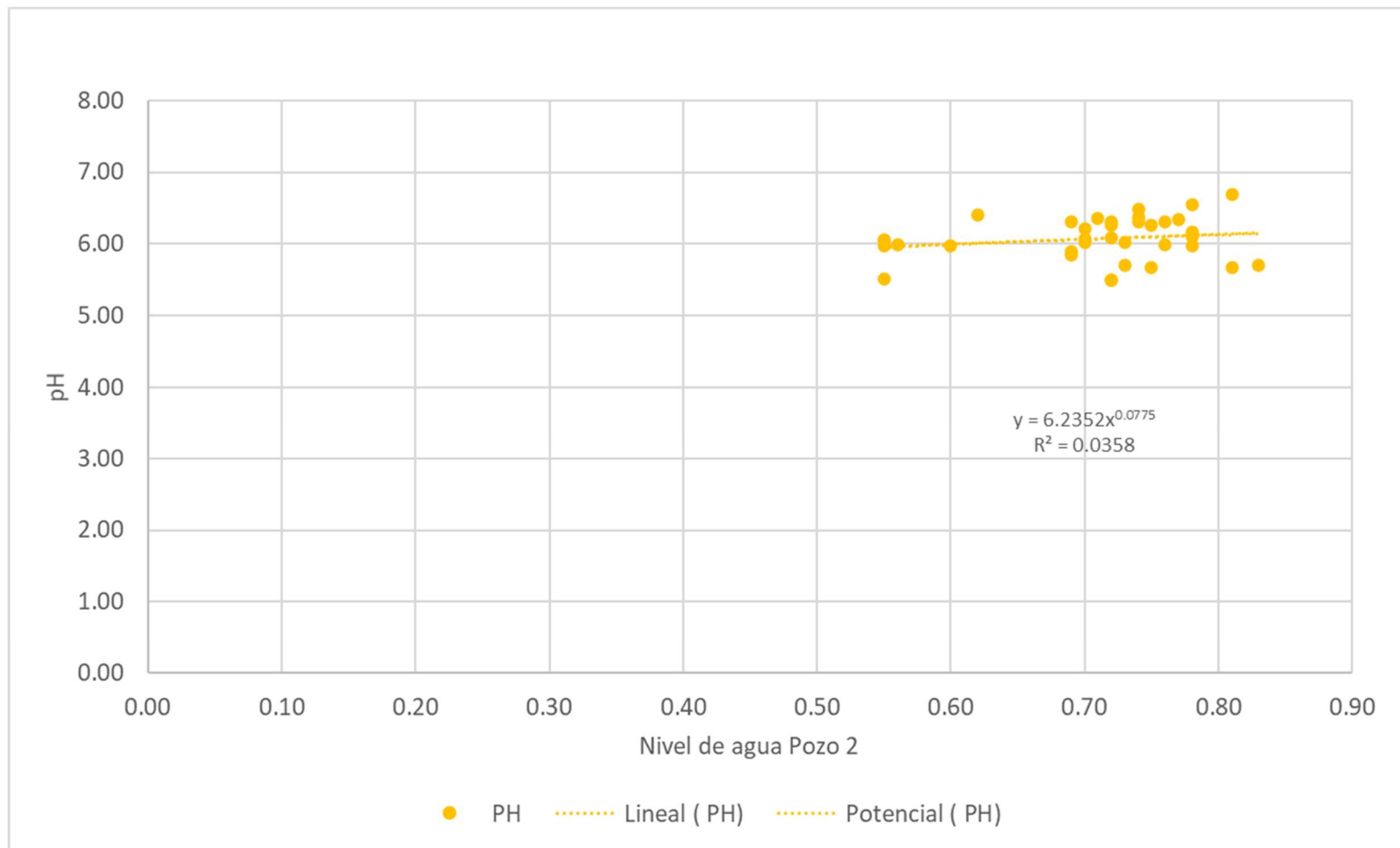
Fuente: Elaboración propia.

Figura 4.65 Variable en el tiempo vs nivel de agua Zofra pozo 1



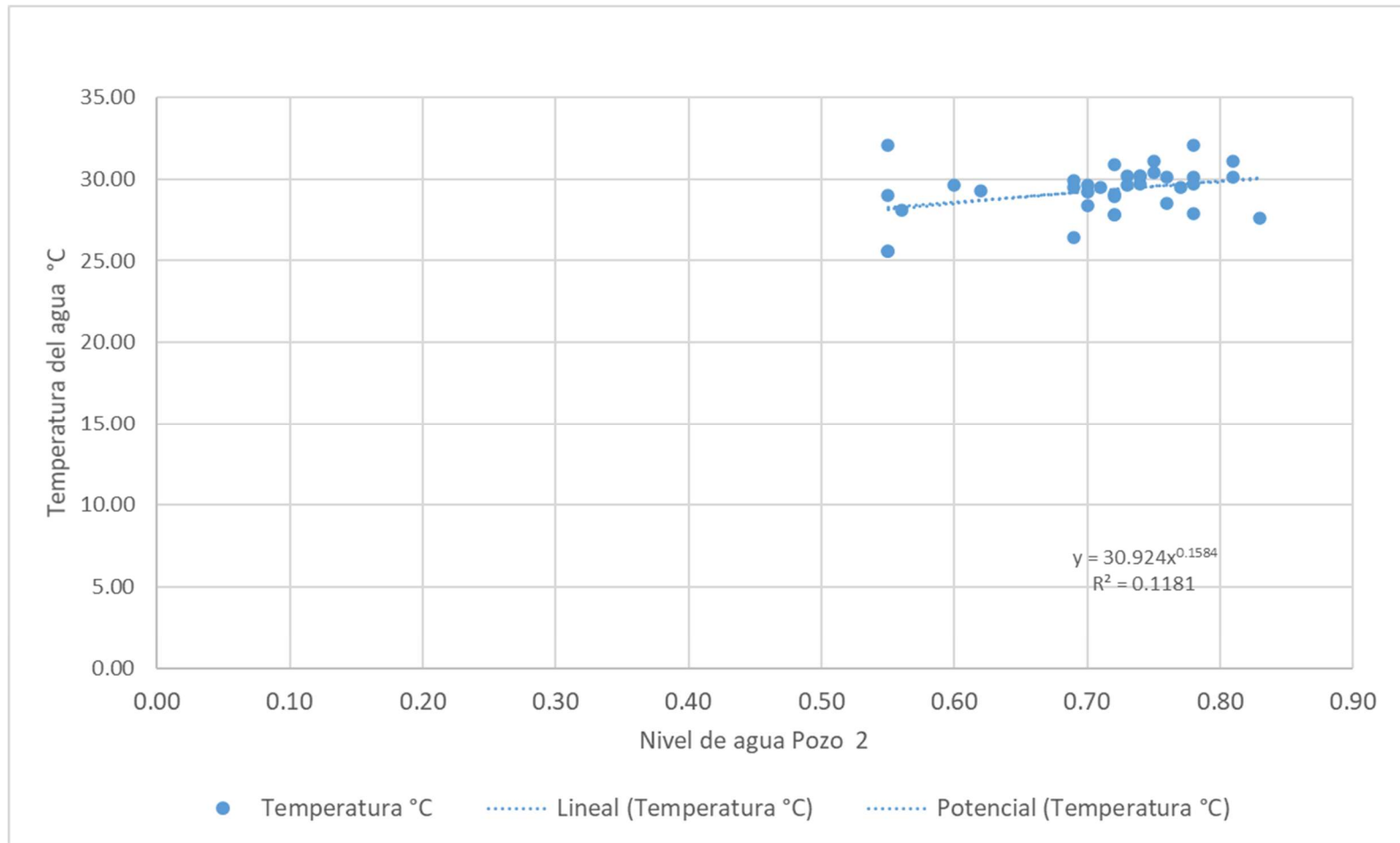
Fuente: Elaboración propia.

Figura 4.66 Relación entre el pH vs nivel de agua Zofra pozo 2



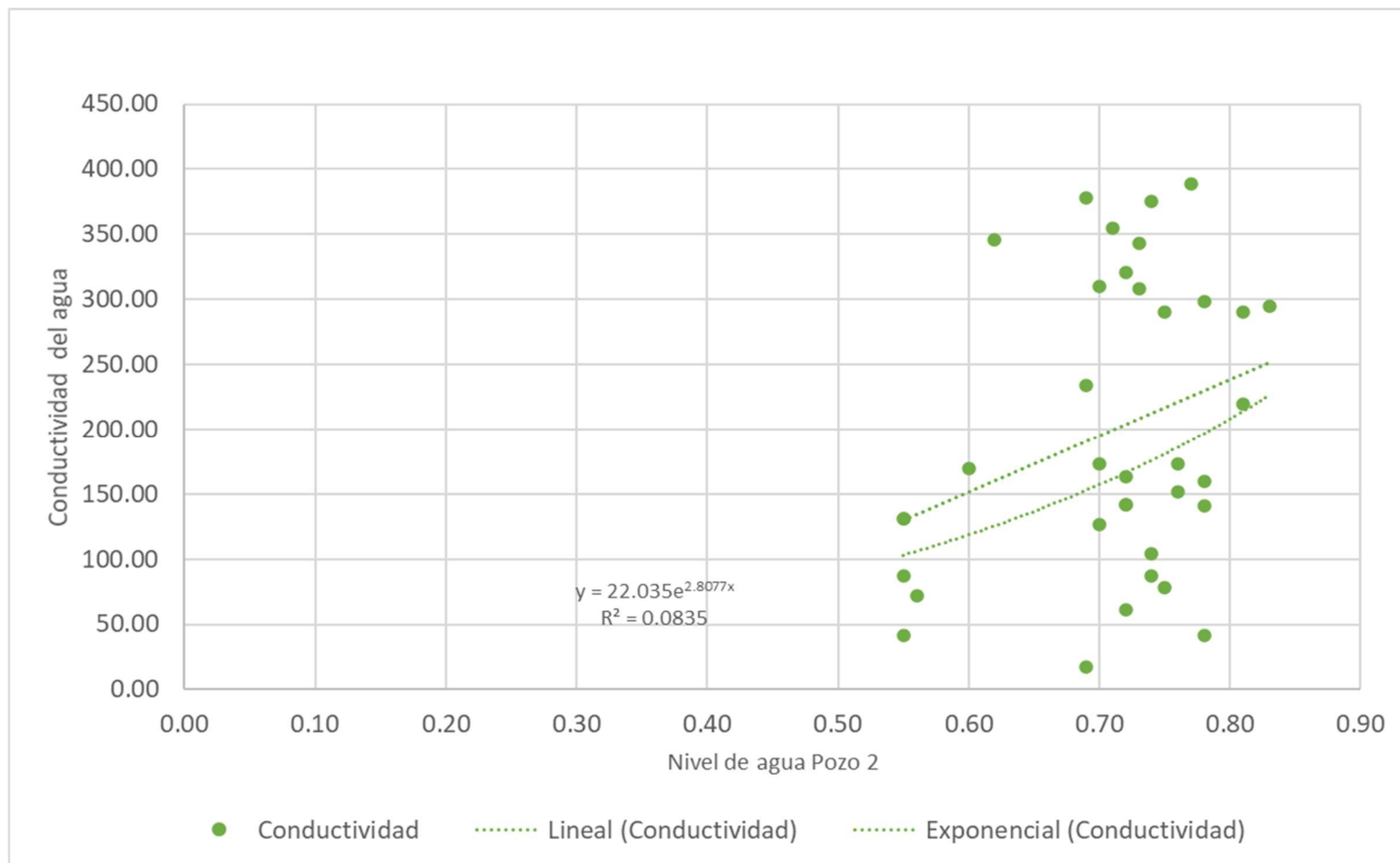
Fuente: Elaboración propia.

Figura 4.67 Relación entre temperatura de agua vs nivel de agua Zofra pozo 2



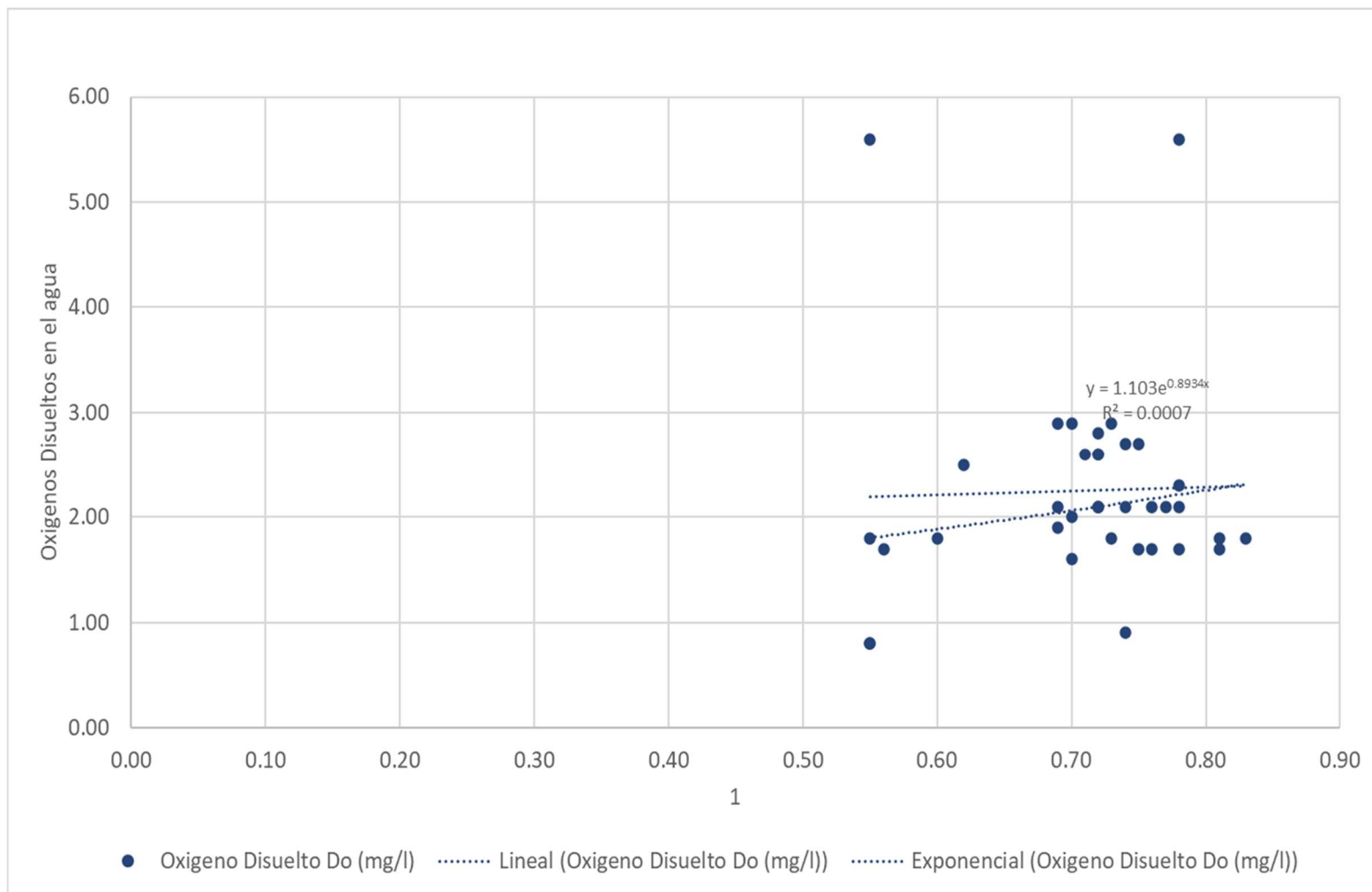
Fuente: Elaboración propia.

Figura 4.68 Relación entre conductividad de agua vs nivel de agua Zofra pozo 2



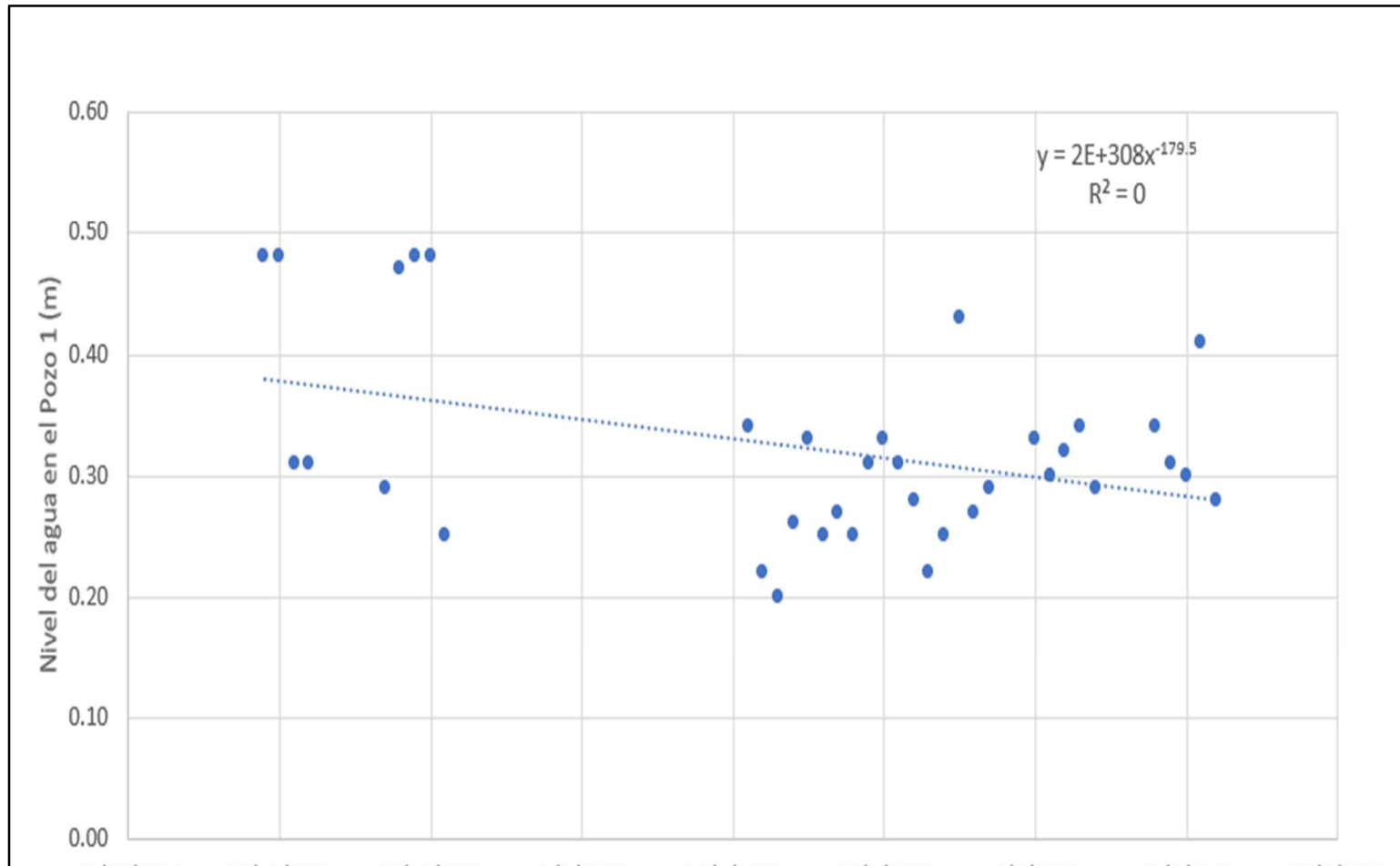
Fuente: Elaboración propia.

Figura 4.69 Relación entre oxígeno disuelto en el agua vs nivel de agua Zofra pozo 2



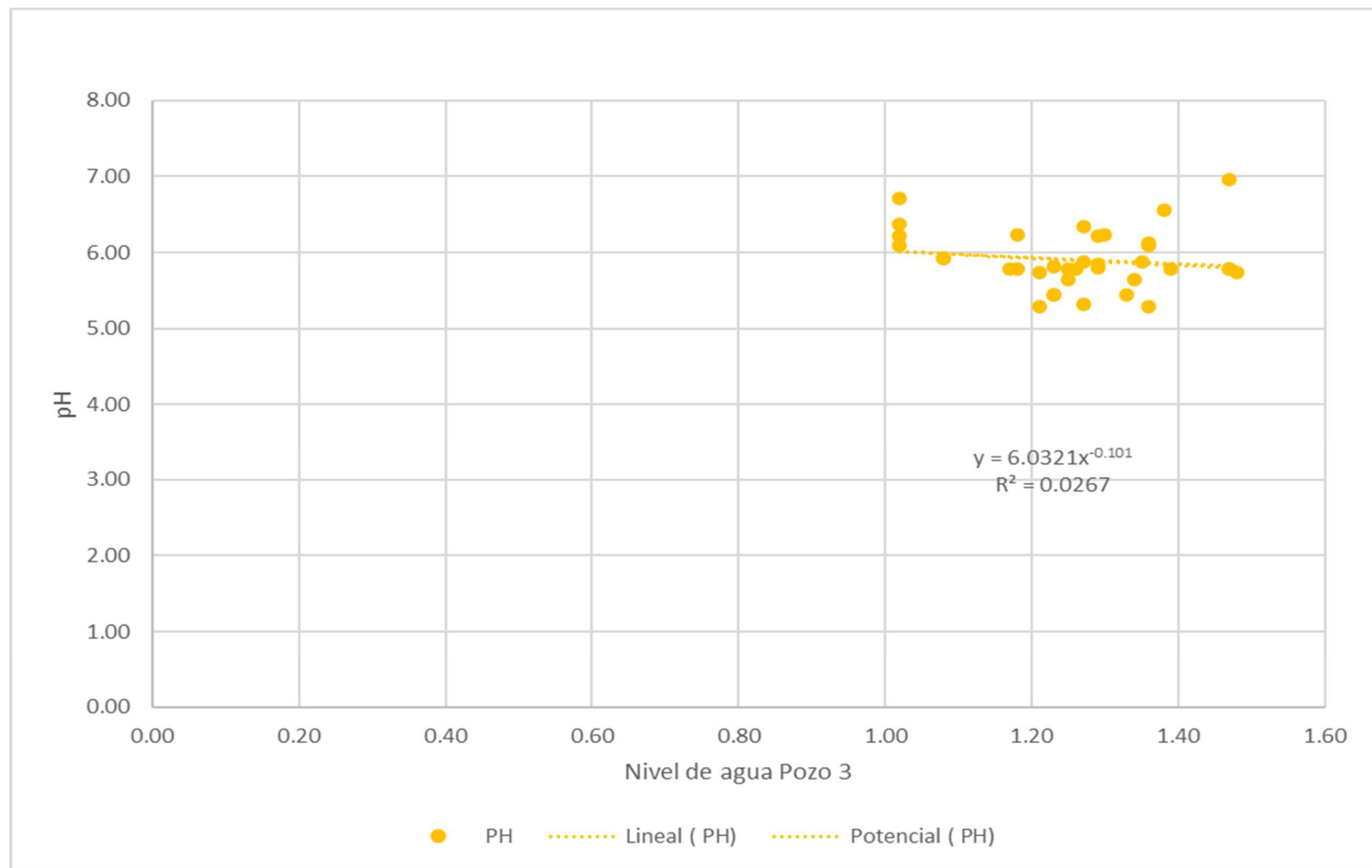
Fuente: Elaboración propia.

Figura 4.70 Variable en el tiempo vs nivel de agua Zofra pozo 2



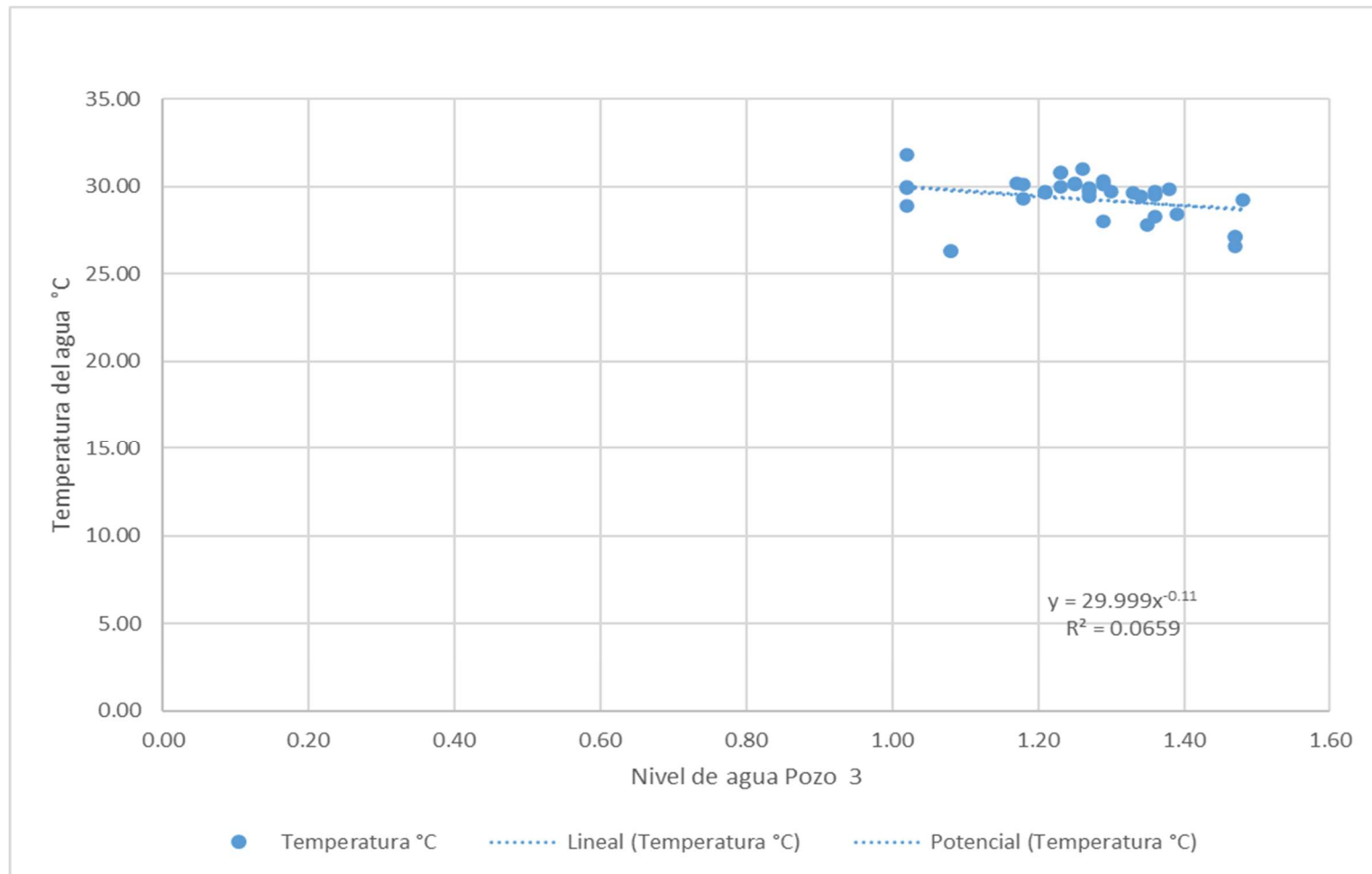
Fuente: Elaboración propia.

Figura 4.71 Relación entre el pH vs nivel de agua Zofra pozo 3



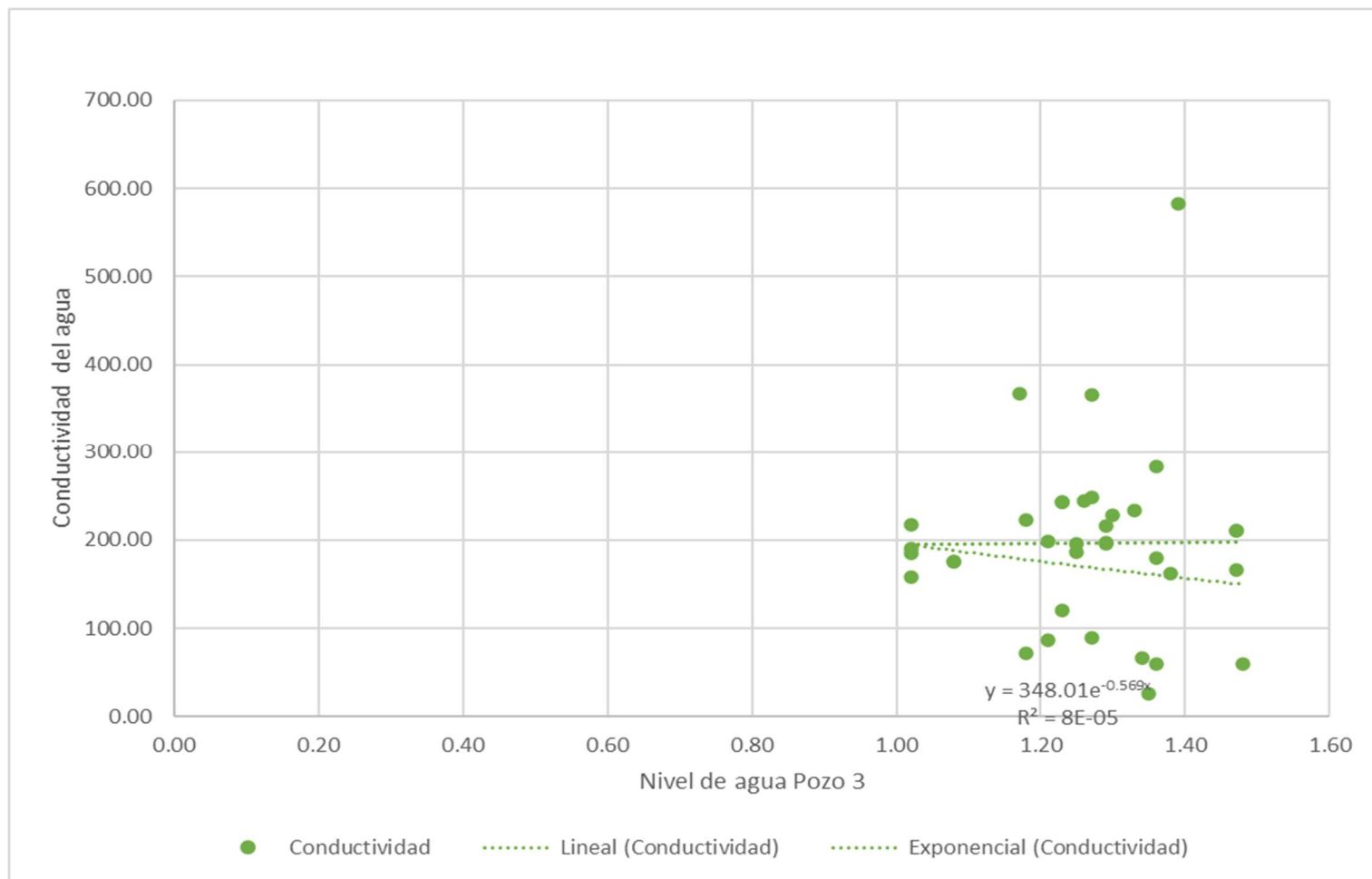
Fuente: Elaboración propia.

Figura 4.72 Relación entre temperatura de agua vs nivel de agua Zofra pozo 3



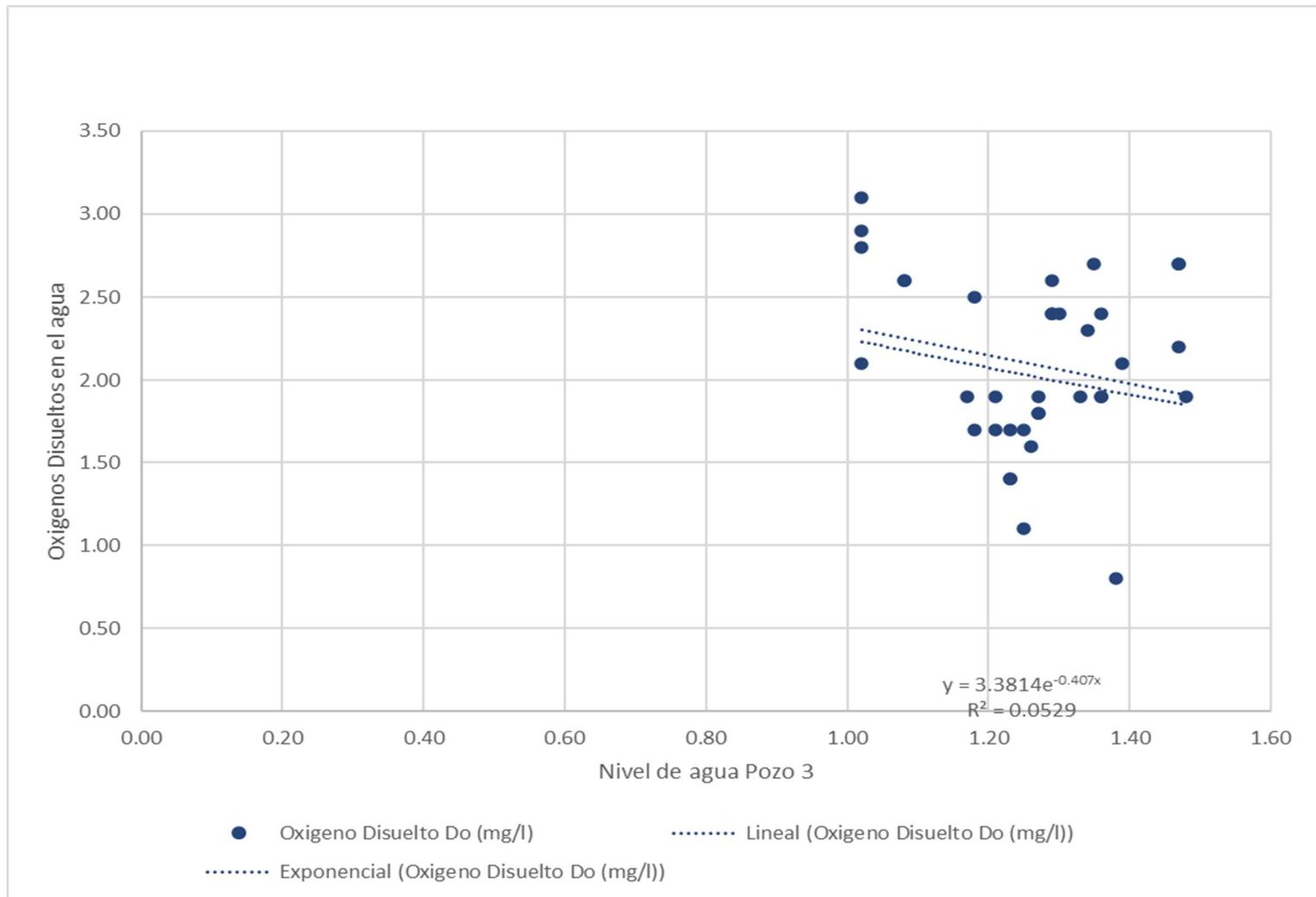
Fuente: Elaboración propia.

Figura 4.73 Relación entre conductividad de agua vs nivel de agua Zofra pozo 3



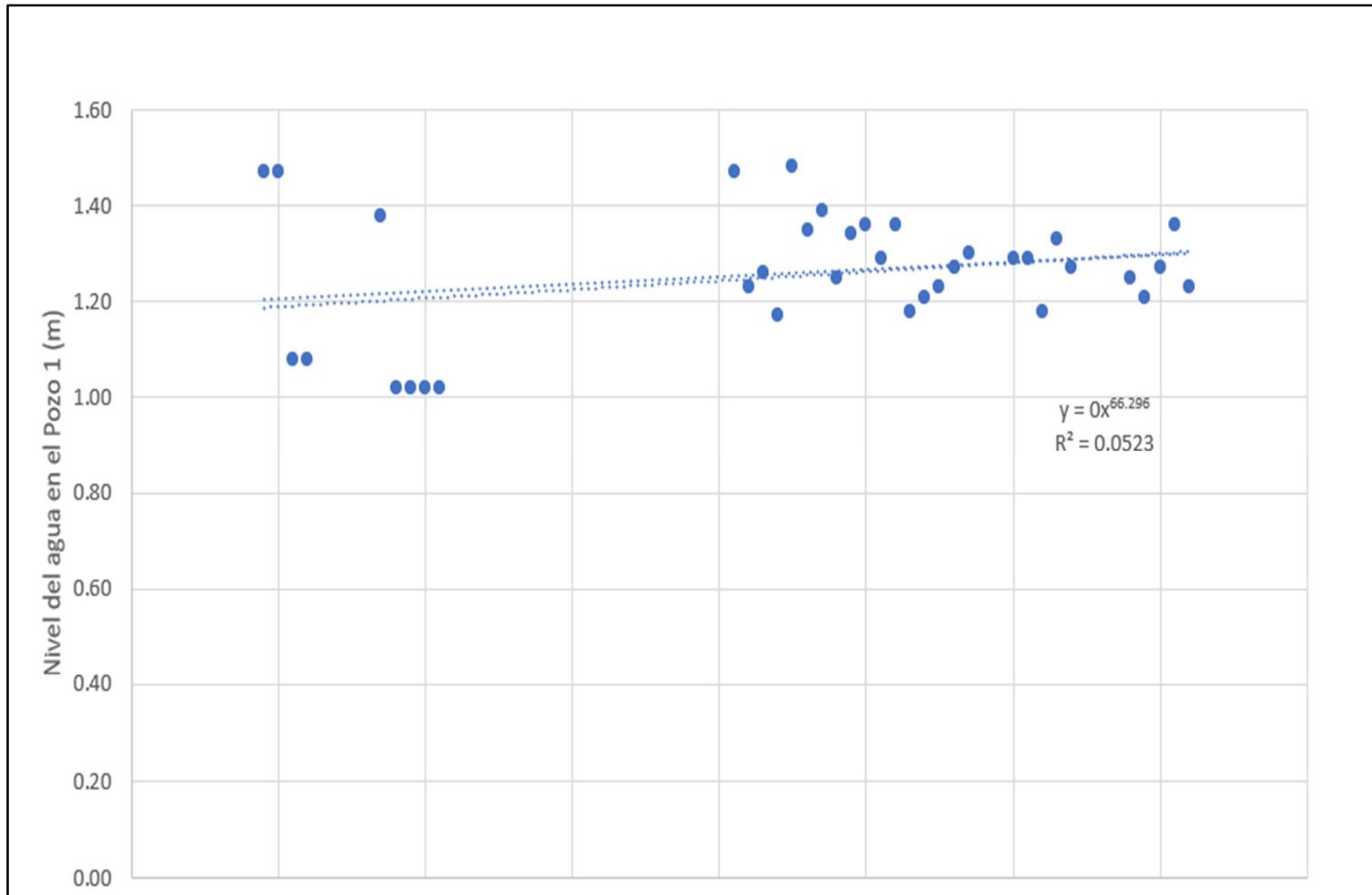
Fuente: Elaboración propia.

Figura 4.74 Relación entre oxígeno disuelto en el agua vs nivel de agua Zofra pozo 3



Fuente: Elaboración propia.

Figura 4.75 Variable en el tiempo vs nivel de agua Zofra pozo 3



Fuente: Elaboración propia.

4.4.4.5 Microcuencas de aporte a la subcuenca arroyo Virtudes

Del análisis de las áreas de aporte se observa que las perforaciones ubicadas en el sector **Zofra** presentan superficies de contribución superiores a **2 km²**, mientras que la perforación **P1 del sector Sujal** posee un área de aporte de apenas **0,21 km²**. Esta diferencia responde principalmente a la configuración del relieve, la ubicación de las divisorias de aguas y la distribución de la red de drenaje de la subcuenca.

las perforaciones con mayor área de aporte concentran el escurrimiento generado en una superficie más extensa, por lo que su comportamiento hidrológico es más representativo de la dinámica de la subcuenca. En contraste, las perforaciones con áreas de aporte reducidas reflejan condiciones locales de drenaje y presentan una respuesta más rápida y específica ante los eventos de precipitación.

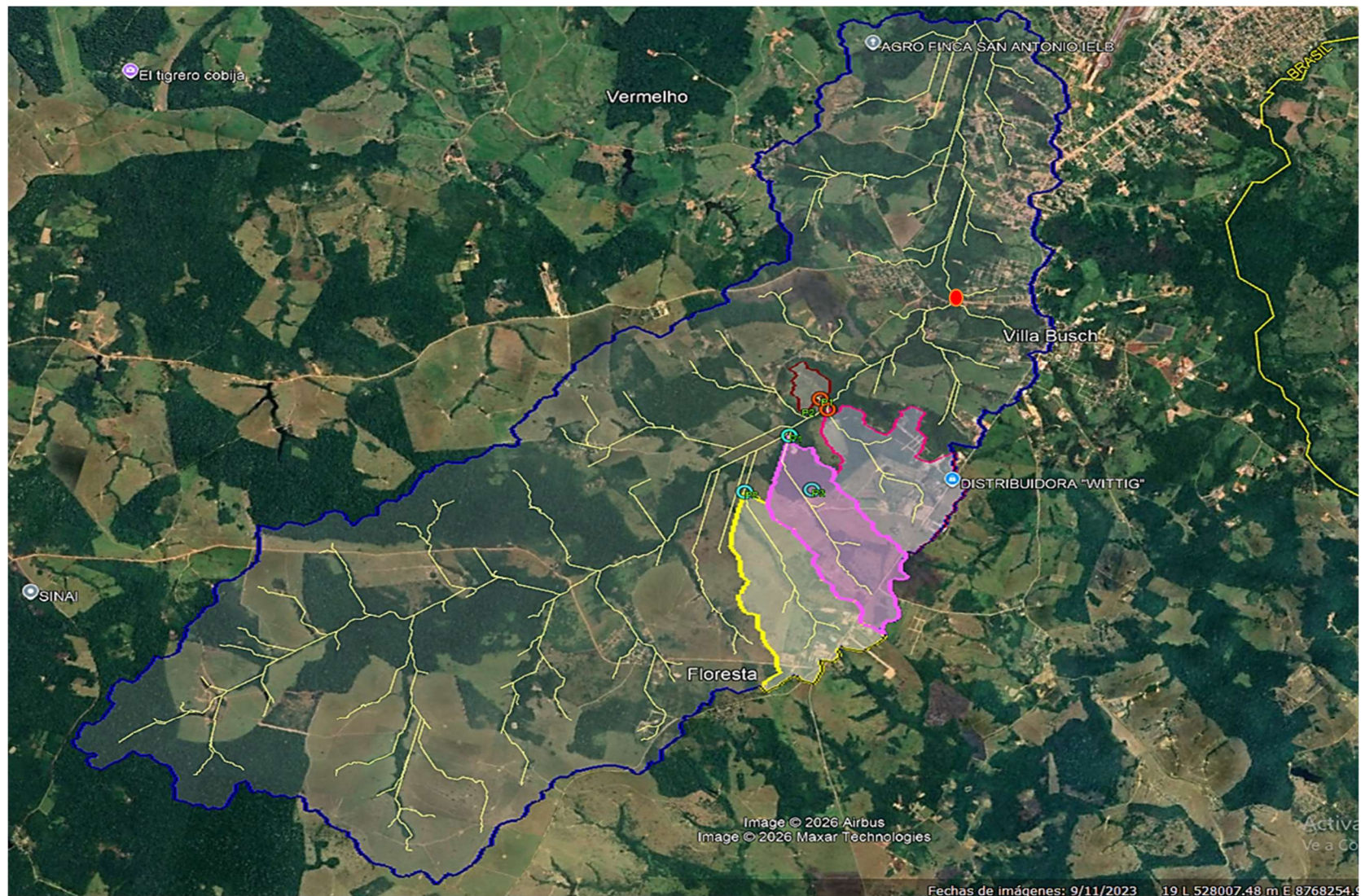
En consecuencia, la delimitación de las áreas de aporte permitió comprender la distribución espacial del escurrimiento superficial, identificar la influencia hidrológica de cada punto de monitoreo y disponer de información técnica para el análisis integral de la subcuenca Bajo Virtudes.

Tabla 4.54 Ubicación de las microcuencas

Puntos	Lugar	Coordenadas (UTM)		Área de microcuenca
P1	Sujal	521393.00	8772917.00	0.21 km2
P2	Sujal	521517.00	8772793.00	2.18 km
P1	Zofra	521158.00	8772310.00	2.10 km2
P2	Zofra	520832.00	8771393.00	2.44 km2
P3	Zofra	521622.00	8771627.00	Esta dentro del área del punto P1 de zofra.

Fuente: Elaboración propia.

Figura 4.76 Delimitación de las microcuencas del arroyo Virtudes



Fuente: Elaboración propia.

CAPITULO V: RESULTADOS

5.1 Delimitación de la subcuenca

En cumplimiento al primer objetivo específico se logró delimitar la subcuenca del Arroyo Virtudes. A partir de un modelo digital de elevación (DIM) en el software ArcGIS 10.3. Obteniendo los siguientes resultados:

Área de la Subcuenca Virtudes: 62.26 km²

Perímetro de la Subcuenca 48.65 km

Longitud de la Subcuenca: 15.02 km

Se adjunta Mapa temático de la Subcuenca virtudes.

5.2 Características físicas y parámetros geomorfológicos de la Subcuenca

De acuerdo al segundo objetivo específico del presente proyecto se logró determinar las características físicas de la cuenca. Como también los parámetros de geomorfológicos (de Forma, relieve y drenaje) de la subcuenca virtudes, a continuación, se muestra los resultados obtenidos:

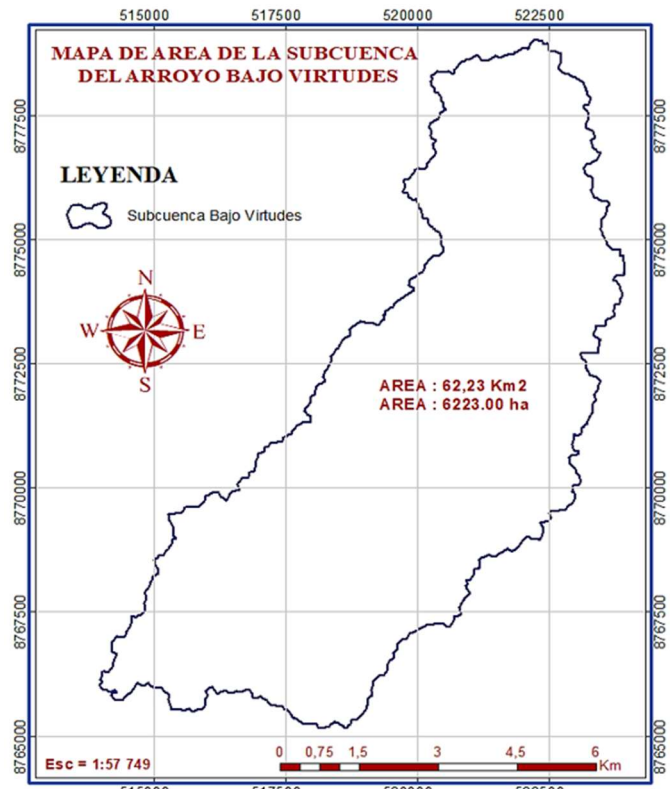
5.2.1 Características Físicas de la subcuenca

Datos de la cuenca		
CARECTERISTICAS FISICAS DE LA CUENCA		
Área de subcuenca (A)	Km2	62.26
Perimeto de subcuenca (P)	Km	48.65
Longitud de la subcuenca (Lc)	Km	15.02
Longitud del rio principal (L)	Km	13.21
Ancho medio de la subcuenca (a)		
Ancho medio=A/Lc	Km	4.14

Área de subcuenca (A)

Está definida como la protección horizontal de toda el área de drenaje de un sistema de escorrentía dirigido directo o indirectamente a un mismo cauce natural, es medido con un planímetro, correlaciones geométricas, en nuestro caso hemos usado el software ArcGIS

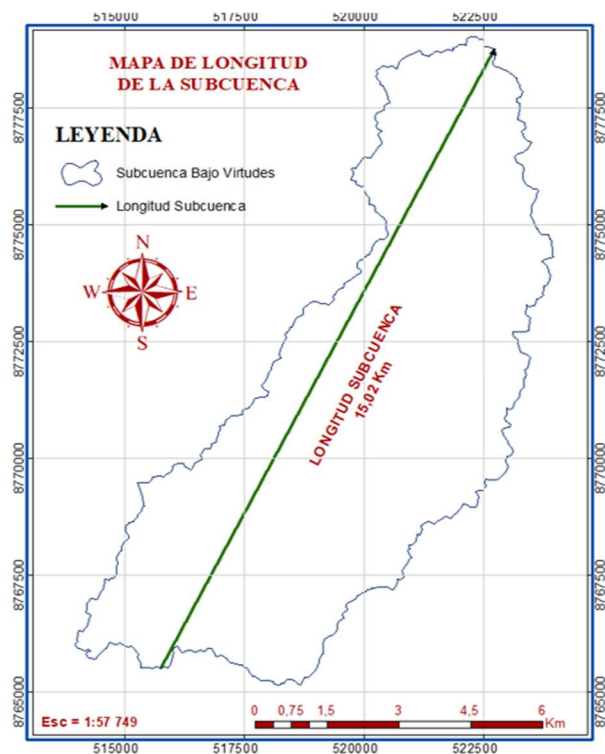
$$\text{Área} = 62.26 \text{ km}^2$$



Longitud de la subcuenca

Se entiende por longitud de cuenca a la longitud de una línea recta con dirección paralela al cauce principal

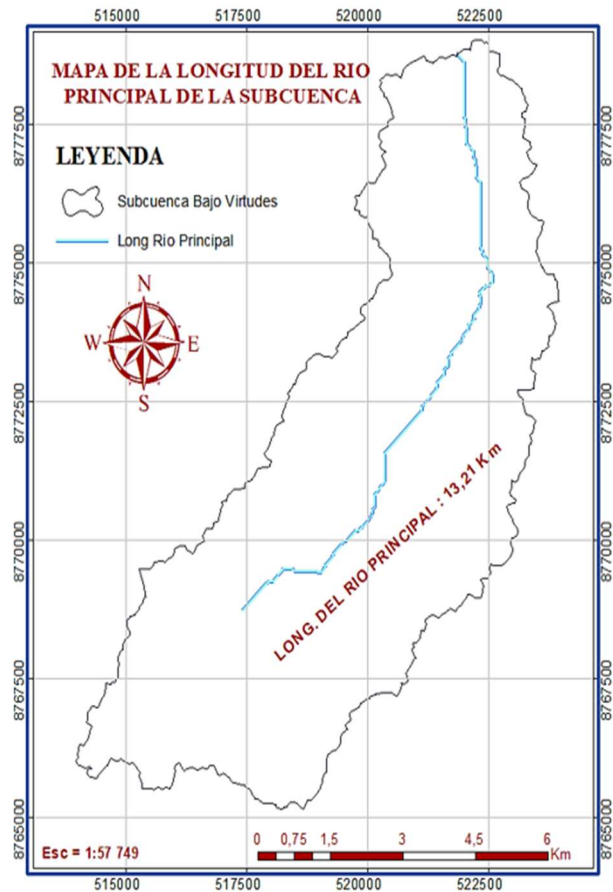
$$\text{Longitud subcuenca} = 15.02 \text{ Km}$$



Longitud del rio principal

La longitud del cauce principal de la subcuenca es de **13,21** kilometro, obtenida desde el punto de aforo Ponderosa hasta la naciente

Longitud= 13.21 km



Ancho medio de la subcuenca (a)

El ancho medio de la subcuenca se define como el cociente del área entre la longitud de la subcuenca.

$$\text{Ancho medio de la subcuenca} = \frac{62,23}{15,02} = 4,14 \text{ km}$$

Fuente: Elaboración propia.

5.2.2 Parámetros de forma

Índice de compacidad de Gravelius (Ic)		
$Ic = 0.282 * (\frac{P}{\sqrt{A}})$	$Ic = 1,74 > 1$	(Ic) superior a 1, la subcuenca del arroyo Bajo Virtudes tiene una forma irregular y alargada.
Factor de forma (Ff)		
$Ff = \frac{A}{Lc^2}$	$Ff = 0,28 < 1$	(Ff) es menor a uno, lo que sugiere que la subcuenca tiene una forma alargada u oblonga.
Coeficiente de forma (Kf)		
$Kf = \frac{Bm}{Lmc}$	$Kf = 0,28$	(Kf) es menor a 1, lo que indica que el agua tarda más en concentrarse en la cuenca
Relación de elongación (Re)		
$Kf = \frac{Bm}{Lmc}$	$Re = 0.59$	Indica que está asociada a relieves y pendientes pronunciadas.
Relación de circularidad (Rci)		
$Rci = \frac{4\pi A}{P^2}$	$Rci = 0.33$	Respetando los parámetros de Miller, que la subcuenca Bajo Virtudes tiene una forma alargada. Un valor de Rci cercano a 1 indica que la cuenca tiene una forma más circular, lo que generalmente sugiere una respuesta hidrológica más rápida a las precipitaciones. Valores más bajos de Rci indican formas más alargadas o irregulares, lo que puede resultar en una respuesta hidrológica más lenta.

Rectángulo equivalente o rectángulo de gravelius		
$L = \frac{Ic\sqrt{A}}{1.128} \left(1 + \sqrt{1 - \left(\frac{1.128}{Ic} \right)^2} \right)$	L = 21.43 km	Estos resultados indican que la cuenca Bajo Virtudes tiende a ser alargada, con estas dimensiones.
$l = \frac{Ic\sqrt{A}}{1.128} \left(1 - \sqrt{1 - \left(\frac{1.128}{Ic} \right)^2} \right)$	l = 2.90 km	

Fuente: Elaboración propia.

5.2.3 Parámetros de relieve

Pendiente de la subcuenca Sc		
$Sc = \frac{D * Lx}{A} = 7.70\%$	D: Diferencia de altitud entre los puntos más altos y más bajos de la subcuenca. Lx: Longitud de la subcuenca, generalmente medida desde el punto de cabecera hasta el punto de salida o desagüe de la cuenca. A: Área de la subcuenca.	El método Criterio de J.W. Alvord, analiza la pendiente existente entre curvas de nivel trabajando con la faja definidas por las líneas medidas que pasan entre las curvas de nivel, lo cual el valor obtenido de la pendiente de la subcuenca Bajo Virtudes es de 7,70%.
Pendiente media del cauce principal		
software ArcGIS versión 10.3	El cálculo se obtuvo por el software ArcGIS versión 10.3 y con la tabla 6.4 de clasificación de pendiente del cauce de 13,21 se obtuvo la pendiente media de S=10,95%	Esta pendiente indica una inclinación bastante pronunciada, lo que sugiere que el agua fluirá rápidamente a lo largo del cauce. Esto puede resultar en un tiempo de respuesta hidrológica más corto durante eventos de precipitación, lo que significa que el agua llegará rápidamente al punto de salida de la cuenca

Clasificación de pendiente de la subcuenca		
	De acuerdo a la clasificación de pendiente se clasifica en: Accidentado Medio	Un terreno accidentado medio en una cuenca hidrográfica se refiere a una zona que tiene características topográficas moderadamente irregulares.
Relación hipsométrica curva hipsométrica Rh		
$Rh = \frac{A(h)}{A_{total}} = 0.69$	A(h): Es el área de la cuenca o cauce. A total: Es el área total de la cuenca o cauce.	Valores cercanos a 1 indican una cuenca joven con un relieve fuerte y pendientes pronunciadas. Valores cercanos a 0.5 indican una cuenca en estado de madurez, con equilibrio entre erosión y sedimentación. Valores cercanos a 0 indican una cuenca vieja o en estado avanzado de erosión, con un alivio suavizado.
Relación de relieve Rr		
$Rr = \frac{h}{l} = 0.006$		Esta relación es importante para entender cómo la topografía influye en el comportamiento hidrológico de la cuenca. Valores menores a 0.02 nos indica que la relación de relieve corresponde a una cuenca de terreno llano.
Tiempo de concentración		
Tiempo de concentración	Fórmula Kirpich = 1.13 horas Fórmula Temez = 1.56 horas Fórmula Pasini = 1.99 horas Promedio Tc= 1.56 hr. Es decir 1 hora y 34 minutos	Este resultado nos indica el tiempo que tarda el flujo proveniente de una precipitación, en recorrer toda el área de la cuenca hasta el punto de control.

Fuente: Elaboración propia.

5.2.4 Parámetros de drenaje

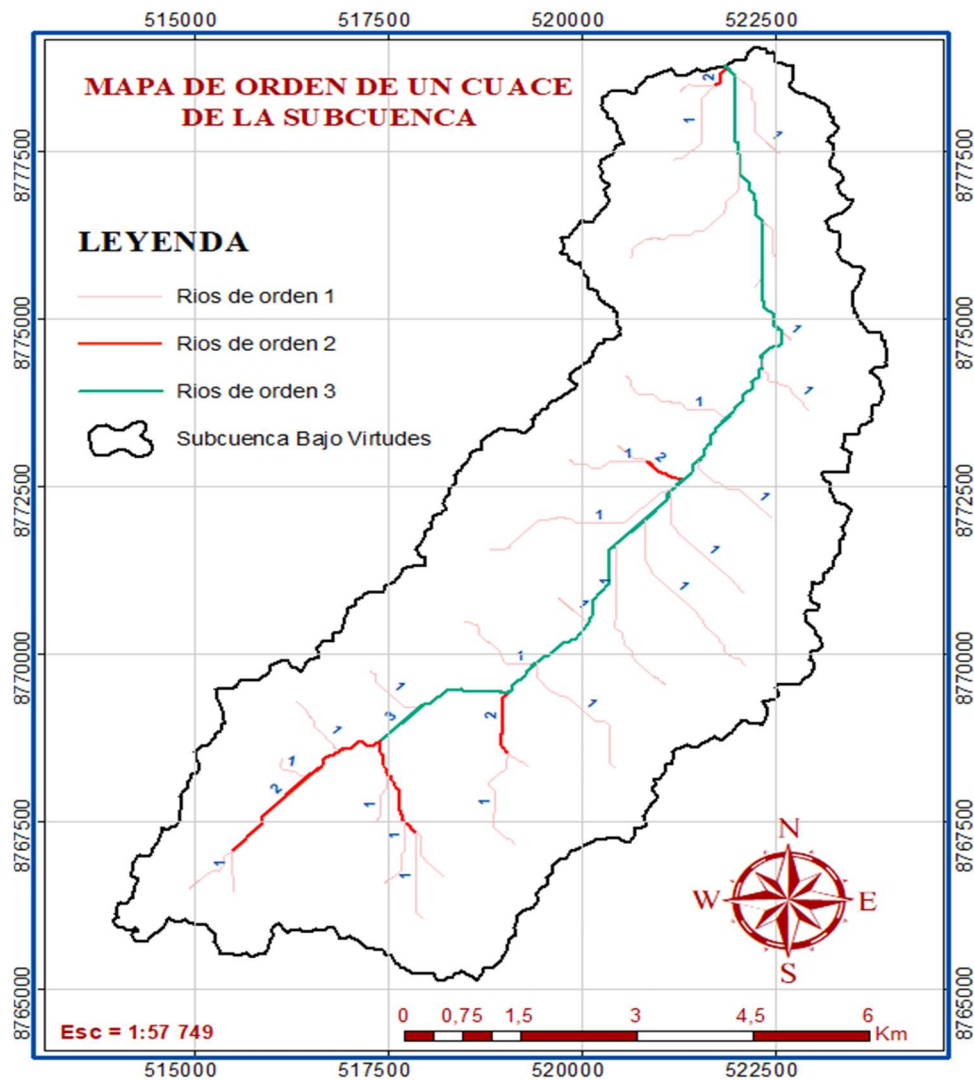
Número de Orden de un cauce

Tabla 4.1 Longitud total de la red de drenaje

Orden	Nº Cauces	Longitud (Km)
1 ro	30	37,27
2 do	9	6,14
3 ro	20	13,21
Long. Total.	59	56,62

Fuente: Elaboración propia

Componentes de la red de drenaje



Fuente: Elaboración propia.

Indicadores de bifurcación

Densidad de drenaje D_D :		
$D_d = \frac{L_t}{A} \Rightarrow D_d = \frac{56.62 \text{ Km}}{62.23 \text{ Km}^2}$ $D_d = 0.90 \frac{\text{Km}}{\text{Km}^2}$	El cociente entre la longitud total L_t: de los cauces pertenecientes a su red de drenaje y la superficie de la cuenca A	Cuando dices que la densidad de drenaje es 0.9, esto significa que, por cada kilómetro cuadrado de superficie de la cuenca, hay 0.9 kilómetros de canales de drenaje.
Constante de estabilidad del río		
$C = \frac{A}{L_T} = \frac{1}{D_d}$ $C = \frac{1}{0.90 \frac{\text{Km}}{\text{Km}^2}}$	C: EL valor inverso de la densidad de drenaje. Representa, la superficie de cuenca necesaria para mantener condiciones hidrológicas estables en una unidad de longitud de cauce	El valor de "1.1" en este caso sugiere que el río tiene una estabilidad moderada, sin grandes fluctuaciones en su flujo bajo condiciones normales.
$C = 1.1$		
Densidad hidrográfica d:		
$D_h = \frac{N_t}{A}$ $D_h = \frac{59}{62.23 \text{ Km}^2}$	el cociente entre el número de segmentos de canal de la cuenca N_t y la superficie A. N_t es la suma de todos los segmentos de canal que forman la red hidrográfica de la cuenca, es decir todo tramo de canal que no sufre aporte alguno de otro canal.	Esto indica que la cuenca tiene una densidad de drenaje que no es ni muy alta ni muy baja, sino que se encuentra en un nivel moderado.
$D_h = 0.948$		
Relación de bifurcación		
$R_b = \frac{N_i}{N_{i+1}}$ $R_b = \frac{59}{3}$	R_b: la relación entre el número de cauces i (N_i) y el número de cauces de orden $i+1$ (N_{i+1})	Sugiere que la cuenca tiene una estructura de ramificación densa, con muchos afluentes o canales pequeños alimentando canales de orden superior.
$R_b = 19.66$		

Frecuencia de los cauces F_c :		
$F_c = \frac{\sum N_{CUACES}}{A}$ $F_c = \frac{59}{62.23}$	La frecuencia de drenaje de una cuenca define como el cociente entre la longitud total de los cauces perteneciente a su red drenaje y la superficie de la cuenca, Horton $F_c = 0.948$	Cuando la frecuencia de los cauces (F_x) es 0.948, significa que, por cada kilómetro cuadrado de la cuenca, hay 0.948 canales. Es decir, en promedio, existe menos de un canal por cada kilómetro cuadrado de la cuenca.
Longitud promedio del flujo superficial L_o :		
$L_o = \frac{A}{4D_d}$ $L_o = \frac{62.23}{4(0,90)}$	Se define como la distancia media que el agua debería escurrir sobre la subcuenca para llegar a un cauce y estimado por la relación que existe entre el área y 4 veces la densidad de drenaje. $L_o = 17,2$	El agua de la cuenca tiene una distancia de 17.2 kilómetros que debe recorrer desde un punto medio dentro de la cuenca hasta el punto de salida o desembocadura del río. En otras palabras, es la distancia promedio a lo largo de las rutas de drenaje que siguen las aguas superficiales (como ríos y arroyos) en la cuenca.
Sinuosidad del cauce principal S_i :		
$S_i = \frac{L_c}{L_t}$	la relación entre la longitud del cauce principal (L_c) y la longitud del cauce principal medida en línea recta L_t. Valor menor a 1,25 define un cauce con baja sinuosidad.	
Coeficiente de torrencialidad C_t :		
$C_t = \frac{N_1}{A}$ $C_t = \frac{30}{62.23}$	Se determina por el cociente: donde N_t es el número de cursos de primer orden; A, área de Cuenca $C_t = 0.48$	Es un indicador que mide la capacidad de la cuenca para generar escorrentía superficial debido a lluvias intensas. El coeficiente de torrencialidad ($C_t = 0.48$) sugiere que la cuenca experimenta lluvias que producen una escorrentía moderada, suficiente para generar un flujo que no es extremadamente rápido o violento, pero sí relevante.

Pendiente media del cauce principal	Pendiente media de la cuenca
Sm = 10.95%	Sm = 15.06%

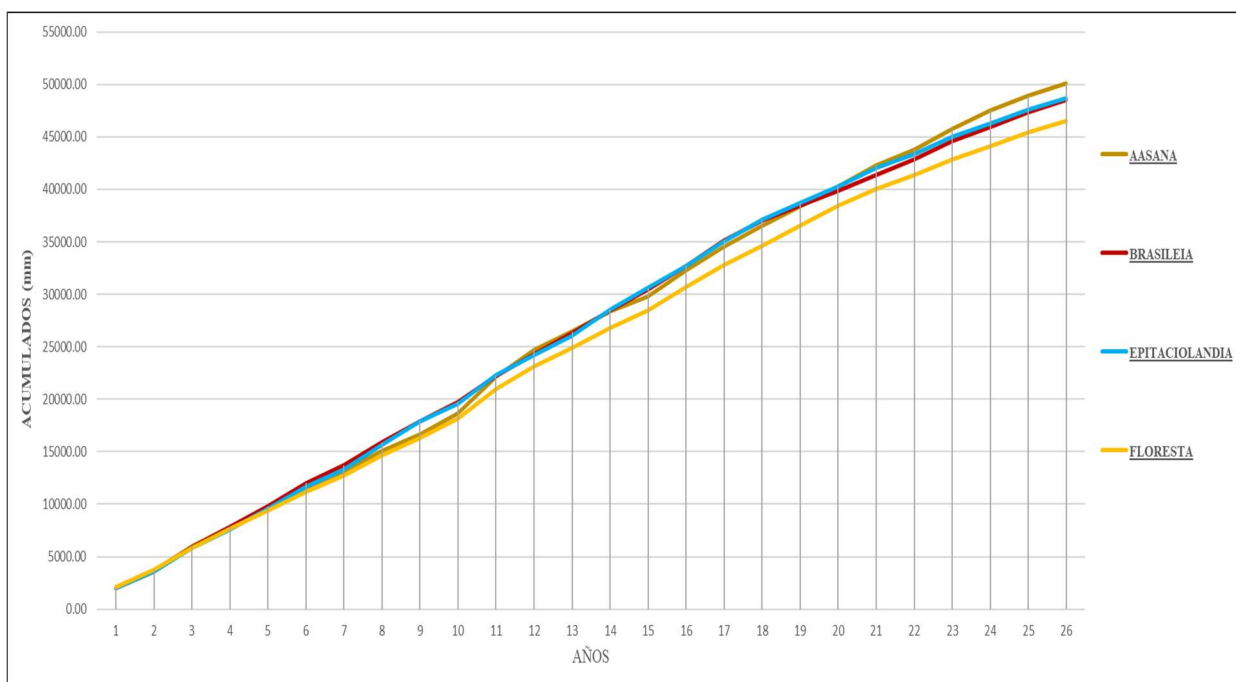
Fuente: Elaboración propia.

5.3 Análisis de Precitaciones

En cumplimiento del objetivo específico número tres de la presente tesis de grado , se realizó un análisis de las cuatro estaciones meteorológicas mencionadas (SENAMHI – AASANA de Cobija – Pando, Brasileia y Epitaciolandia de Ana Telemetría del vecino país Brasil, estaciones virtuales satelitales de la NASA). Se verificó que los datos fueran homogéneos a través del análisis de curva Doble Masa.

Nº	AÑOS	AASANA			BRASILEIA			EPITACIOLANDIA			FLORESTA		
		ESTACION 1	ACUMALADO	%	ESTACION 2	ACUMALADO	%	ESTACION 3	ACUMALADO	%	ESTACION 3	ACUMALADO	%
1	1999	2030,10	2030,10	4,05	2018,90	2018,90	4,16	2007,34	2007,34	4,12	2089,04	2089,04	4,49
2	2000	1644,00	3674,10	7,33	1585,38	3604,28	7,43	1559,52	3566,86	7,33	1691,03	3780,07	8,13
3	2001	2354,30	6028,40	12,03	2313,27	5917,55	12,20	2270,10	5836,96	11,99	2079,51	5859,58	12,60
4	2002	1819,87	7848,27	15,67	1931,01	7848,56	16,19	1758,93	7595,89	15,60	1832,18	7691,76	16,54
5	2003	1917,80	9766,07	19,50	1942,08	9790,64	20,19	1982,88	9578,77	19,67	1753,01	9444,77	20,31
6	2004	1810,80	11576,87	23,11	2209,02	11999,66	24,75	2067,93	11646,70	23,92	1756,83	11201,60	24,08
7	2005	1590,20	13167,07	26,29	1707,51	13707,17	28,27	1712,01	13358,71	27,43	1559,35	12760,95	27,44
8	2006	1881,90	15048,97	30,04	2179,17	15886,34	32,76	2257,59	15616,30	32,07	1870,30	14631,25	31,46
9	2007	1643,00	16691,97	33,32	2020,32	17906,66	36,93	2254,83	17871,13	36,70	1720,71	16351,96	35,16
10	2008	1990,51	18682,48	37,30	1859,19	19765,85	40,76	1684,50	19555,63	40,16	1813,12	18165,08	39,05
11	2009	3479,00	22161,48	44,24	2473,14	22238,99	45,86	2731,23	22286,86	45,77	2804,30	20969,38	45,08
12	2010	2564,50	24725,98	49,36	2102,40	24341,39	50,20	1965,57	24252,43	49,81	2135,02	23104,40	49,67
13	2011	1710,22	26436,20	52,78	1974,75	26316,14	54,27	1827,69	26080,12	53,56	1770,92	24875,32	53,48
14	2012	1942,60	28378,80	56,65	2190,54	28506,68	58,79	2494,38	28574,50	58,68	1954,55	26829,87	57,68
15	2013	1434,68	29813,48	59,52	1932,48	30439,16	62,77	2021,07	30595,57	62,83	1673,80	28503,67	61,28
16	2014	2454,91	32268,39	64,42	2237,55	32676,71	67,39	2133,42	32728,99	67,21	2226,83	30730,50	66,07
17	2015	2246,91	34515,30	68,90	2453,01	35129,72	72,45	2319,27	35048,26	71,98	2087,84	32818,34	70,56
18	2016	2062,51	36577,81	73,02	1901,08	37030,80	76,37	2080,11	37128,37	76,25	1833,96	34652,30	74,50
19	2017	1757,90	38335,71	76,53	1383,70	38414,50	79,22	1596,55	38724,92	79,53	1925,14	36577,44	78,64
20	2018	1973,88	40309,56	80,47	1424,91	39839,41	82,16	1567,60	40292,52	82,65	1841,97	38419,41	82,60
21	2019	2002,20	42311,79	84,47	1547,50	41386,91	85,35	1739,10	42031,62	86,32	1628,90	40048,31	86,10
22	2020	1472,89	43784,68	87,41	1452,80	42839,71	88,34	1297,70	43329,32	88,98	1298,57	41346,88	88,89
23	2021	1992,37	45777,05	91,39	1787,50	44627,21	92,03	1721,50	45050,82	92,52	1541,83	42888,71	92,21
24	2022	1764,50	47541,55	94,91	1311,80	45939,01	94,74	1182,66	46233,48	94,95	1182,66	44071,37	94,75
25	2023	1393,30	48934,85	97,69	1442,40	47381,41	97,71	1331,84	47565,32	97,68	1331,84	45403,21	97,61
26	2024	1156,80	50091,65	100,00	1110,09	48491,50	100,00	1127,70	48693,02	100,00	1110,09	46513,30	100,00

Fuente: Elaboración propia



Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo a las gráficas generadas por las tablas de precipitaciones acumuladas desde el año 1999 al año 2024, se puede evidenciar que los datos de precipitación de las 4 estaciones meteorológicas son homogéneos.

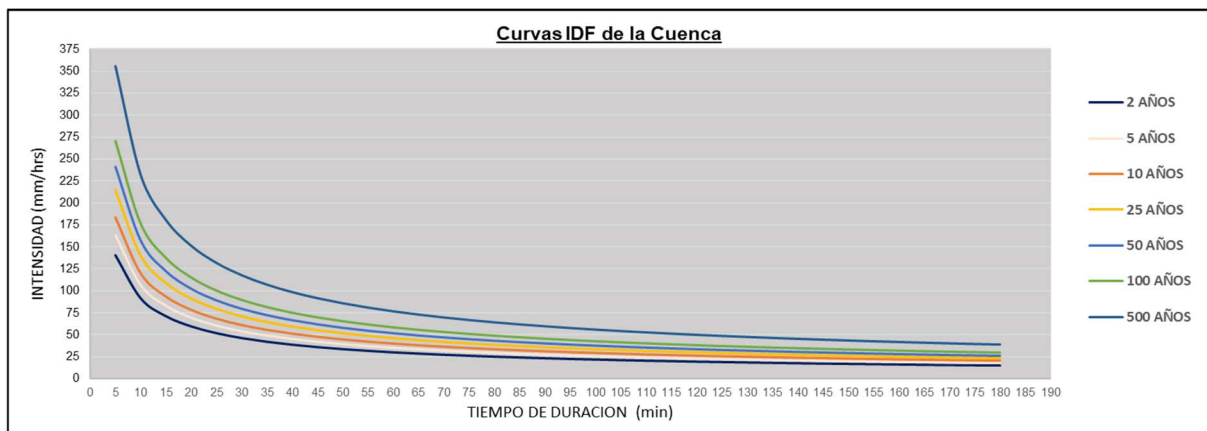
5.4 Actualización de las Curvas IDF

Con los datos de precipitaciones máximas 24 horas de la estación meteorológica del SENAMHI – AASANA, se logró dar pleno cumplimiento al objetivo número cuatro del presente proyecto. Que tenía como objetivo la actualización de las curvas IDF.

El método utilizado para la actualización de las curvas IDF fue la Distribución de Probabilidad Log. Pearson tipo II. Ya que los datos de precipitación se ajustaron mejor a esta distribución de probabilidad.

Tabla de intensidades - Tiempo de duración							
Duración en minutos	Frecuencia años						
	2	5	10	25	50	100	500
5	140.26	163.66	183.91	214.59	241.15	271.00	355.34
10	91.49	106.75	119.97	139.98	157.30	176.77	231.79
15	71.26	83.15	93.44	109.02	122.52	137.68	180.53
20	59.68	69.64	78.26	91.31	102.61	115.31	151.20
25	52.01	60.69	68.20	79.57	89.42	100.49	131.77
30	46.48	54.24	60.95	71.12	79.92	89.81	117.76
35	42.27	49.32	55.43	64.67	72.67	81.67	107.09
40	38.93	45.42	51.05	59.56	66.93	75.22	98.63
45	36.20	42.24	47.47	55.39	62.25	69.95	91.72
50	33.93	39.59	44.49	51.91	58.33	65.55	85.95
55	31.99	37.33	41.95	48.95	55.00	61.81	81.05
60	30.32	35.38	39.76	46.39	52.13	58.58	76.82
65	28.86	33.68	37.84	44.16	49.62	55.76	73.12
70	27.57	32.17	36.15	42.18	47.41	53.27	69.85
75	26.42	30.83	34.65	40.43	45.43	51.06	66.94
80	25.39	29.63	33.30	38.85	43.66	49.06	64.33
85	24.46	28.54	32.08	37.43	42.06	47.26	61.97
90	23.62	27.56	30.97	36.13	40.60	45.63	59.83
95	22.84	26.65	29.95	34.95	39.27	44.13	57.87
100	22.13	25.82	29.02	33.86	38.05	42.76	56.07
105	21.48	25.06	28.16	32.86	36.92	41.49	54.41
110	20.87	24.35	27.36	31.93	35.88	40.32	52.87
115	20.30	23.69	26.62	31.06	34.91	39.23	51.44
120	19.78	23.08	25.93	30.26	34.01	38.21	50.11
125	19.29	22.50	25.29	29.51	33.16	37.26	48.86
130	18.83	21.97	24.69	28.80	32.37	36.37	47.70
135	18.39	21.46	24.12	28.14	31.62	35.54	46.60
140	17.99	20.99	23.58	27.52	30.92	34.75	45.57
145	17.60	20.54	23.08	26.93	30.26	34.01	44.59
150	17.24	20.11	22.60	26.37	29.64	33.30	43.67
155	16.89	19.71	22.15	25.84	29.04	32.64	42.79
160	16.56	19.33	21.72	25.34	28.48	32.00	41.97
165	16.25	18.96	21.31	24.87	27.94	31.40	41.18
170	15.96	18.62	20.92	24.41	27.44	30.83	40.43
175	15.67	18.29	20.55	23.98	26.95	30.28	39.71
180	15.40	17.97	20.20	23.57	26.49	29.76	39.03

$$I = \frac{336.5860 * T^{0.168354}}{t^{0.61639}}$$



Fuente: Elaboración propia.

Como se muestra en la tabla y figuras, se logró actualizar las curvas IDF hasta el año 2024 para diferentes periodos de retorno de 2, 5, 10, 25, 50, 100 y 500 año.

5.5 Aforos en el punto de control de la subcuenca

De acuerdo al objetivo específico número cinco, se realizó la medición del caudal del arroyo durante 9 meses, con el equipo Mini – molinete de Seba y/o método flotador. Y se obtuvo los caudales máximos y mínimos de los meses aforados. Los resultados se muestran a continuación.

Caudales medios mensuales

Mes	Q (m3/seg)	Q (lts)
Enero	0.593	593
Febrero	1.285	1285
Marzo	1.558	1558
Abril	2.054	2054
Mayo	5.436	5436
Junio	1.161	1161
Julio	1.193	1193
Agosto	0.965	965
Septiembre	0.938	938

Caudales Máximos y Mínimos mensuales

Mes	Maximas m3/seg	Minimas m3/seg
Enero	2.716	0.252
Febrero	15.944	0.461
Marzo	2.295	0.152
Abril	6.954	0.833
Mayo	1.939	0.970
Junio	1.590	1.089
Julio	1.353	1.122
Agosto	1.256	0.68
Septiembre	1.762	0.709

5.6 Nivel freático y Variables de calidad del agua

Considerando que la subcuenca Virtudes tiene un área de 62.23 km², se realizaron la perforación de 5 pozos; para el monitoreo del nivel freático y las distintas variables ambientales. De esta manera se obtuvieron los distintos resultados que se muestran a continuación:

PH: De acuerdo a los resultados obtenidos del monitoreo in situ, se logró determinar que el nivel de pH se encuentra entre 6.8 a 7.1 lo que nos indica que el agua subterránea cuenta con mínimo de acides.

Temperatura: Las temperaturas tomadas en zona del Sujal de los 2 pozos de monitoreo se encontraron entre los 27°C hasta los 30°C y en la zona de Zofra en los 3 pozos se encuentran entre los 28°C hasta los 32°C.

De los datos obtenidos podemos determinar que las temperaturas se encuentran entre los valores máximos y mínimos aceptables. Ya que la temperatura contribuye a la rápida estabilización de la materia orgánica y el nivel de oxígeno disuelto.

Límites máximos aceptables: 18 – 30 °C

Límites máximos permisible: no mayor a 34 °C

Nivel freático: De acuerdo al monitoreo del nivel freático de cada uno de los pozos ubicados en la zona del Sujal y Zofra - Cobija, se obtuvieron los siguientes resultados:

RESUMEN			
UBICACION	VOLUMEN MINIMO (lts)	VOLUMEN MAXIMO (lts)	VOLUMEN TOTAL (lts)
SUJAL	2.01	6.33	311.65
ZOFRA	1.01	10.96	738.05

Fuente: Elaboración propia.

De esta manera se pudo evidenciar que la zona zofra tiene un mayor caudal frente a la zona del Sujal.

CONCLUSIÓN y RECOMENDACIÓN

6.1 Conclusión

Este trabajo de titulación se centró en la recopilación y análisis de diversos parámetros relacionados con las subcuencas del Arroyo Bajo Virtudes, la evaluación del nivel freático y la correlación entre ambos aspectos en la ciudad de Cobija. A continuación, se detallan las conclusiones obtenidas a partir de los análisis realizados:

1. **Delimitación técnica:** Se logró delimitar con precisión la subcuenca del arroyo Bajo Virtudes utilizando un modelo digital de elevación (DEM) de 12,5x12,5 m en ArcGIS 10.3, estableciendo una superficie de **62,26 km²** y un perímetro de **48,65 km**.
2. **Morfología y respuesta hídrica:** El análisis fisiográfico determinó que la subcuenca tiene una **forma irregular y alargada** ($I_c = 1,74$; $R_{ci} = 0,33$), lo que genera una respuesta hidrológica lenta que ayuda a mitigar riesgos de inundaciones repentinas al evitar picos de caudal inmediatos.
3. **Consistencia de datos:** La evaluación de precipitaciones históricas mediante la **curva de doble masa** demostró que los datos de las estaciones locales (AASANA/SENAMHI) y las estaciones virtuales de la NASA son homogéneos y confiables para estudios hidrológicos.
4. **Actualización de herramientas de diseño:** Se actualizaron exitosamente las **curvas IDF hasta el año 2024**, ajustándolas a la distribución de probabilidad Log-Pearson Tipo III, lo que proporciona una base técnica moderna para el diseño de obras hidráulicas en Cobija.
5. **Estabilidad del caudal:** Las mediciones de caudal durante nueve meses revelaron que el arroyo mantiene un flujo constante sin dispersiones extremas respecto a su media, lo que **garantiza la disponibilidad del recurso** tanto en época de estiaje como de llenura.

6. **Calidad y niveles subterráneos:** El monitoreo en cinco pozos estableció que el agua subterránea posee un **pH casi neutro (6,8 a 7,1)** y temperaturas aceptables (27-32 °C), siendo la zona de Zofra la que presenta mayor volumen de agua acumulada.
7. **Interacción hidrogeológica:** Se concluyó que los niveles freáticos responden directamente a las precipitaciones, identificando a la zona del **Sujal como la más vulnerable a sequías** debido a su menor capacidad de recarga hídrica en comparación con Zofra.

6.2 Recomendaciones

1. **Mejora de la precisión cartográfica:** Explorar plataformas de imágenes DEM con mayor resolución y precisión vertical para reducir errores en la delimitación de futuras microcuencas o proyectos de detalle.
2. **Verificación de modelos:** Validar siempre la calidad de los modelos digitales antes de realizar cálculos de pendiente y drenaje para evitar errores en la planificación de infraestructuras críticas.
3. **Fortalecimiento de la red de monitoreo:** Instalar un mayor número de estaciones meteorológicas físicas en la zona para minimizar la dependencia de datos virtuales y asegurar la continuidad de los registros ante fallos técnicos.
4. **Mantenimiento de datos de diseño:** Realizar actualizaciones periódicas de las curvas IDF para adaptar los diseños de ingeniería a las variaciones climáticas y garantizar la seguridad de los sistemas de drenaje urbano.
5. **Tecnificación de mediciones:** Implementar el uso de **limnígrafos** para obtener registros de niveles de agua en tiempo real, lo que permitirá generar hidrógrafas de crecidas más exactas que las obtenidas con métodos manuales.

6. **Expansión de la red piezométrica:** Ampliar la cantidad de pozos de monitoreo en puntos estratégicos de la subcuenca para identificar con mayor detalle las zonas de recarga crítica y prevenir la contaminación del acuífero.
7. **Gestión y protección comunitaria:** Promover la conciencia social y la participación de la comunidad en la protección de las áreas de recarga identificadas, asegurando así la conservación a largo plazo de la fuente de agua potable de la Zona C

CAPITULO VI: BIBLIOGRAFÍA

- Miguel Alvan Lira y Luis Fernando Velez Peña, (2019). Modelo hidrológico e hidráulico en la subcuenca del arroyo Bahía para la caracterización de caudal en el cauce principal de la obra de toma para el nuevo proyecto de agua potable en la ciudad de Cobija.
- Ven Te Chow, (1994). Hidrología aplicada editorial McGRAW-HILL Interamérica.
- M.C Guillermo Benjamín Pérez Morales, Ingeniería de ríos
- Sergeotecmin, (2005). Estudio hidrológico geofísico de la ciudad de cobija.
- Bateman, A. (2007), Hidrología básica y aplicada
- Agustin, A., (2009). Material de apoyo didáctico para la enseñanza y aprendizaje de la asignatura de hidrología.
- Nelly Gutiérrez Huamán (2013). Delimitación de la cabecera de cuenca del rio Piura

Bibliografías consultadas en internet.

- SENAMHI <http://www.senamhi.gov.bo/archivos/INFORME%20METEOROLOGICO>.
- AGRITEMPO
<http://www.agritempo.gov.br/>
- GIOVANNI DATA.HEARDATA
<https://giovanni.gsfc.nasa.gov/giovanni/>

CAPITULO VII: ANEXO

7.1 Fotografías de aforos con el equipo “Minimolinete M1” de seba



Fuente: Elaboración propia.

7.2 Fotografías de aforos por el método flotador



Fuente: Elaboración propia.

7.3 Kit de toma de muestra de agua pH, temperatura, conductividad y oxígeno

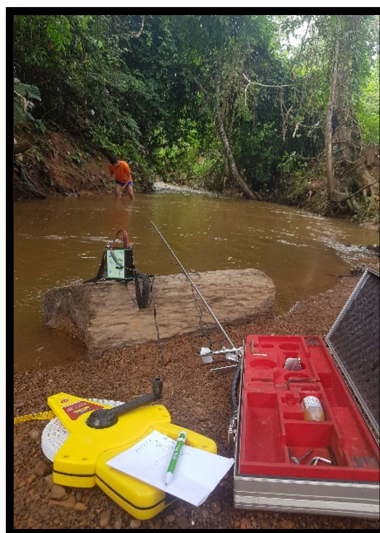


Fuente: Elaboración propia.

7.4 Herramienta de perforación, extractor de muestra.



7.5 Equipo Mini-molinete M1 de seba.



Fuente: Elaboración propia.

7.6 Perforaciones.



Fuente: Elaboración propia.