

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA



TESIS

COMPORTAMIENTO GEOESTRUCTURAL Y GEOHIDROLÓGICO DE LA
SUBCUENCA TIOYACU – EL NEGRO.
DISTRITO ELÍAS SOPLIN VARGAS – REGIÓN SAN MARTÍN

Para Optar el Título Profesional de:

Ingeniero Geólogo

Autor:

Bach. Arribasplata Zamora Alexander

Asesor:

Dr. Ing. Rodríguez Cruzado Segundo Reinaldo

Cajamarca - Perú

2023

CERTIFICADO DE ORIGINALIDAD

La que suscribe, Directora de la Unidad de Investigación de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Cajamarca certifica:

La originalidad de la tesis denominada **COMPORTAMIENTO GEOESTRUCTURAL Y GEOHIDROLÓGICO DE LA SUBCUENCA TIOYACU - EL NEGRO. DISTRITO ELÍAS SOPLIN VARGAS - REGIÓN SAN MARTÍN**, realizada por el Bachiller en Ingeniería Geológica **Alexander Arribasplata Zamora**, de acuerdo al resultado del análisis reportado por su asesor **Dr. Segundo Reinaldo Rodríguez Cruzado** con el software antiplagio Turnitin que identifica **4% (cuatro por ciento)** de similitud, asignándole el código **oid:3117:300328997**.

Se expide el presente certificado para los fines pertinentes.

Cajamarca, 21 de diciembre del 2023

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
FACULTAD DE INGENIERÍA
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN


Dra. Yvonne Katherine Fernández
DIRECTORA

Cc.
Archivo
c15223yr.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a la Universidad Nacional de Cajamarca, en especial a la Escuela Académico Profesional de Ingeniería Geológica y mis docentes quienes con su enseñanza ayudaron grandemente en mi formación profesional.

También quiero brindar mi agradecimiento a mis padres y hermana, por el apoyo constante e incondicional, para alcanzar otra meta más en mi vida.

Un agradecimiento especial al Dr. Reinaldo Rodríguez Cruzado, por el apoyo y la constante supervisión durante el desarrollo de la tesis.

A. Arribasplata Z.

DEDICATORIA

A las personas más importantes en mi vida, que siempre están presente para guiarme y brindarme todo su apoyo, está tesis se la dedico a mis queridos padres Gonzalo y Mavila; hermana, tíos y amigos, quienes me alentaron a seguir adelante y ser una persona de bien.

Alexander.

CONTENIDO

ITEM	Pág.
AGRADECIMIENTO	i
DEDICATORIA	ii
CONTENIDO	iii
ÍNDICE DE FIGURAS	vii
ÍNDICE DE FOTOS	viii
ÍNDICE DE CUADROS	ix
ÍNDICE DE TABLAS	x
LISTA DE ABREVIATURAS	x
RESUMEN	xii
ABSTRACT.....	xii
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	3
2.1. ANTECEDENTES TEÓRICOS DE LA INVESTIGACIÓN	3
2.1.1. Antecedentes Internacionales	3
2.1.2. Antecedentes Nacionales	4
2.1.3. Antecedentes Locales	4
2.2. BASES TEÓRICAS.....	5
2.2.1. Hidrogeología	5
2.2.2. Unidades Hidrográficas	5
2.2.3. Importancia de una Cuenca Hidrográfica	7
2.2.4. Parámetros Geomorfológicos de una Cuenca.....	7
2.2.5. Acuíferos	19
2.2.6. Clasificación de Acuíferos.....	21
2.2.7. Geoestructuras	25
2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS.....	28
CAPÍTULO III: MATERIALES Y MÉTODOS.....	31
3.1. GENERALIDADES	31
3.1.1. Ubicación Geográfica	31

	Pág.
3.1.2. Ubicación Política.....	31
3.1.3. Accesibilidad	31
3.1.4. Clima y Vegetación	32
3.2. PROCEDIMIENTOS.....	33
3.2.1. Metodología.....	33
3.2.2. Técnicas	34
3.2.3. Instrumentos y Equipos	36
3.2.4. Software.....	37
3.3. GEOLOGÍA LOCAL.....	37
3.3.1. Grupo Pucará	38
3.3.2. Depósitos y Cuaternarios (Pleistoceno).....	39
3.4. GEOMORFOLOGÍA.....	40
3.4.1. Unidades Morfogenéticas	41
3.4.2. Secciones Morfométricas	44
3.5. GEOLOGÍA ESTRUCTURAL.....	48
3.5.1. Pliegues.....	48
3.5.2. Fallas.....	48
3.5.3. Diaclasas	49
3.5.4. Perfiles Geológico – Estructurales	49
3.6.1. Hidrogeología Regional.....	52
3.6.2. Cartografiado Hidrogeológico Local.....	53
3.6.3. Calidad y Cantidad de Agua de los Manantiales	63
3.6.4. Cavernas y Franja de Manantiales	65
3.7. PARÁMETROS GEOMORFOLÓGICOS DE LA SUBCUENCA TIOYACU – EL NEGRO	68
3.7.1. Subcuenca Tioyacu – El Negro	68
3.7.2. Parámetros Geomorfológicos	68

	Pág.
3.7.3. Red de Drenaje	71
3.8. ESTACIONES DE CONTROL GEOLÓGICO- ESTRUCTURAL.....	72
3.8.1. Análisis de Datos Mediante Software Dips V 7.0	72
CAPÍTULO IV: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	79
4.1. ANÁLISIS MORFOLÓGICO DE LA SUBCUENCA TIOYACU – EL NEGRO.....	79
4.2. ANÁLISIS DE COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL	81
4.2.1. Análisis de las Estaciones Geoestructurales Entorno a los Manantiales del Tioyacu y San Pedro.....	81
4.2.2. Análisis de las Estaciones Geoestructurales Entorno a los Manantiales del Sapote y San Francisco.....	83
4.2.3. Análisis de las Estaciones Geoestructurales Entorno a los Manantiales El Negro y Puerto Bagazán.	85
4.3. ANÁLISIS HIDROGEOLÓGICO	87
4.3.1. Análisis Hidrogeológico Regional.....	87
4.3.2. Análisis Hidrogeológico Local.....	87
4.3.3. Análisis de Calidad y Cantidad de Agua	88
4.4. CONTRASTACIÓN DE LA HIPÓTESIS	92
CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	93
5.1. CONCLUSIONES	93
5.2. RECOMENDACIONES	94
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	95
ANEXOS.....	99

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Clasificación de las unidades hidrográficas.....	6
Figura 2. Área de drenaje de una cuenca.....	8
Figura 3. Polígono de frecuencias de altitudes.....	15
Figura 4. Curva hipsométrica.....	15
Figura 5. Perfil longitudinal de un cauce.....	18
Figura 6. Formaciones geológicas frente al agua.....	20
Figura 7. Acuíferos porosos.....	22
Figura 8. Acuíferos fisurados.....	23
Figura 9. Acuíferos en medios kársticos.....	23
Figura 10. Tipos de acuíferos según el comportamiento hidráulico.....	24
Figura 11. Formas posibles de plegamiento simétrico y su simbología cartográfica....	25
Figura 12. Tipos de fallas principales.....	26
Figura 13. Posibles efectos de una falla sobre la posición de los acuíferos.....	27
Figura 14. Acuíferos formados por la erosión de las escarpas.....	27
Figura 15. Accesibilidad a la zona de investigación.....	32
Figura 16. Sección AA', comprendida entre Chachapoyas y Segunda Jerusalén (Elías Soplín Vargas).....	46
Figura 17. Sección BB' desde Cabecera de Cuenca Regional hasta Segunda Jerusalén (Elías Soplín Vargas).....	46
Figura 18. Sección CC', comprendida entre cabeceras de cuencas regional hacia Segunda Jerusalén (Elías Soplín Vargas).....	47
Figura 19. Sección BB', con el Perfil Geológico-Estructural desde la Cabecera de Cuencas Regional y Zona de Lagunas hasta Segunda Jerusalén (Elías Soplín Vargas).....	50
Figura 20. Sección CC', con el Perfil Geológico-Estructural desde la Cabecera de Cuencas Regional y Zona de Lagunas hasta Segunda Jerusalén (Elías Soplín Vargas).....	51
Figura 21. Polígono de frecuencia de altitudes de la Subcuenca Tioyacu - El Negro. .	70
Figura 22. Curva hipsométrica de la Subcuenca Tioyacu - El Negro.....	70
Figura 23. Perfil longitudinal de la Subcuenca Tioyacu - El Negro.....	71
Figura 24. Representación de las familias de discontinuidades y estratos tomadas en las estaciones del entorno a los manantiales de Tioyacu y San Pedro....	74

	Pág.
Figura 25. Representación de las familias de discontinuidades y estratos tomadas en las estaciones del entorno a los manantiales de El Sapote y San Francisco.....	76
Figura 26. Representación de las familias de discontinuidades y estratos tomadas en las estaciones del entorno a los manantiales de El Negro y Puerto Bagazán.....	78
Figura 27. Curva hipsométrica de la Subcuenca Tioyacu – El Negro.	80
Figura 28. Tendencia de los planos mayores y estructuras principales de las estaciones geoestructurales alrededor de los manantiales Tioyacu y San Pedro.	82
Figura 29. Tendencia de los planos mayores y estructuras principales de las estaciones geoestructurales alrededor de los manantiales Sapote y San Francisco.....	84
Figura 30. Tendencia de los planos mayores y estructuras principales de las estaciones geoestructurales alrededor de los manantiales El Negro y Puerto Bagazán.	86
Figura 31. Límites máximos permisibles de parámetros de calidad organoléptica del agua para consumo humano.....	88
Figura 32. Valores del pH de todos los manantiales inventariados y muestreados de la Subcuenca Tioyacu – El Negro.....	89
Figura 33. Valores de la turbidez de todos los manantiales inventariados y muestreados en la Subcuenca Tioyacu - El Negro.....	90
Figura 34. Análisis del contenido de metales (manganeso y hierro) en los manantiales muestreados de la Subcuenca Tioyacu – El Negro.....	91
Figura 35. Valores del caudal medido en cada manantial inventariado de la Subcuenca Tioyacu – El Negro.....	92

ÍNDICE DE FOTOS

	Pág.
Foto 1. Exuberante y característica vegetación de cedro y caoba al oeste del Caserío La Victoria.	33
Foto 2. Equipos y materiales usados en la investigación.	37
Foto 3. Estratos de calizas micríticas de color gris de la Fm. Chambará, Caserío Santa Fé.....	38
Foto 4. Estratificación delgada de calizas de color beige - marrón claro de la Fm. Aramachay, Caserío Naciente del Río Negro.	39
Foto 5. Caliza de color marrón, de la Fm. Aramachay.	39
Foto 6. Estratos de calizas micríticas de la Fm. Condorsinga.....	39
Foto 7. Caliza de color gris claro con venillas de calcita de la Fm. Condorsinga. ..	39
Foto 8. Deposito aluvial al margen izquierdo del Río Tioyacu aguas abajo.....	40
Foto 9. Planicie ubicada en la margen izquierda de la carretera hacia el Caserío La Victoria.	42
Foto 10. Lomadas ubicadas al NE del Caserío El Mirador.	42
Foto 11. Ladera ubicada al NW del Caserío La Victoria.	43
Foto 12. Escarpas ubicadas al NW del Complejo Turístico del Tioyacu.....	44
Foto 13. Presencia de diaclasas en rocas calcáreas de la Fm. Condorsinga.....	49
Foto 14. Caverna ubicada en Centro Poblado Puerto Bagazán.....	67
Foto 15. Caverna ubicada en la Naciente del río Tioyacu.	67
Foto 16. Caverna ubicada en el Caserío El Mirador.	67
Foto 17. Presencia de estalactitas en la Caverna del Tioyacu.....	67
Foto 18. Caverna ubicada en el Centro Poblado Puerto Bagazán.....	67
Foto 19. Presencia de estalactitas y estalagmitas en la caverna de El Mirador.....	67
Foto 20. Medición de parámetros fisicoquímicos del manantial San Pedro.	99
Foto 21. Medición de parámetros fisicoquímicos del manantial Perlamayo.	99
Foto 22. Medición de parámetros fisicoquímicos del manantial Tioyacu.	100
Foto 23. Medición de parámetros fisicoquímicos del manantial Removido.....	100
Foto 24. Medición de parámetros fisicoquímicos del manantial Sangapilla 1.....	101
Foto 25. Medición de parámetros fisicoquímicos del manantial Sangapilla 2.....	101
Foto 26. Medición de parámetros fisicoquímicos del manantial Sapote.....	102
Foto 27. Medición de parámetros fisicoquímicos del manantial San Francisco.....	102
Foto 28. Medición de parámetros fisicoquímicos del manantial La Victoria.	103

	Pág.
Foto 29. Medición de parámetros fisicoquímicos del manantial Belén.	103
Foto 30. Medición de parámetros fisicoquímicos del manantial Bagazán.....	104
Foto 31. Medición de parámetros fisicoquímicos del manantial Naciente del Río Negro.....	104
Foto 32. Medición de parámetros fisicoquímicos del manantial El Mirador.....	105
Foto 33. Medición de parámetros fisicoquímicos del manantial Vista Hermosa....	105
Foto 34. Medición del caudal (Q) en el río Perlamayo.	107
Foto 35. Medición del caudal (Q) en el río San Pedro.....	107
Foto 36. Medición del caudal (Q) en el río Machilla.	108
Foto 37. Medición del caudal (Q) en el río Sapote.	109
Foto 38. Medición del caudal (Q) en el río Chahuaryacu.	110
Foto 39. Medición del caudal (Q) en el río Chahuaryacu.	111
Foto 40. Medición del caudal (Q) en el río Negro.	112

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Accesibilidad a la zona de investigación.	32
Cuadro 2. Parámetros fisicoquímicos de los manantiales encontrados en la Subcuenca Tioyacu – El Negro.....	65
Cuadro 3. Caudal de los ríos principales de la Subcuenca Tioyacu – El Negro.	65
Cuadro 4. Ubicación y coordenadas de las cavernas encontradas en la Subcuenca Tioyacu – El Negro.	66
Cuadro 5. Parámetros geomorfológicos de la Subcuenca Tioyacu – El Negro.....	69
Cuadro 6. Data geológico – estructural de las estaciones ubicadas en el entorno a los manantiales Tioyacu y San Pedro.....	73
Cuadro 7. Data geológico – estructural de las estaciones ubicadas en el entorno a los manantiales El Sapote y San Francisco.	75
Cuadro 8. Data geológico – estructural de las estaciones ubicadas en el entorno a los manantiales El Negro y Puerto Bagazán.	77
Cuadro 9. Parámetros de calidad del agua en algunos manantiales de la Subcuenca Tioyacu – EL Negro.....	89

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Clasificación de las Unidades Hidrográficas.	6
Tabla 2. Clasificación de las Unidades Morfogenéticas.	41

LISTA DE ABREVIATURAS

LMP	:	Límite Máximo Permisible
Fm	:	Formación
J _{1,2,3}	:	Junta o discontinuidad
SW	:	Suroeste
SE	:	Sureste
NW	:	Noroeste
NE	:	Noreste
D	:	Dip
DD	:	Dip Direction
E	:	Estrato
msnm	:	metros sobre el nivel del mar
DA	:	Desnivel Altitudinal
HM	:	Altura o cota máxima
Hm	:	Altura o cota mínima
EIA	:	Estudio de Impacto Ambiental
Dd	:	Densidad de drenaje
Fr	:	Frecuencia de ríos
F	:	Factor forma
Kc	:	Índice de Gravelius

RESUMEN

La investigación fue desarrollada en la Subcuenca Tioyacu – El Negro, ubicada en el Distrito de Elías Soplín Vargas – Región San Martín, con la finalidad de obtener mayor información del comportamiento geoestructural – geohidrológico y contar con esta información para futuros proyectos involucrados con el uso del agua; teniendo como objetivo principal de definir el comportamiento geoestructural y geohidrológico de la Subcuenca Tioyacu - El Negro, se planteó que al estudiar las características litológicas, estructurales, geomorfológicas e hidrogeológicas se determinará el comportamiento de acuíferos y manantiales en la Subcuenca, para lo cual se realizó la recolección de información de campo que incluyen el cartografiado geológico y estructural, inventario de manantiales y la determinación de unidades morfogenéticas. Después de realizarse un análisis con ayuda de Softwares se determinó los 21 parámetros de la Subcuenca de los cuales es importante señalar que tiene un área de 146 Km², su perímetro de 55 Km, longitud de cauce principal de 29 Km y un desnivel altitudinal de 3147 msnm , así mismo se definió que el comportamiento geohidrológico y geoestructural está ligado a las características litológicas y discontinuidades de las rocas del Grupo Pucará; finalmente se identificó 20 manantiales con buena calidad y cantidad de agua para la población aledaña a la Subcuenca.

PALABRAS CLAVE: Geoestructuras, geohidrológico, acuíferos, manantiales, litología, discontinuidades, subcuenca.

ABSTRACT

The research was developed in the Tioyacu - El Negro sub-basin, located in the District of Elías Soplín Vargas - San Martín Region, in order to obtain more information on the geo-structural - geohydrological behavior and have this information for future projects involved with the use of water; having as main objective to define the geo-structural and geohydrological behavior of the Tioyacu - El Negro sub-basin, The study of the lithological, structural, geomorphological and hydrogeological characteristics will determine the behavior of aquifers and springs in the sub-basin, for which field information was collected, including geological and structural mapping, inventory of springs and determination of morphogenetic units. After performing an analysis with the help of software, the 21 parameters of the sub-basin were determined, of which it is important to point out that it has an area of 146 km², a perimeter of 55 km, a main channel length of 29 km and an altitudinal difference of 3147 masl, and that the geohydrological and geo-structural behavior is linked to the lithological characteristics and discontinuities of the rocks of the Pucará Group; Finally, 20 springs with good quality and quantity of water for the population surrounding the sub-basin were identified.

KEY WORDS: Geostructures, geohydrological, aquifers, springs, lithology, discontinuities, sub-basin.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

En la Región San Martín, Provincia de Rioja, Distrito de Elías Soplín Vargas se encuentra la Subcuenca Tioyacu - El Negro, geológicamente conformada por las Fm. Chambará, Aramachay y Condorsinga pertenecientes al Grupo Pucará del Triásico-Jurásico, las cuales están constituidas por estratos calcáreos kárstificados de gran espesor y en su mayoría fuertemente fracturados e intemperizados originando geoformas onduladas a escarpadas. La Subcuenca recibe recargas de la precipitación y escorrentía superficial, produciendo aguas subterráneas que en gran parte se originan en las cabeceras de cuencas y subcuencas, descargando en las zonas bajas mediante ríos y manantiales. Las geoformas y la litología presentan relación directa con las geoestructuras, que condicionan la presencia de acuíferos y manantiales; sin embargo, la alteración de los drenajes por actividades antrópicas o por fenómenos naturales pueden causar cambios en la calidad y cantidad del agua en las unidades hidrográficas, es por ello importante determinar la calidad y cantidad de las aguas de los macizos rocosos, drenajes y manantiales por donde discurren.

Es por eso que en la presente investigación se plantea la siguiente pregunta: ¿Cuál es comportamiento geoestructural y geohidrológico del Grupo Pucará con respecto a los acuíferos y manantiales en la Subcuenca Tioyacu - El Negro?; teniendo como hipótesis que el comportamiento geoestructural y geohidrológico de la Subcuenca Tioyacu – El Negro está condicionado por la litología, fallas, precipitación, infiltración y recargas en el área de investigación, donde los macizos rocosos presentan pliegues, morfología kárstica, presencia de acuíferos kársticos y manantiales que resultan de la interacción acuífero-manantiales.

Siendo el agua un elemento fundamental dentro de la sociedad, se realiza la investigación con la finalidad de conocer la interacción entre la geología, estructuras y geoformas en relación a los manantiales presentes en la zona de estudio; con el propósito de asegurar el suministro del recurso hídrico para el consumo humano, centro turístico Tioyacu y uso agrícola desde una perspectiva racional y ambientalmente sostenible.

De esta manera se plantea como objetivo principal, definir el comportamiento geoestructural y geohidrológico de la Subcuenca Tioyacu - El Negro; y como objetivos específicos; realizar el cartografiado geológico – estructural mediante imágenes satelitales y puntos de control, identificar los manantiales de la Subcuenca, definir las cabeceras de cuencas, zonas de recargas y divortium acuarium, determinar las condiciones físico-químicas de las aguas de los manantiales existentes y definir la interacción geoestructural con los acuíferos y manantiales.

El contenido de los capítulos se detalla a continuación:

En el capítulo II, se encuentra los antecedentes internacionales, nacionales y locales; bases teóricas de algunos autores con sus respectivos libros y definición de términos básicos, lo cual nos servirá de base y sustento de la investigación.

El capítulo III, describe los materiales y métodos que se usó en esta investigación: ubicación geográfica, accesibilidad, metodología, técnicas e instrumentos para la recolección de datos y la descripción detallada del procesamiento de la información, finalmente dentro del contexto geológico; se detalla a la geología, geomorfología, geología estructural, hidrología y geohidrología.

En el capítulo IV, se encuentra el análisis y discusión de resultados, interpretando la información obtenida de campo y presentando los resultados, así mismo contiene la contrastación de la hipótesis, determinando la veracidad de la misma.

El capítulo V, contiene las conclusiones y recomendaciones que servirá de ayuda para posteriores investigaciones.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES TEÓRICOS DE LA INVESTIGACIÓN

Los estudios realizados a nivel local como nacional son estudios realizados por el INGEMMET y tesis de pregrado realizadas por alumnos de las diferentes universidades del Perú, así como también estudios realizados por consultores contratados por instituciones públicas y privadas; a continuación, se presentan algunas investigaciones relacionadas con el siguiente proyecto de investigación.

2.1.1. Antecedentes Internacionales

Flores (2014), en su Tesis Doctoral, gestión integrada de los recursos hídricos, de la cuenca hidrológica del Río Papagayo, estado de Guerrero, México; propone una metodología de Gestión de los recursos hídricos en cuencas Hidrológicas que incluye a los componentes del agua superficial y subterránea de la zona.

Lorca (2011), en su Tesis de Magister, hidrogeología e hidrogeoquímica de la cuenca de la quebrada Paipote, Región de Atacama; realizó el estudio hidrogeológico e hidrogeoquímico con el objetivo de generar un modelo hidrogeológico conceptual sobre la base del comportamiento hidráulico de las rocas y sedimentos, la calidad química de las aguas y el balance hídrico de la cuenca de la Quebrada Paipote.

2.1.2. Antecedentes Nacionales

Becerra (2019), en su Tesis de Pregrado, realizó la caracterización hidrogeológica de la Microcuenca la Quispa, Crisnejas – Distrito de la Encañada; teniendo como objetivo principal caracterizar la hidrogeología de la Microcuenca la Quispa, Crisnejas; la cual mediante el método inductivo llegó a la conclusión que las unidades hidrogeológicas que predominan son acuitardos sedimentarios y volcánicos además de acuíferos fisurados sedimentarios y porosos no consolidados.

Lozano (2017), en su Tesis de Pregrado, analizó la evaluación geoestructural e hidrogeológica de la parte inferior de la Subcuenca Chirimayo, Sorochuco – Cajamarca, teniendo como objetivo principal la evaluación geoestructural e hidrogeológica de la parte baja de la subcuenca Chirimayo, mediante el cartografiado geológico-estructural se llegó a la conclusión de que las discontinuidades como fallas y diaclasas permiten la infiltración directa del agua al sistema hidrológico subterráneo.

Alaya (2014), en su Tesis de Pregrado, realizó la evaluación geoestructural e hidrogeológica del centro poblado la Chorrera – Cajamarca. Con el objetivo principal de evaluar las geoestructuras y la hidrogeología del centro poblado la Chorrera, llegó a concluir, que las estructuras del centro poblado la chorrera está relacionado directamente a la hidrogeología, mostrando la existencia de zonas importantes de manantiales y acuíferos.

2.1.3. Antecedentes Locales

Rodríguez (2020), elaboró el diagnóstico geológico, medioambiental e hidrológico de la ampliación de la explotación de la cantera Tioyacu; cuyo objetivo fue analizar el impacto medioambiental de la cantera Tioyacu, dentro la jurisdicción del municipio de Elías Soplin Vargas (Segunda Jerusalén), llegando a la conclusión que las aguas cristalinas del río Tioyacu son producto de la infiltración de las lluvias en cabeceras de cuencas mediante oquedades y cavernas; y que además se verán afectadas debido a la perforación y voladura realizada en la explotación de la cantera Tioyacu.

Carrillo et al (2016), realizó la evaluación geológica, geodinámica y sísmica en el poblado de Aguas Claras, con la finalidad de evaluar el origen de las continuas vibraciones en su localidad, llegando a la conclusión que las vibraciones percibidas por la población se deben al colapso de material kárstico en el interior de las cuevas o cavernas.

2.2. BASES TEÓRICAS

2.2.1. Hidrogeología

Según Stanley et al (1971), la hidrogeología es la ciencia que estudia el origen y la formación de las aguas subterráneas, las formas de yacimiento, su difusión, movimiento, régimen y reservas, su interacción con los suelos y rocas, su estado (líquido, sólido y gaseoso) y propiedades (físicas, químicas, bacteriológicas y radiactivas), así como las condiciones que determinan las medidas de su aprovechamiento, regulación y evacuación.

También es importante indicar que, los estudios hidrogeológicos son de gran importancia no solo para la provisión de agua a la población sino también para entender el ciclo vital de ciertos elementos químicos, también para evaluar el ciclo de las sustancias contaminantes, su movilidad, dispersión y la manera en que afectan al medio ambiente, por lo que esta especialidad se ha convertido en una ciencia básica para la evaluación de sistemas ambientales complejos (Mijailov, 1985).

2.2.2. Unidades Hidrográficas

Para Rodríguez (2018) el término de unidades hidrográficas está relacionadas con el concepto de cuenca, subcuenca, microcuenca o espacio geográfico delimitado por un borde denominado *divortium acuarium*; englobando e integrando a los ambientes bióticos y abióticos, considerando que corresponde a un entorno sistémico abierto.

Por otro lado, Carrie (2004), en su manual de manejo de cuencas, menciona que la Cuenca Hidrográfica es: “el espacio de territorio delimitado por la línea divisoria de las aguas, conformado por un sistema hídrico que conducen sus aguas a un río principal, a un río muy grande, a un lago o a un mar. Este es un ámbito tridimensional que integra las interacciones entre la cobertura sobre el terreno, las profundidades del suelo y el entorno de la línea divisoria de aguas”.

En este criterio coincide Ortiz (1996), el cual agrega a dicho criterio la existencia de una red natural de drenaje que confluyen a un colector común debido a un elemento dinámico denominado ciclo hidrológico, el cual permite desarrollar el concepto de balance hidrológico.



Figura 1. Clasificación de las unidades hidrográficas (adaptado por Casaverde, 2011).

Considerando las variables área y órdenes de drenaje, Ortiz (1996), elaboró una propuesta referencial de clasificación del tamaño relativo de las unidades hidrográficas; para que posteriormente, Rodríguez y Huamán (2016), propongan una nueva clasificación considerando las mismas variables en función del análisis de una muestra de 20 Unidades Hidrográficas en la Región Cajamarca.

Tabla 1. Clasificación de las Unidades Hidrográficas.

UNIDAD HIDROGRAFICA	Clasificación Ortiz (1995)		Clasificación Rodriguez y Huamán (2016)	
	AREA Km ²	NUMERO DE ORDENES	AREA Km ²	ORDENES DE DRENAJE
Microcuenca	10 - 100	1, 2, 3	< 40	1, 2, 3
Subcuenca	100 - 700	4, 5	40 - 350	4, 5
Cuenca	700 a mas	6 a mas	> 350	6 a mas

Fuente: Tomado de Rodríguez y Huaman (2016).

2.2.3. Importancia de una Cuenca Hidrográfica

Las cuencas hidrográficas son más que áreas de desagüe alrededor de nuestras comunidades. Son necesarias para brindar un hábitat a plantas y animales, además de proveer agua potable para la gente, sus cultivos, animales e industrias. Así mismo nos proporcionan la oportunidad para divertirnos y disfrutar de la naturaleza. La protección de los recursos naturales en nuestras cuencas es fundamental para mantener la salud y el bienestar de todos los seres vivos, tanto en el presente como en el futuro (Villegas, 2004).

2.2.4. Parámetros Geomorfológicos de una Cuenca

Para Aguilar (2018), las características fisiográficas de la cuenca pueden ser fundamentadas a partir de ciertos parámetros o constantes que se obtienen del procesamiento de la información cartográfica y conocimiento de la topografía de la zona de estudio, en tal sentido la cuenca como unidad dinámica natural es un sistema hidrológico en el que se reflejan acciones recíprocas entre parámetros y variables.

Los parámetros más importantes, que permiten definir la morfología de la unidad hidrográfica, se mencionan a continuación:

❖ *Parámetros Básicos*

a) Área

Según Ibañez, S et al; definen el área como el espacio delimitado por la curva del perímetro (P). Esta línea se traza normalmente mediante fotointerpretación de fotografía aéreas en las que se aprecia el relieve (y por lo tanto las divisorias de aguas) o sobre un mapa topográfico en función las curvas de nivel representadas. Probablemente sea el factor más importante en la relación escorrentía-características morfológicas.

Es la superficie del terreno en las aguas de las precipitaciones que concurren a un mismo punto de evacuación a través de cauces secundarios o quebradas que se unen a un cauce principal (Córdova,2016).

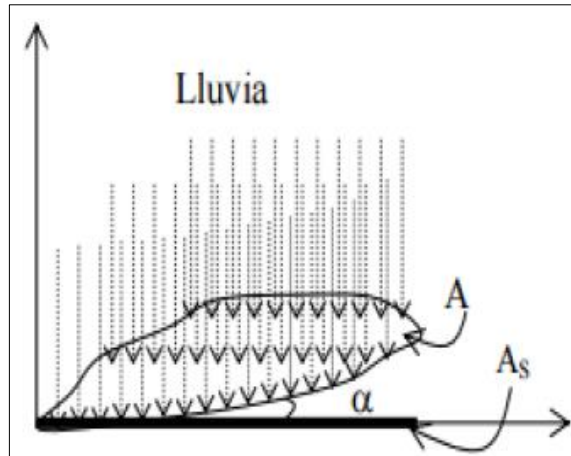


Figura 2. Área de drenaje de una cuenca.

$$As = \frac{A}{\cos \alpha}$$

Donde: $As \leq A$

- α : Ángulo de la pendiente media de la cuenca
- A : Área de la cuenca en la proyección horizontal
- As : Área de la cuenca real

b) Perímetro

Es la longitud de la línea divisoria de aguas y conforma el contorno del área de la cuenca. Cuando se realiza la comparación cuencas de la misma área, este parámetro es útil para diferenciar la forma de la cuenca. Es decir, si es alargada o redondeada (Córdova, 2016)

c) Longitud del Cauce Principal

Para Córdova (2016), este parámetro coincide con la longitud del río más largo, y es un criterio muy representativo de la longitud de una cuenca. Puede medirse considerando toda la sinuosidad del cauce o la longitud del eje del mismo.

d) Desnivel Altitudinal

Es el valor de la diferencia entre la cota más alta y la más baja de la cuenca.

$$DA = HM - Hm$$

Se relaciona con la variabilidad climática y ecológica puesto que una cuenca con mayor cantidad de pisos altitudinales puede albergar más ecosistemas al presentarse variaciones importantes en su precipitación y temperatura (Fattorelli, 2011).

e) Grado de Ramificaciones

La jerarquización permite tener un mejor conocimiento de la complejidad y desarrollo del sistema de drenaje de la cuenca. El orden se relaciona con el caudal relativo del segmento de un canal. Hay varios sistemas de jerarquización, siendo los más utilizados el de (Horton, 1945) y el de (Strahler, 1964).

Por el método de Horton los canales van numerados en función del número de afluentes que tengan, de forma que aquel que fluye desde el origen y no tiene ningún afluente es de orden 1, mientras que uno de orden 2 recibe dos afluentes. Si un canal recibe un afluente de orden 1 y otro de orden 2, su orden será 3. El orden de los canales va aumentando de uno en uno, de forma que, aunque un canal recibiera uno de orden 2 y otro de orden 3, su orden sería 4.

Monsalve (1999), clasificó el grado de ramificaciones o bifurcación dentro de la cuenca.

- Corrientes de primer orden: Pequeños canales que no tienen tributarios.
- Corrientes de segundo orden: Cuando dos corrientes de primer orden se unen.
- Corrientes de tercer orden: Cuando dos corrientes de segundo orden se unen.
- Corrientes de orden $n + 1$: Cuando dos corrientes de orden “n” se unen.

❖ ***Parámetros Fundamentales***

a) Densidad de Drenaje

Indica la relación entre la longitud total de los cursos de agua irregulares y regulares de la cuenca con la superficie total de la misma. De otra manera, expresa la capacidad de desalojar un volumen de agua dado (López, 1998).

Se calcula dividiendo la longitud total de las corrientes de la cuenca por el área total que las contiene:

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

Donde:

$\sum Lt$: Longitud total de corrientes de agua (suma de cauces)
A : Área de la cuenca

b) Extensión Media de Esguerrimiento Superficial

Este parámetro muestra la distancia media que el agua de la precipitación tendrá que transportarse hasta un cauce de agua cercano (Córdova, 2016).

$$ES = \frac{A}{4Lt} = \frac{1}{4Dd}$$

Donde:

ES : Extensión media de esguerrimiento superficial
Lt : Largo total de cursos de agua (Km)
A : Superficie de la Subcuenca (Km²)

c) Frecuencia de Ríos

Horton introdujo el concepto de frecuencia de corrientes, definida como el número segmentos de corrientes por unidad de área.

$$Fr = \frac{\sum_1^k N_U}{A_k}$$

La frecuencia de corrientes tiene por unidades L^{-2} y k es el orden del cauce principal (Campos, 1998).

Melton, analizó en detalle la relación de 156 cuencas entre la densidad de drenaje (Dd) y la frecuencia de corrientes y encontró que ambas son medidas de la magnitud de la red de drenaje.

$$F = 0.694 (Dd)^2$$

La ecuación es dimensionalmente correcta y $F/(Dd)^2$ es un número adimensional que tiende a un valor constante del orden de 0.70 (Campos, 1998).

❖ ***Parámetros de Forma***

a) Ancho Promedio

El ancho se define como la relación entre el área (A) y la longitud de la cuenca (L) y se designa por la letra W (Villon, 2002).

$$W = \frac{A}{L}$$

Donde:

- W : Ancho de la cuenca
- A : Área de la cuenca
- L : Longitud de la cuenca

b) Factor de Forma

Según Monsalve (1999) es la relación entre el área (A) de la cuenca y el cuadrado del máximo recorrido (L). Este parámetro mide la tendencia de la cuenca hacia las crecidas, rápidas y muy intensas a lentas y sostenidas, según que su factor de forma tienda hacia valores extremos grandes o pequeños, respectivamente. Es un parámetro adimensional que denota la forma redondeada o alargada de la cuenca.

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

Donde:

A : Área de la cuenca (Km²)

L : Longitud de máximo recorrido (Km)

Si $A > Kc$ la cuenca tendrá formas alargadas. Cuanto más los valores se acercan a 1 las cuencas tienden a ser más circulares y cuanto más alargadas sean las cuencas el índice de Gravelius tiende a ser mayor (Monsalve, 1999).

c) Coeficiente de Compacidad o Índice de Gravelius

Establece la relación entre el perímetro de la cuenca y el perímetro de una circunferencia de área equivalente a la superficie de la cuenca correspondiente. Este índice representa la forma de la superficie de la cuenca, según su delimitación, y su influencia sobre los escurrimientos y el hidrograma resultante de una precipitación (López & Mintegui, 1987).

De otra manera, este índice se basa en la comparación con una cuenca ideal de forma circular con sus cauces dispuestos radialmente y que desembocan en el punto central (López, 1998). Se expresa mediante la siguiente ecuación:

$$kc = \frac{P}{2\sqrt{\pi A}} \quad kc = 0,282 \frac{P}{\sqrt{A}}$$

Donde:

- P : Perímetro de la cuenca (Km)
 A : Área promedio de la cuenca (Km²)

❖ ***Parámetros de Elevación del Terreno o Relieve***

a) **Altura Media de la Subcuenca**

La altura media se puede definir, por su rectángulo de área equivalente al área limitada por la curva hipsométrica y los ejes de coordenadas. Se debe tener en cuenta que la altitud y la elevación media de la cuenca son también importantes por la influencia que ejercen sobre la precipitación, sobre las pérdidas de agua por evaporación y transpiración y consecuentemente, sobre el gasto medio (Monsalve, 1999).

$$H = \frac{\sum(Hi \times Si)}{A}$$

Donde:

- H : Altitud media de la cuenca
 Hi : Altitud media de cada área parcial comprendida entre las curvas de nivel, es tomada con respecto a la desembocadura
 Si : Área parcial entre curvas de nivel
 A : Superficie total de la subcuenca (Km²)

b) **Pendiente Media de la Subcuenca**

Según Aguilar (2018), se calcula como media ponderada de las pendientes de todas las superficies elementales de la cuenca en las que la línea de máxima pendiente se mantiene constante; es un índice de la velocidad media de la escorrentía y, por lo tanto, de su poder de arrastre o poder erosivo.

$$J = \frac{\sum Li * E}{A} * 100$$

Donde:

- J* : Pendiente media de la cuenca (%)
- Li* : Longitud de cada una de las curvas de nivel (Km)
- E* : Equidistancia de cada una de las curvas de nivel (Km)
- A* : Superficie de la cuenca (Km²)

c) Polígono de Frecuencia de Altitudes

Es la representación de la superficie, en Km² o porcentaje, comprendida entre los niveles, siendo la marca de clase el promedio de las alturas. De esta forma, con diferentes niveles se puede formar el histograma. Este diagrama de barras puede ser obtenido de los mismos datos de la curva hipsométrica. Realmente contiene la misma información de ésta, pero con una representación diferente, dándonos una idea probabilística de la variación de la altura en la cuenca (Ortiz, 2004).

Las características geométricas del histograma nos permiten descubrir información útil sobre los datos, por ejemplo:

- El grado de dispersión.
- El grado de agudeza del pico. Cómo se levanta y baja la pendiente.
- La sección a la cual se sesga, es decir; cuando no cae simétricamente en ambos lados del pico.
- La localización del centro de los datos.



Figura 3. Polígono de frecuencias de altitudes.

d) Curva Hipsométrica

La curva hipsométrica es la representación gráfica de la variación de altitudes de una cuenca y se obtiene a partir de un plano topográfico tomándose los valores en porcentajes del área que están por debajo de una determinada altura, que inicialmente serán la del punto más bajo de la cuenca e irá aumentando de acuerdo a los valores de las cotas de la curva de nivel que encierra las franjas de terreno por ellas definidas y el punto de salida que es generalmente el sitio más bajo de la cuenca (Villon, 2002).

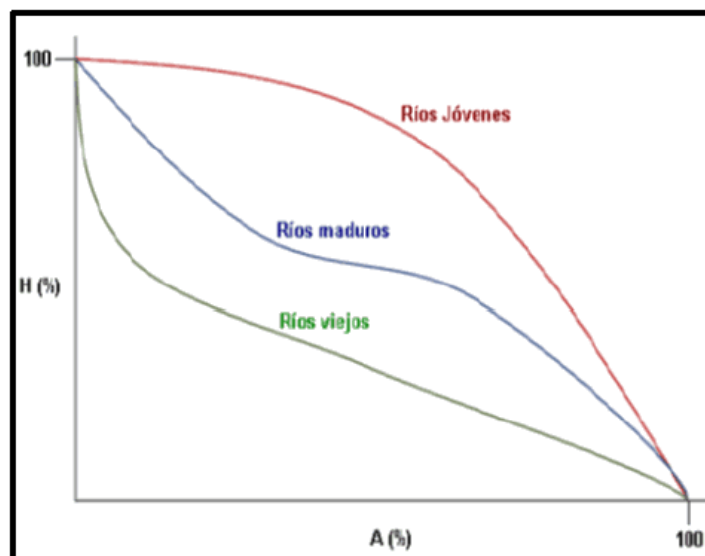


Figura 4. Curva hipsométrica.

e) Parámetro del Rectángulo Equivalente

El rectángulo equivalente es una transformación geométrica, que permite mostrar a la cuenca de su forma heterogénea, en la forma de un rectángulo, que tiene la misma área y perímetro y por lo tanto el mismo índice de compacidad o índice de Gravelius. En este rectángulo, las curvas de nivel se convierten en rectas paralelas al lado menor, siendo estos lados, la primera y última curvas de nivel (Ordoñez, 2011).

Los lados del rectángulo equivalente se determinan a través de fórmulas empíricas, una de las más utilizadas es la que se presenta a continuación:

$$L = \frac{Kc}{1,22} \sqrt{A} * \left[1 + \sqrt{1 - \left(\frac{1,12}{Kc}\right)^2} \right] \qquad L = \frac{Kc}{1,22} \sqrt{A} * \left[1 - \sqrt{1 - \left(\frac{1,12}{Kc}\right)^2} \right]$$

Donde:

- L : Longitud del lado mayor del rectángulo
- l : Longitud del lado menor del rectángulo
- Kc : Índice de compacidad
- A : Área de la cuenca

Debiéndose verificar que:

$$L + l = \frac{P}{2} \qquad L * l = A$$

❖ ***Parámetros Declividad de los Cursos de Agua***

a) Pendiente Media del Río Principal

La pendiente media del cauce principal es igual al cociente entre el desnivel entre los extremos del cauce principal y su longitud en planta (López, 1998).

$$Ic = \frac{h}{l} \quad \text{ó} \quad Ic = \frac{DA}{L}$$

Donde:

DA, h : Desnivel altitudinal (Km)

L, l : Longitud del cauce en (Km)

b) Declive Equivalente Constante

Este método asume que el tiempo de traslado del agua varía en toda la extensión del curso del río, con la inversa de la raíz cuadrada de la declividad (Aguilar, 2018).

$$S = \frac{1}{(Tm)^2} \quad Tm = \frac{\sum l*t}{L}$$

Donde:

Tm : Tiempo medio de traslado

l : Longitud parcial de un tramo del perfil longitudinal entre dos curvas de nivel

t : Recíproco de la raíz cuadrada de cada una de las declividades parciales del perfil longitudinal

L : Longitud más larga del río

c) Perfil Longitudinal de la Subcuenca

Según Aguilar, 2018 menciona que Taylor y Schwarz proponen calcular la pendiente media como la de un canal de sección transversal uniforme, que tenga la misma longitud y tiempo de recorrido que la corriente en cuestión.

Estos autores llegan a la conclusión de que en el caso de que los tramos no sean iguales la pendiente se encuentra dada por la siguiente expresión, la expresión matemática es:

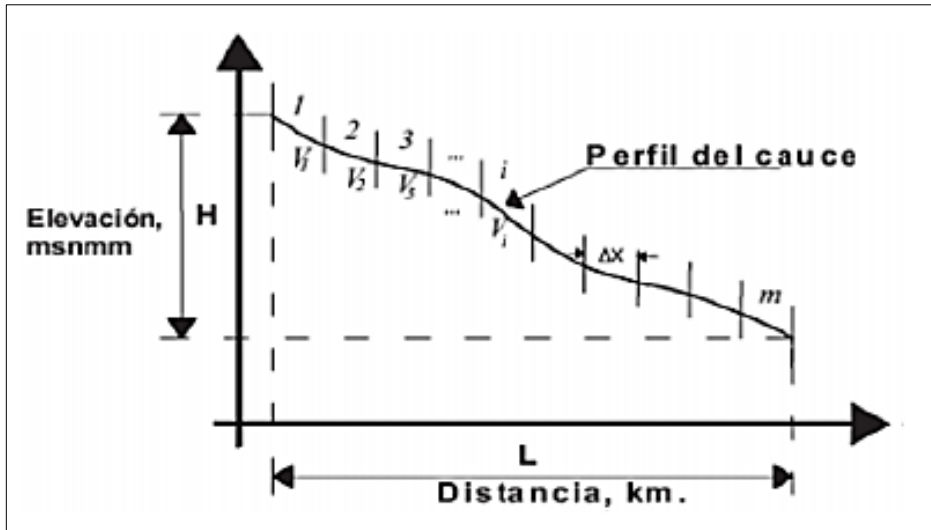


Figura 5. Perfil longitudinal de un cauce.

$$S_{EQ} = \left[\frac{L}{\frac{1}{\sqrt{S_1}}} \right]^2$$

Donde:

L : Longitud del río en un tramo

S_l : Pendiente en el tramo

❖ ***Parámetro del Coeficiente de Torrencialidad***

Este parámetro resulta de la relación entre el número de cauces de agua de orden uno y el área de la cuenca. A mayor número de cauces de orden uno y menor área, la torrencialidad de la cuenca será mayor (Romero, 1987). Este resultado significa que el agua recorre muy poco para dirigirse a los cauces y la velocidad de descarga es mayor.

$$C_t = \frac{\sum \text{Cauces de orden 1}}{\text{Área de la cuenca}}$$

La descripción de las características morfométricas, fisiográficas, hidrológicas e hidráulicas entre otros, permite un mejor entendimiento del comportamiento del flujo de agua en la cuenca.

❖ ***Parámetro del Coeficiente de Masividad***

Este parámetro resulta de la relación entre la altitud media de la cuenca, que se calcula por medio de la curva hipsométrica, y el área de la misma (Martonne, 1940). Su resultado es alto para cuencas de cumbres altas y bajo en cuencas donde predominan terrenos planos que presentan áreas similares. Su relación es la siguiente:

$$Cm = \frac{H}{h} = \frac{OM}{OA} = tg\alpha$$

Donde:

- Cm : Coeficiente de masividad
- H : Altura media de la subcuenca
- A : Área total de la subcuenca

2.2.5. Acuíferos

Se denomina acuífero a las formaciones geológicas que almacenan y liberan agua, con la particularidad, del carácter móvil y renovable de las aguas que llegan y saturan el medio permeable, permitiendo que el hombre pueda extraerla y aprovecharla en cantidades económicamente apreciables para sus necesidades (Gil, 2007).

Los acuíferos por tanto deben ser entendidos como formaciones geológicas subterráneas permeables, susceptibles de almacenar y transmitir el agua. Desde el punto de vista hidrogeológico, estas formaciones suelen dividirse en cuatro grupos principales como se observa a continuación (González de Vallejo, 2004).

		Capacidad de almacenar	Capacidad de drenar	Capacidad de transmitir	Formaciones características
ACUÍFEROS	➔	ALTA	ALTA	ALTA	Gravas, arenas, calizas
ACUITARDOS	➔	ALTA	MEDIA/BAJA	BAJA	Limos, arenas limosas y arcillosas
ACUICLUDOS	➔	ALTA	MUY BAJA	NULA	Arcillas
ACUIFUGOS	➔	ALTA	NULA	NULA	Granitos, gneis, mármoles

Figura 6. Formaciones geológicas frente al agua (González de Vallejo 2004).

- ❖ **Acuíferos:** almacenan y transmiten el agua (gravas, arenas, materiales calizos, etc.); son formaciones con capacidad de drenaje alta en las que se puede perforar pozos y sondeos con el fin de satisfacer las necesidades humanas de abastecimiento, agricultura, industria, ganadería.
- ❖ **Acuitardos:** pueden almacenar el agua en cantidades muy importantes, pero la transmiten con dificultad; se suelen denominar con frecuencia formaciones semipermeables (limos, arenas limosas, arenas arcillosas) y su capacidad de drenaje es media a baja.
- ❖ **Acuicludos:** acumulan el agua en grandes cantidades, pero no tienen la posibilidad de transmitirla y se drenan con mucha dificultad; el agua se encuentra encerrada en los poros de la formación y no puede ser liberada (impermeable). (arcillas, arcillas plásticas, limos arcillosos).
- ❖ **Acuífugos:** formaciones incapaces de almacenar y transmitir el agua; están representados por las rocas compactas, como granitos y gneises, y a veces incluso calizas muy compactas sin carstificar; se muestran como impermeables salvo que exista fracturas que pueden permitir flujos.

2.2.6. Clasificación de Acuíferos

❖ *Según sus Características Litológicas*

- a) Acuíferos Detríticos. Formados por masas de rocas fragmentadas, arenas y gravas; el cual almacenan el agua en los espacios intersticiales. Su capacidad de contener y transmitir agua es función del porcentaje de huecos disponibles entre sus partículas. Se localiza en material geológico cuyo origen está en relación con el proceso de erosión, arrastre y sedimentación (Aguilar, 2018).
- b) Acuíferos Carbonatados. Formados por estratos de alta porosidad primaria, por ejemplo: caliza, dolomía, mármol y alguna marga calcárea, aunque su permeabilidad está en relación a su porosidad secundaria, desarrollada a través de procesos de disolución química a lo largo de fracturas, conocido como karstificación, como sucede en las calizas y dolomitas compactas (Aguilar, 2018).
- c) Acuíferos Aluviales. Es de estrato o capa formada en ambiente fluvial y de abanico (Custodio y Llamas, 1999), con permeabilidad no nula, se apoya sobre un material de menor permeabilidad, por ejemplo, una capa arcillosa o la superficie freática libre, se encuentra a unos metros o decenas de metros de profundidad.
- d) Acuíferos Volcánicos. Está formado por rocas volcánicas de elevada permeabilidad y presencia de cavidades o vesículas, más o menos comunicadas entre sí, que son producto de la liberación de gases o circulación hídrica durante los procesos efusivos (Custodio y Llamas, 1976). La infiltración puede alcanzar el valor superior a la mitad de la precipitación; por ejemplo, el flujo de lava (Price, 2003).

❖ *Según el Tipo de Permeabilidad*

- a) Acuíferos de Medios Porosos. Se encuentran en los sedimentos detríticos, areniscas y conglomerados; estos presentan unas excelentes condiciones para almacenar y transmitir el agua (Gil, 2005).

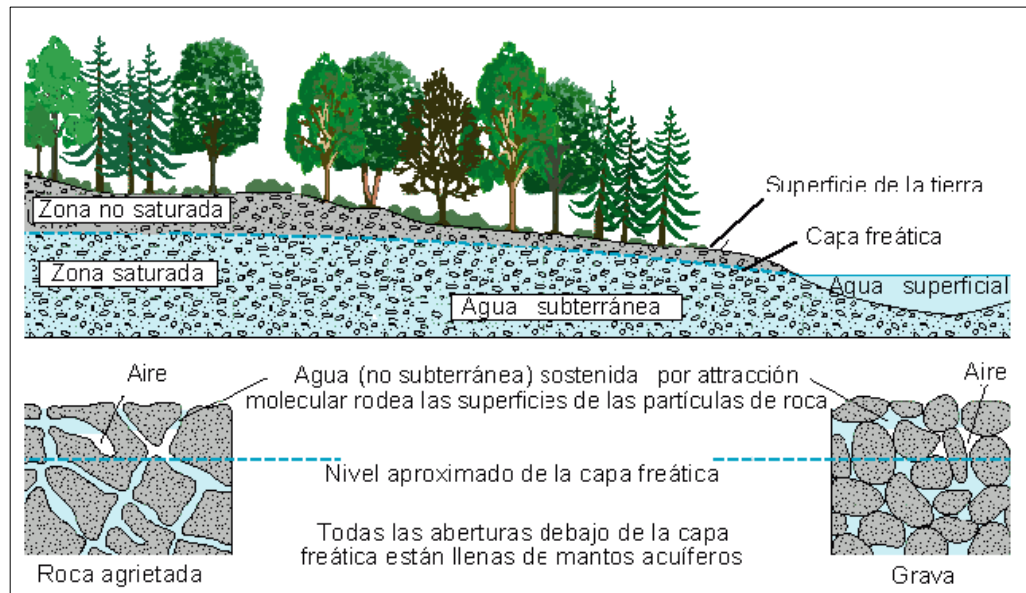


Figura 7. Acuíferos porosos.

- b) Acuíferos de Medios Fisurados. Este tipo de acuíferos se forman en formaciones constituidos por rocas ígneas, metamórficas y sedimentarias consolidadas. El agua se almacena en las grietas, diaclasas de la roca, solamente en zonas de falla o cuando han tenido un fracturamiento intenso (Custodio & Llamas, 2001).

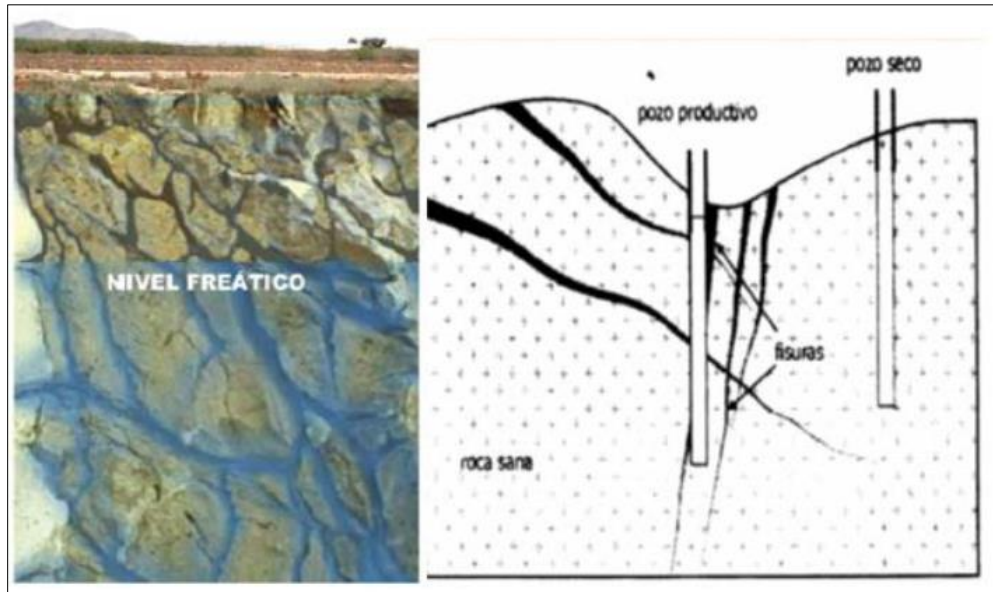


Figura 8. Acuíferos fisurados.

- c) Acuíferos de Medios Kársticos. Cualquier formación geológica caracterizada por tener una porosidad secundaria, afectada por una intensa disolución. Característica de rocas sedimentarias consolidadas cuyos poros y fisuras han sido ensanchados por la acción disolvente del agua, en rocas calizas (Custodio & Llamas, 2001).

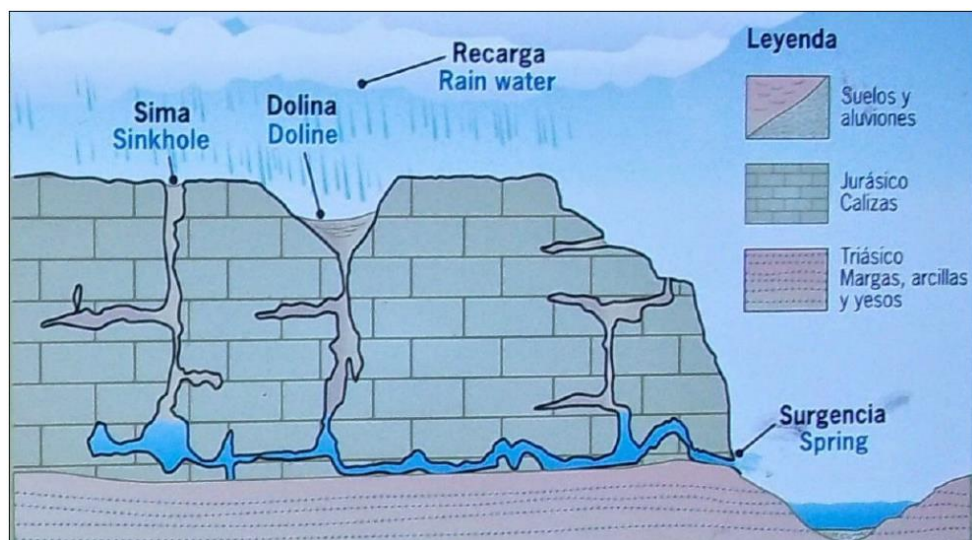


Figura 9. Acuíferos en medios kársticos.

❖ *Según la Presión Hidrostática*

- a) **Acuíferos Libres.** Son aquellos en los que el nivel superior de saturación se encuentra a presión atmosférica. A la superficie piezométrica de un acuífero libre se denomina superficie freática. Por esta razón, los acuíferos libres son también conocidos como “Acuíferos Freáticos”. Por lo tanto, la superficie freática es una superficie real que delimita el acuífero libre (por debajo) de la zona vadosa (por encima) (Custodio y Llamas,1983).
- b) **Acuíferos Semiconfinados.** Son aquellos en los que los materiales que lo rodean no son todos impermeables; donde el paquete superior o semiconfinante lo constituyen formaciones semipermeables el cual permiten el paso del agua de otros acuíferos superiores hacia el inferior semiconfinado (González de Vallejo, 2004).
- c) **Acuíferos Confinados.** Corresponden a formaciones geológicas permeables, completamente saturadas de agua, confinadas entre dos capas o estratos que podemos asumir como impermeables, ya sean acuífugos o acuicludos (Custodio y Llamas,1983).

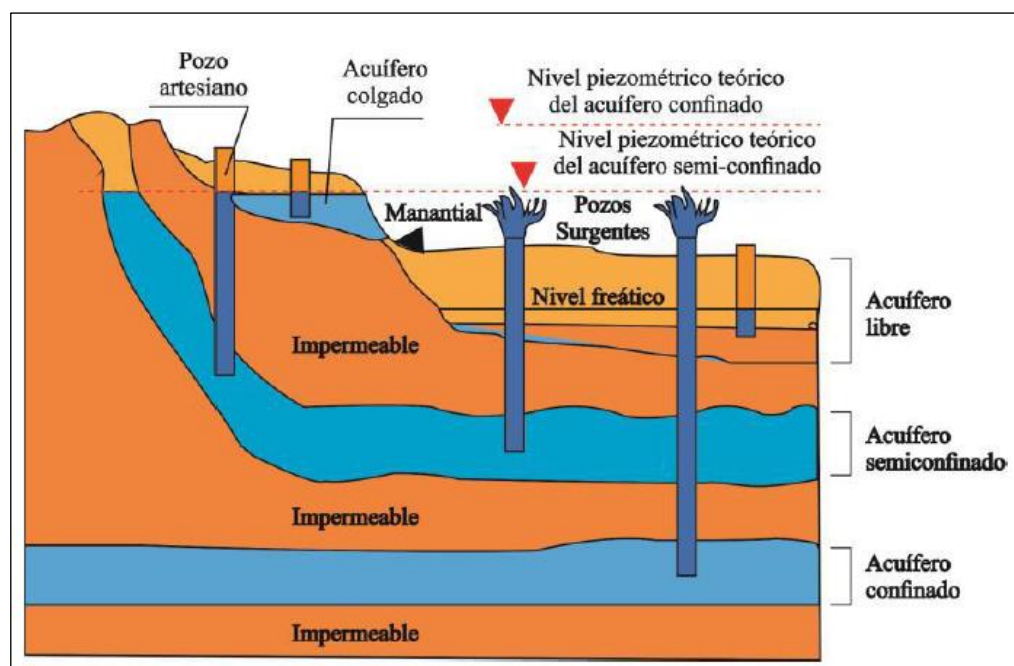


Figura 10. Tipos de acuíferos según el comportamiento hidráulico.

2.2.7. Geoestructuras

La variable geoestructuras comprende tres componentes fundamentales, los pliegues, las fallas y los cuerpos mineralizados denominados pórfidos. Considerando las deformaciones corticales compresionales a nivel de cadenas montañosas como es el caso de los andes peruanos, podemos definir que las geoestructuras no se formaron individualmente ni en tiempo ni espacio, sino más bien, como conjuntos sistémicos en procesos continuos, teniendo en cuenta los diversos mecanismos y leyes que dieron lugar a diversas geometrías, con dominios denominados niveles estructurales (Bastida, 2005).

❖ *Controles Estructurales*

- a) Plegamientos. Los estratos constituyen un pliegue tipo sinclinal o anticlinal solo depende de si la curvatura apunta hacia arriba (anticlinal) o hacia abajo (sinclinal) (Lillo & Oyarzun, 2013),.

Estos plegamientos introducen mucha incertidumbre en la localización de pozos productivos, siendo necesario obtener datos de campo en muchos puntos de un área dada, para obtener un mapa que muestre las unidades más permeables y la posición de los niveles piezométricos.

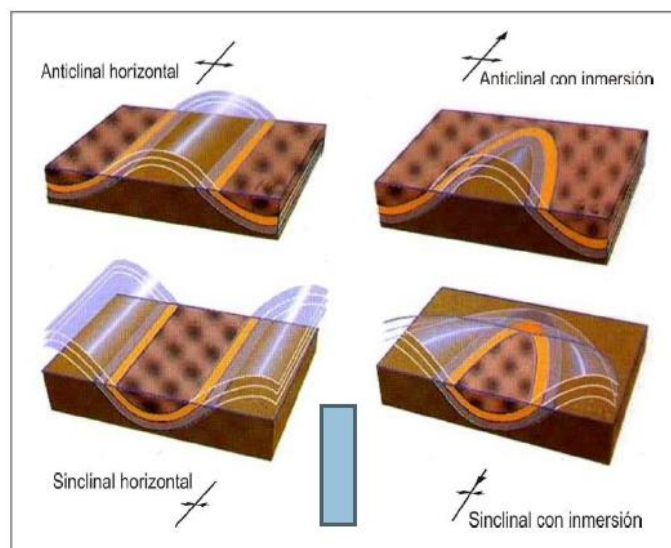


Figura 11. Formas posibles de plegamiento simétrico y su simbología cartográfica.

Fuente: Lillo & Oyarzun (2013).

- b) Fallas. Una falla es una zona de fractura a lo largo de la cual hay desplazamientos diferenciales. Las fallas son de tres tipos: normal, inversa y de rumbo (Lillo & Oyarzun, 2013).

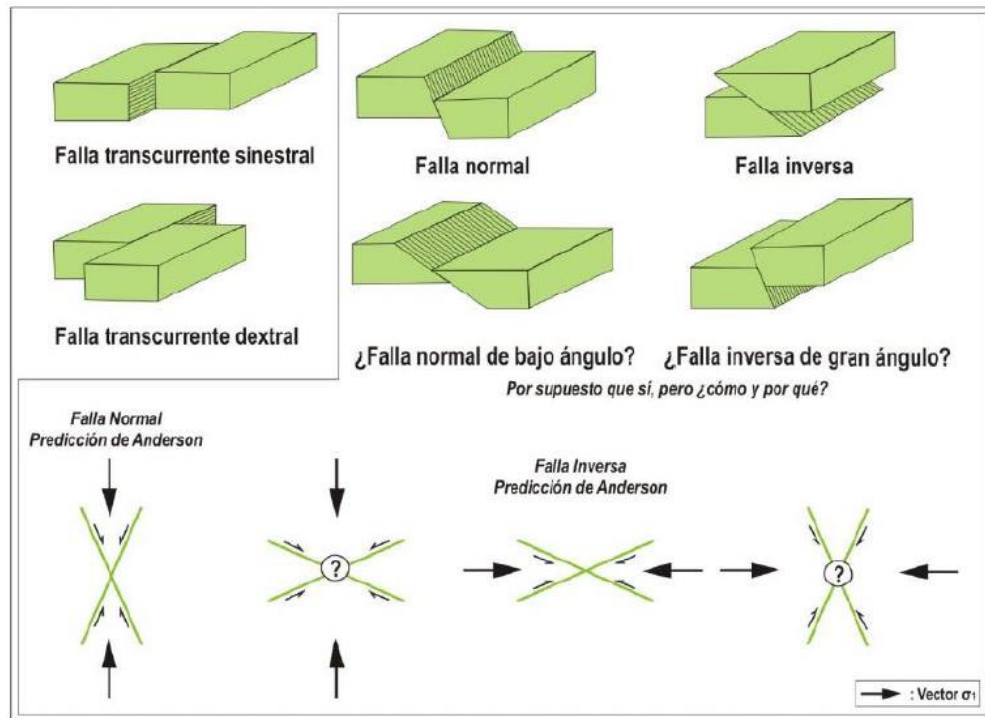


Figura 12. Tipos de fallas principales.

Fuente: Lillo & Oyarzun (2013).

Alaya (2014) hace referencia a Tolman 1937, mencionando que las fallas pequeñas afectan muy poco el agua subterránea a menos que como las fracturas, sirvan de pequeños lugares de almacenamiento. Las fallas de extensión, desplazamiento y profundidades considerables, afectan la distribución y posición de los acuíferos. Pueden actuar, ya sea como barreras o como conductos de agua.

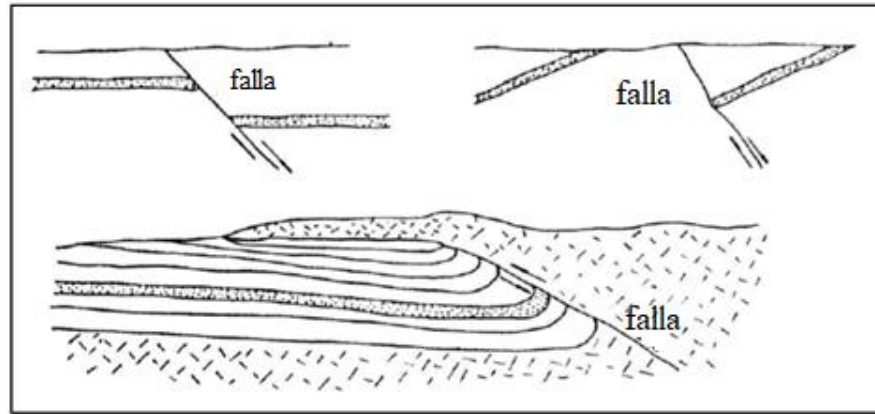


Figura 13. Posibles efectos de una falla sobre la posición de los acuíferos.

Fuente: Meinzer (1923).

Según Alaya (2014) en su tesis de pregrado menciona que, en vez de una falla simple y bien definida, puede haber una zona de falla con numerosas fallas paralelas y masas de rocas fracturadas y pulverizadas, llamada brecha de falla. Tales zonas pueden también servir como conductos o barreras para el agua. Las fallas afectan las condiciones del agua subterránea, no solamente desplazando unidades de alta permeabilidad, sino también modificando la altitud y topografía de la superficie en los lados opuestos de la falla. Por ejemplo, el lado elevado de una falla, puede producir una escarpa. También puede haber cambios que se traducen en la depositación de material altamente permeable en el lado bajo de la falla, causado por erosión de las rocas expuestas en el lado superior.

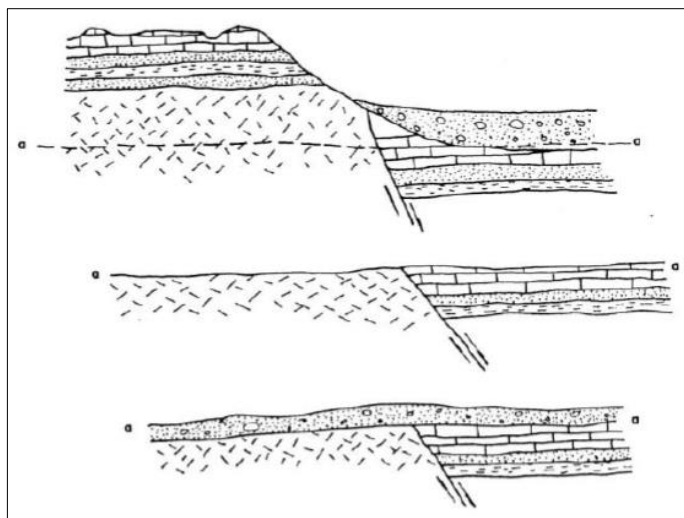


Figura 14. Acuíferos formados por la erosión de las escarpas.

Fuente: Meinzer (1923).

Con el tiempo, la erosión de la escarpa puede remover cualquier evidencia topográfica de su existencia. Eventualmente puede ser cubierta por depositación de sedimentos jóvenes sobre el área.

La depositación de material a lo largo de la falla reduce la permeabilidad. Sin embargo, las fallas también pueden actuar como conductos para el flujo. En regiones donde éstas tienen profundidades considerables, las fisuras y fracturas asociadas a ellas permiten el ascenso del agua, dando origen a las llamadas aguas termales (Alaya, 2014).

- c) Fisuras y Fracturas. Las fisuras ocurren generalmente en rocas duras y masivas como resultado de esfuerzos de tracción y compresión producidos por los movimientos de la tierra.

El espaciamiento y continuidad de las fisuras y fracturas es muy variable. Las fisuras verticales son importantes "ductos" conductores de agua. Donde hay un estado de fisuración bien desarrollado, el espaciamiento de este tipo de fisuras según datos de campo puede variar entre tres y siete pies, y puede alcanzar profundidades hasta 50 pies. Las fisuras horizontales son más espaciadas que las verticales, decreciendo en número con la profundidad. Su continuidad rara vez excede los 150 pies según Alaya (2014) haciendo referencia a Meinzer, 1923. Se desarrollan más en las pendientes que en los valles.

2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS

Hidrogeología. La hidrogeología es el estudio de las aguas subterráneas cuyo énfasis recae sobre su aspecto químico, circulación y circunstancias geológicas condicionantes (Stanley et al, 1971).

Hidrología. Es la ciencia natural que estudia el agua, su ocurrencia, circulación y distribución en la superficie terrestre, sus propiedades químicas y físicas y su relación con el medio ambiente, incluyendo a los seres vivos (Villón, 2002).

Unidad Hidrográfica. Las unidades hidrográficas son área de drenaje limitadas por líneas divisorias de aguas, y que se relacionan espacialmente por sus códigos (MMA y A).

Acuífero. Roca porosa y permeable que permite la retención del agua en cantidades suficientes para su posterior extracción en beneficio del hombre. Los acuíferos se clasifican en acuíferos libres, confinados, artesianos, semiartesianos, termales. Debe asociarse además a la terminología actual de acuíferos fracturados y acuíferos kársticos. (Dávila, 2011).

Manantial. Lugar de afloramiento de las aguas subterráneas. Sinónimo de fuente (Dávila, 2011).

Drenaje. Es el diseño o trazo efectuado por las aguas de escorrentía o fluviales que modelan el paisaje. Al conjunto de estos diseños o trazos se le denomina patrones de drenaje. El análisis y estudio de los patrones de drenaje ayuda a la determinación de la naturaleza, estructura y textura de las rocas, así como la tectónica de la región (fallas, pliegues) (Dávila, 2011).

Líneas de flujo o Líneas de Corriente. Son indicadoras de la trayectoria del movimiento del agua dentro del acuífero y son ortogonales a las líneas equipotenciales (Gonzales de Vallejo, 2004).

Cuenca. Sistema abierto, complejo, cuyos elementos biofísicos, sociales y económicos se encuentran estrechamente interrelacionados. Es un sistema abierto porque transfiere – recibe y da- flujos de energía y materia a través de sus fronteras con otros sistemas. Es un espacio con características ecológicas, sociales, económicas muy particulares; y que nadie es capaz de conocerlo mejor que la propia población que en ella habita (Ortiz, 1996).

Cuenca hidrográfica. Área de alimentación de una red natural de drenaje, cuyas aguas pluviales son recogidas y confluyen hacia un colector común: el cauce principal de la cuenca. Desde hace muchísimos años la cuenca ha sido concebida bajo este punto de vista hidrológico como un espacio geográfico con claros límites fisiográficos; la línea de divortium acuarium, con un elemento dinámico muy propio de dicho espacio: el ciclo hidrológico. Este último elemento permite formular una expresión particular de dicho espacio: el balance hidrológico (Ortiz, 1996).

Subcuenca. Constituyen unidades hidrográficas geoambientales delimitadas por un divortium acuarium que presentan condiciones bióticas y abióticas, con parámetros básicos de área entre 40 a 350 Km² y 4to y 5to orden de drenaje (Rodríguez, 2016).

Zona de Recarga. Es la zona que presenta condiciones que determinan la velocidad y caudal de la recarga de aguas subterráneas, las cuales pueden ser de dos categorías: aquellas relacionadas con la precipitación, como verdadera fuente de abastecimiento, y aquellas relacionadas con la facilidad de entrada del agua en el terreno, las cuales determinan la proporción de agua de lluvia o nieve que alcanzan los depósitos subterráneos (Espinoza, 2003).

Geoestructuras. Configuraciones geométricas de las rocas originadas por procesos de deformación natural, los desplazamientos y mecanismos implicados en el desarrollo de tales configuraciones, su evolución espacial-temporal y las causas que dieron lugar a su formación. (Bastida, 2005).

Plegamiento o Pliegue. Deformación de las rocas estratificadas, debido a los esfuerzos de compresión, a las propiedades plásticas de estas y a las condiciones de elevada presión reinantes, tomando formas onduladas (Dávila, 2011).

Falla. Desplazamiento de un bloque rocoso con respecto a otro colindante a este o de ambos bloques, a través de un plano denominado plano de falla. Las fallas son resultado de los esfuerzos tectónicos, producto de la epirogenesis, orogenia, diastrofismo, tectónica de placas o cualquier otro tipo de desplazamiento de parte de la corteza. Una falla ocasiona discontinuidad de las estructuras geológicas (Dávila, 2011).

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. GENERALIDADES

3.1.1. Ubicación Geográfica

La Subcuenca Tioyacu – El Negro ubicada en la selva norte del Perú, es una de las vertientes importantes de la Cuenca del Mayo, con una altitud comprendida entre los de 522 a 3669 msnm.

Geográficamente, el área de investigación se encuentra dentro de las coordenadas en sistema UTM del Datum WGS-84 siguientes:

Norte	:	9320000 y 9340000
Este	:	240000 y 255000

3.1.2. Ubicación Política

Región San Martín, Provincia de Rioja, Distrito de Elías Soplín Vargas.

3.1.3. Accesibilidad

Existen tres vías principales que une la Región Cajamarca con el Distrito Elías Soplín Vargas (Segunda Jerusalén, Región San Martín), las cuales en la actualidad se encuentran asfaltadas y en buenas condiciones; a continuación, se detalla cada una de ellas.

Cuadro 1. Accesibilidad a la zona de investigación.

Ruta	Distancia (km)	Tipo de vía	Tiempo (h)
Cajamarca – Chiclayo – Bagua – Pedro Ruiz - Elías Soplín Vargas	831 km	Carretera asfaltada	16 h
Cajamarca – Cutervo – Bagua – Pedro Ruiz - Elías Soplín Vargas	586 km	Carretera asfaltada	13 h
Cajamarca – Celendín – Chachapoyas – Pedro Ruiz – Elías Soplín Vargas	530 km	Carretera asfaltada	12 h
Elías Soplín Vargas – zona de estudio	500 m	Trocha carrozable, camino de herradura	15 min

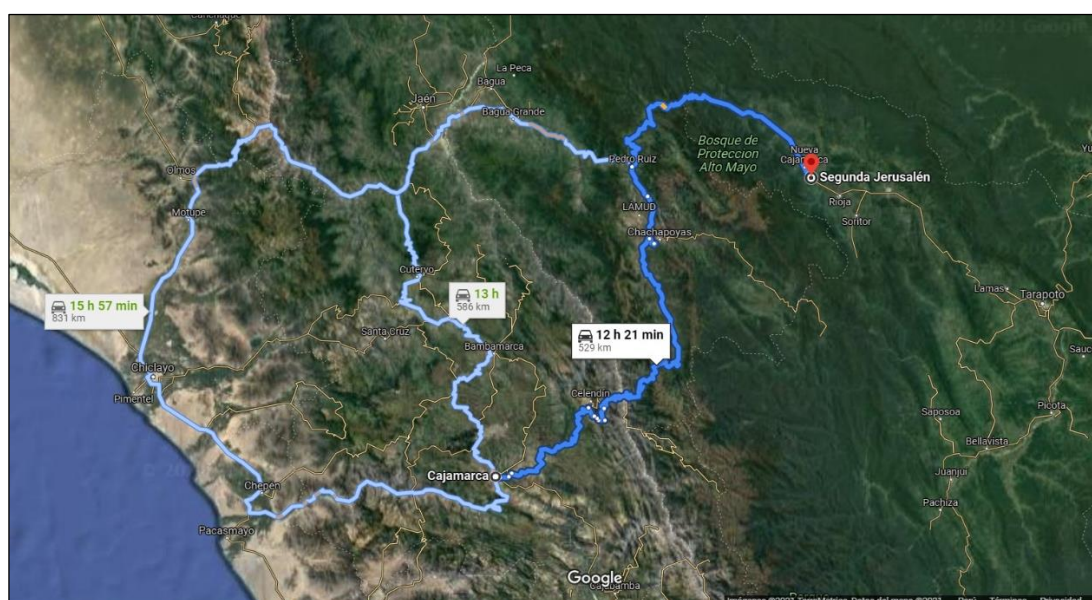


Figura 15. Accesibilidad desde la Región Cajamarca a la zona de investigación.

Fuente: Google Maps (2023).

3.1.4. Clima y Vegetación

El clima del Distrito de Elías Soplín Vargas, presenta una serie de fenómenos de tipo local producidos principalmente por el ascenso de masas de aire cálido y húmedo procedentes del Brasil por la cordillera de los Andes, dando lugar a su enfriamiento y produciendo precipitaciones significativas siempre y cuando exista la disponibilidad de vapor de agua. La temperatura máxima se encuentra entre los meses de octubre y diciembre la cual oscila entre los 28 a 31°C y la temperatura mínima registrada está dada en el mes de julio que varía entre los 16 y 19 °C.

La vegetación es exuberante presentando una variedad de flora en zona de bosques montanos por encima de los 1000 m; en la que se encuentra varias especies como las dicotiledóneas, monocotiledóneas, araceae, asteraceae, euphorbiaceae y solanaceae. De los cuales los más representativos son el cedro, caoba, tornillo e ishpingo según EIA Cementos Selva (2012).



Foto 1. Exuberante y característica vegetación de cedro y caoba al oeste del Caserío La Victoria.

3.2. PROCEDIMIENTOS

3.2.1. Metodología

La metodología de investigación empleada es descriptiva, explicativa, no experimental y transversal en el tiempo; basada en observaciones de los afloramientos y vertientes de agua dentro de la Subcuenca Tioyacu – El Negro. Tomando datos como: cartografiado geológico, dip, dip direction de las estructuras como fallas, pliegues, diaclasas. Además, la medición de los parámetros físicoquímicos de las fuentes de agua, con los cuales se generarán interpretaciones y conclusiones finales.

❖ ***Población de Estudio***

Subcuenca Tioyacu – El Negro, con un área de 146 Km².

❖ ***Muestra***

Estaciones geoestructurales en la Subcuenca Tioyacu – El Negro.

❖ ***Unidad de Análisis***

Litología, geoestructuras, geoformas, acuíferos, manantiales y parámetros fisicoquímicos.

❖ ***Identificación de Variables***

En la presente investigación se identificó las variables, que están relacionadas por causa (variables independientes) produciendo un efecto (variable dependiente) y se muestran a continuación:

- a) Variables Independientes. Litología, Geoestructuras, Geoformas, Precipitación e Infiltración.
- b) Variables Dependientes. Acuíferos, Manantiales.

3.2.2. Técnicas

Las técnicas usadas para la recolección de datos en la investigación son: observación dirigida, análisis documental, tomas fotográficas, cartografiado geológico e hidrogeológico, mediciones en campo (medición de discontinuidades, rumbos y buzamientos), medición de parámetros fisicoquímicos de las fuentes de agua. Finalmente se procesa la información del cartografiado geológico y las propiedades geomecánicas de las estructuras en software ArcGis 10.5, Dips v7.0, Excel, Word.

❖ *Etapa Preliminar de Gabinete*

Esta etapa se encuentra conformada por dos fases: la primera por una planificación de tareas a realizar además una recopilación y análisis de teorías relacionadas con el problema de investigación, evaluación de imágenes satelitales para un mejor estudio de estructuras y geformas. Se elaboraron los planos básicos de ubicación y geológico, este último con la data de las cartas 12i y 13i de Nueva Cajamarca y Rioja tomado del Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (INGEMMET), en base al modelo digital de elevaciones (MED) se diseñaron el plano topográfico. La segunda fase lo conforma el análisis e interpretaciones de los datos obtenidos en campo.

❖ *Etapa de Campo*

Comprendió la obtención de datos en campo, en la cual se realizó la ubicación, delimitación y reconocimiento fisiográfico de la zona de estudio. Así mismo se realizó el cartografiado geológico, geomorfológico y estructural del área de trabajo, con ayuda de los siguientes planos e imágenes satelitales:

- a) Imágenes Satelitales. Consta de imágenes Landsat banda 4, así como imágenes del Google Earth Pro y SAS Planet, las cuales sirvieron para identificar las formaciones geológicas en la zona, y además para la localización de estructuras geológicas.
- b) Carta Geológica del Ingemmet (12i, 13i). Correspondiente a los cuadrángulos de Nueva Cajamarca y Rioja, la cual sirvió para analizar las formaciones geológicas de la zona de investigación con lo cual se logró definir en campo y tener una buena interpretación y análisis geoestructural.
- c) Modelo digital de elevaciones (MDE). A escala 1:50 000, sobre el cual se realizó el cartografiado geoestructural, y se plasmó los drenajes y zonas de acceso. La segunda etapa consistió en la identificación, y cartografiado de las diferentes litologías en la zona de estudio. Luego se hizo el trabajo de gabinete que consistió en el análisis y clasificación de la litología y estructuras identificadas.

❖ *Etapa Final de Gabinete*

Con la información obtenida en las etapas anteriores, se procesó e interpretó utilizando softwares como: Sas Planet, ArcGIS 10.5, Dips v7.0; dando como resultado la realización de los planos (geológico, topográfico, estructural, unidades morfogénicas, secciones estructurales, hidrogeológico); además, la discusión de resultados y obtención de conclusiones coherentes de acuerdo a los objetivos planteados.

3.2.3. Instrumentos y Equipos

- ❖ *GPS Garmin eTrex 20*, utilizado para la obtención de las coordenadas para la ubicación de puntos y estaciones geomecánicas.
- ❖ *Brújula Brunton Geotécnica*, utilizado para la toma de datos de direcciones de discontinuidades y planos de estratificación.
- ❖ *Picota de Geólogo*, es una herramienta usada para sacar muestras y calcular la resistencia del macizo rocoso.
- ❖ *Flexómetro de 5m*, usado para medir las discontinuidades de los afloramientos, además para el cálculo de caudales.
- ❖ *Lupa 40 – 25 mm*, usada para ver componentes de menor tamaño de las rocas.
- ❖ *Lápiz de Dureza*, usada para hallar la dureza de la roca.
- ❖ *Protactor*, usado para la correcta lectura de la escala en los planos.
- ❖ *Cámara Digital*, usada para tomar fotos y tener el registro fotográfico.
- ❖ *Laptop ASUS core i7*, usada para la realización del informe de la investigación.

3.2.4. Software

- ❖ *ArcGis 10.5*, usado para la creación de los planos (geológico, geomecánico, topográfico, estructural, secciones morfométricas, hidrogeológico).
- ❖ *Global Mapper*, usado para realizar la descarga de curvas de nivel, delimitación de unidades hidrográficas y drenaje a partir de imágenes ráster.
- ❖ *Dips v7.0*, usado para calcular y analizar direcciones de estratos, discontinuidades y flujos de agua.



Foto 2. Equipos y materiales usados en la investigación.

3.3. GEOLOGÍA LOCAL

La estratigrafía presente en la Subcuenca Tioyacu - El Negro está conformada por las formaciones sedimentarias del Grupo Pucará, que van desde el Triásico Superior hasta el Jurásico Inferior; constituidas por calizas marinas litológicamente muy parecidas, densas, compactas, con presencia de venillas de calcita y fuertemente fracturadas. Así mismo se encuentra depósitos cuaternarios de tipo aluvial (Ver anexo 7, plano 05).

3.3.1. Grupo Pucará

❖ Formación Chambará (Ts – ch)

La mayor exposición se encuentra hacia el sureste del Complejo Turístico “Tioyacu” en la parte alta del Caserío Santa Fe, con afloramientos de calizas micríticas meteorizadas de color gris oscuro, recristalizadas.

Además, se observó los estratos de calizas micríticas con espesor de 0.3 a 0.5 m, moderadamente fracturados presentando 2 a 3 familias de discontinuidades y planos de estratificación con dirección de 85° NE.



Foto 3. Estratos de calizas micríticas de color gris de la Fm. Chambará, Caserío Santa Fé.

❖ Formación Aramachay (Ji – a)

Esta unidad sobreyace a la Formación Chambará y se observa a lo largo de los Caseríos El Mirador, Vista Hermosa y Naciente del Río Negro con afloramientos de calizas criptocristalinas de color beige intercalado con calizas margosas y arcillas fisibles de color beige y negras. Presenta estratos delgados de 10 a 30 cm de espesor, fuertemente fracturados y meteorizados con una inclinación de los planos de estratificación de 240° SW.

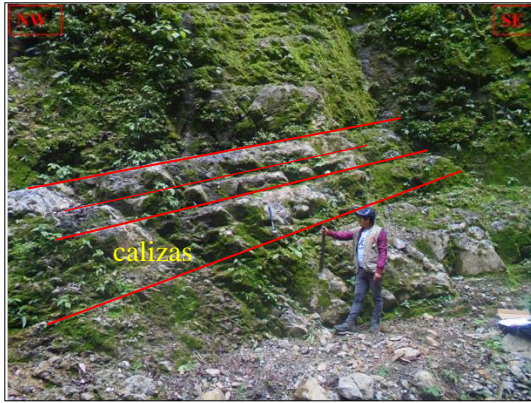


Foto 4. Estratificación delgada de calizas de color beige - marrón claro de la Fm. Aramachay, Caserío Naciente del Río Negro.



Foto 5. Caliza de color marrón, de la Fm. Aramachay.

❖ **Formación Condorsinga (Ji – c)**

En los alrededores del complejo turístico “Tioyacu”, se observan afloramientos de la Fm. Condorsinga, presentando estratos de calizas micríticas de color gris clara a oscuras con venillas de calcita; además, se observa la presencia de estilolitos, fuerte fracturamiento y meteorización.



Foto 6. Estratos de calizas micríticas de la Fm. Condorsinga.



Foto 7. Caliza de color gris claro con venillas de calcita de la Fm. Condorsinga.

3.3.2. Depósitos y Cuaternarios (Pleistoceno)

Están conformados por conglomerados con clastos finos a muy gruesos, con intercalaciones lenticulares de arenas y gravas. Conforman planicies entre los ríos Tioyacu y El Negro y en las márgenes derecha e izquierda del río Mayo.

❖ ***Depósitos Aluviales (Qh-al).***

Materiales resultantes de los procesos de erosión vinculados a los cauces de quebradas. Los mismos que son transportados aguas abajo y depositados en zonas de baja pendiente (terrazas). Están constituido por clastos angulosos a subangulosos, envueltos en una matriz arenosa o areno limosa, en algunos lugares se localizan lentes de arena.

Infrayacen a las rocas de la Formación Condorsinga y son los depósitos de cobertura sobre los cuales se asienta el 100% del área urbana del distrito de Elias Soplin Vargas y algunos de sus caseríos; además tiene un espesor estimado de 10 m en las partes bajas y 20 m en las partes altas.



Foto 8. Deposito aluvial al margen izquierdo del Río Tioyacu aguas abajo.

3.4. GEOMORFOLOGÍA

Hacia el este de Segunda Jerusalén se encuentra la *Depresión del Alto Mayo*, que va desde el NW-SE, con ancho variable de 5 a 20 Km, donde se depositaron materiales aluviales y fluviales del Holoceno, constituyendo terrazas casi horizontales, y conformando terrenos para el desarrollo de las actividades agrícolas y asentamientos humanos.

Cordillera de Ventanilla, es una franja cordillerana al oeste de Nueva Cajamarca y Segunda Jerusalén, con morfología de laderas agrestes y cumbres empinadas, erosionadas por las quebradas y ríos que descienden desde sus alturas, generando fuertes pendientes sobre las rocas del Grupo Pucará de edad Triásico Superior-Jurásico Inferior, originando geoformas con altitudes hasta más de 3 000 msnm.

3.4.1. Unidades Morfogenéticas

En la investigación se va utilizar la clasificación de Rodríguez (2016), para clasificar las unidades morfogenéticas, además de generar un plano de unidades morfogenéticas para la Subcuenca Tioyacu - El Negro (Ver anexo 9, plano 07).

Tabla 2. Clasificación de las Unidades Morfogenéticas.

TIPO DE RELIEVE	GEOMETRÍA
UNIDAD MORFOGENÉTICA (UM)	PENDIENTE
Planicies	0° - 8°
Lomadas	8° - 20°
Laderas	20° - 50°
Escarpas	>50°

Fuente: Tomado de Rodríguez (2016).

❖ *Planicies*

Conforman el 31.3 % del área total de la Subcuenca, encontrándose en la parte baja con altitudes entre los 820 hasta 900 msnm y con pendiente dominante que fluctúa entre el 0° a 8°. Éstas UM corresponden a zonas cuya superficie presentan ligeras ondulaciones, la mismas que se localizan ocupando gran parte de la Subcuenca.

Litológicamente está constituida por depósitos aluviales correspondientes al Cuaternario y están ubicadas en los márgenes de los ríos Tioyacu y El Negro. La cobertura vegetal presente es principalmente cultivos frutales; así como también se desarrollan actividades agrícolas y ganaderas, la topografía poco accidentada restringe la ocurrencia de acciones erosivas actuales por lo que no ocurren mayores cambios.



Foto 9. Planicie ubicada en la margen izquierda de la carretera hacia el Caserío La Victoria.

❖ *Lomadas*

Presentan elevaciones del terreno de similar altura que las colinas, pero con cimas más amplias, redondeadas y alargadas, cubiertas por una exuberante vegetación característica de la zona y cuyas pendientes están entre 8° y 20° ; conformando el 28.4% del área total de la Subcuenca.

Litológicamente se encuentran en depósitos aluviales del cuaternario y en algunos lugares en rocas calcáreas de la Fm. Condorsinga, presentándose principalmente en el margen derecho de la carretera hacia el Caserío la Victoria, Naciente del Río Negro, Santa Fé y El Mirador. Sirven temporalmente como terrenos para la agricultura y ganadería en algunos lugares.

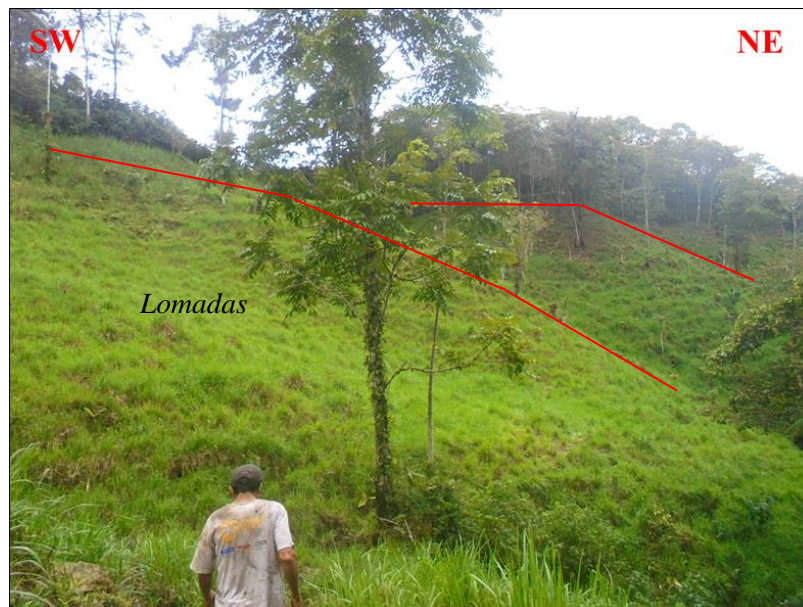


Foto 10. Lomadas ubicadas al NE del Caserío El Mirador.

❖ *Laderas*

Ubicadas a hacia el NW y SW de Segunda Jerusalén conformando el 38.2% del área total de la Subcuenca, las mismas que presentan un ángulo de inclinación en promedio con valores que están entre los 20° a 50° de pendiente. Estas geoformas corresponden a zonas que se distribuyen de manera dispersa en casi toda la zona cartografiada.

Litológicamente están constituidas por rocas sedimentarias que forman parte de las estribaciones andinas, correspondiente principalmente a las formaciones del Grupo Pucará.

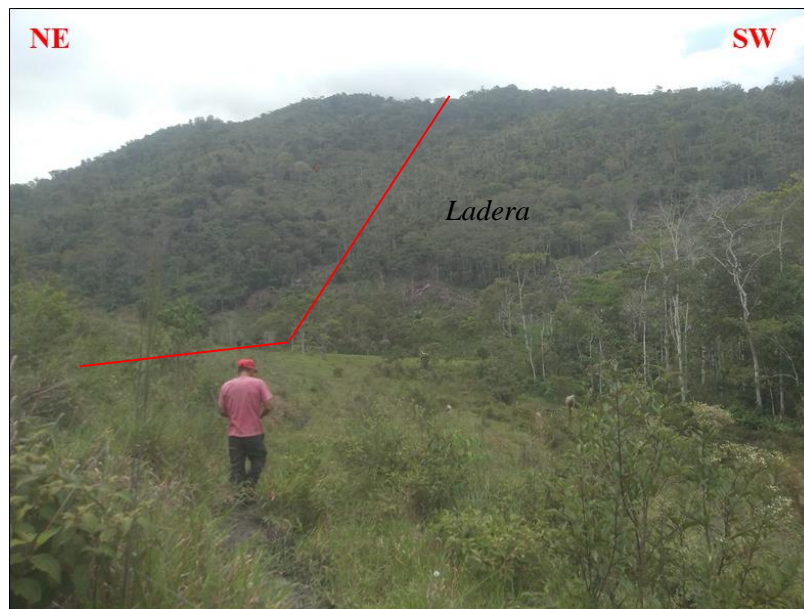


Foto 11. Ladera ubicada al NW del Caserío La Victoria.

❖ *Escarpas*

Son sectores de topografía muy accidentada conformada estribaciones montañosas moderadamente ramificadas estructuralmente plegadas donde aún se conservan rasgos de las estructuras originales a pesar de haber sido afectadas por procesos geológicos, las mismas que conforman el 2.1% del área total de la Subcuenca.

Litológicamente están constituidas por rocas calcáreas del Grupo Pucará, cubierta por la exuberante vegetación característica de la zona, con pendiente dominante que corresponde al rango mayor a 50°.

En estas zonas difícilmente se puede practicar actividades agropecuarias debido a la pendiente muy pronunciada donde se podría suscitar movimientos de masa, como derrumbes, caída de rocas y deslizamientos. En el área de estudio se puede identificar en varios caseríos cercanos hacia el SW de Segunda Jerusalén, siendo esta unidad morfogénica la más predominante y visible en la Subcuenca Tioyacu – El Negro.

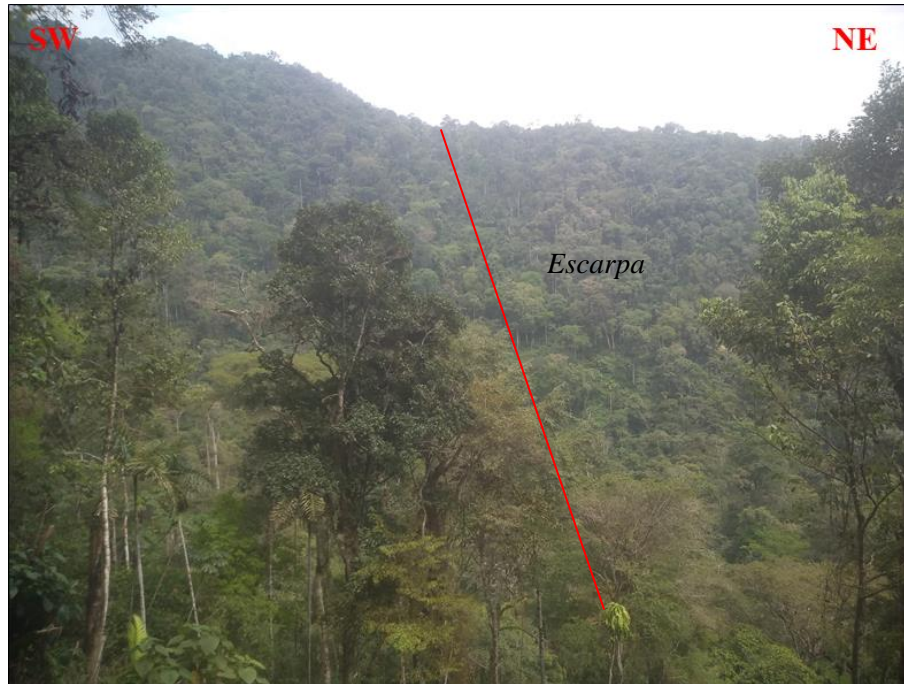


Foto 12. Escarpas ubicadas al NW del Complejo Turístico del Tioyacu.

3.4.2. Secciones Morfométricas

Se generó tres secciones morfométricas AA', BB' y CC' a partir de la imagen satelital regional (Plano 01) y se encuentran como líneas SW-NE. Cada sección muestra el contorno morfológico desde la zona de recarga y cabeceras de cuencas regionales y locales hasta el centro Poblado de Elías Soplín Vargas, interceptando los manantiales de la Subcuenca Tioyacu – El Negro.

Es notoria la diferencia de alturas y posibles vías de flujo de los acuíferos en las Formación Chambará, Aramachay y Condorsinga. La altura máxima del divortium acuarium está a 3 993 msnm en la sección BB', y la cota mínima a 822 msnm en la Plaza de Armas del Distrito de Elías Soplín Vargas.

En las secciones morfométricas AA', BB' y CC' las alturas de cada elemento morfométrico están indicados y señalados con flechas celestes (cabeceras de cuencas regionales) y rojas (divortium acuarium). Las distancias medidas sobre el plano geológico regional se muestran a continuación:

- ❖ ***Ciudad Chachapoyas - Segunda Jerusalén:*** Aprox. 73,3 Km.
- ❖ ***Ancho de la Cabecera de Cuenca Regional:*** Aprox. 10 Km.
- ❖ ***Divortium Acuarium - Segunda Jerusalén:*** Aprox. 30 Km.

En la Sección AA' (Figura 16), resalta, la cabecera de cuenca regional principal con el divortium acuarium regional con la cota más alta, donde se encuentran las lagunas que distribuyen sus aguas subterráneas hacia la zona oeste (Chachapoyas) y la zona Este (San Martín). Las demás cabeceras de cuenca regional se encuentran con flechas celestes. La cabecera de cuenca local y el divortium acuarium están muy cerca de Elías Soplín Vargas aproximadamente 3 Km, cuyas laderas empinadas propician las aguas superficiales y subterráneas que discurren hacia el río Tioyacu y El Negro.

En la Sección BB' (Figura 17), encontramos la cabecera de cuenca regional más importante relacionada con el divortium acuarium más alto, seguido de dos cabeceras de cuencas regionales y una cabecera de cuenca local. Las aguas de las lagunas distribuyen sus aguas subterráneas hacia las zonas oeste y este y de la misma manera las cabeceras de cuencas regionales y local.

La Sección CC' (Figura 18), es muy parecida a la Sección BB', con una cabecera de cuenca regional principal, dos cabeceras de cuenca regional, y una cabecera de cuenca local.

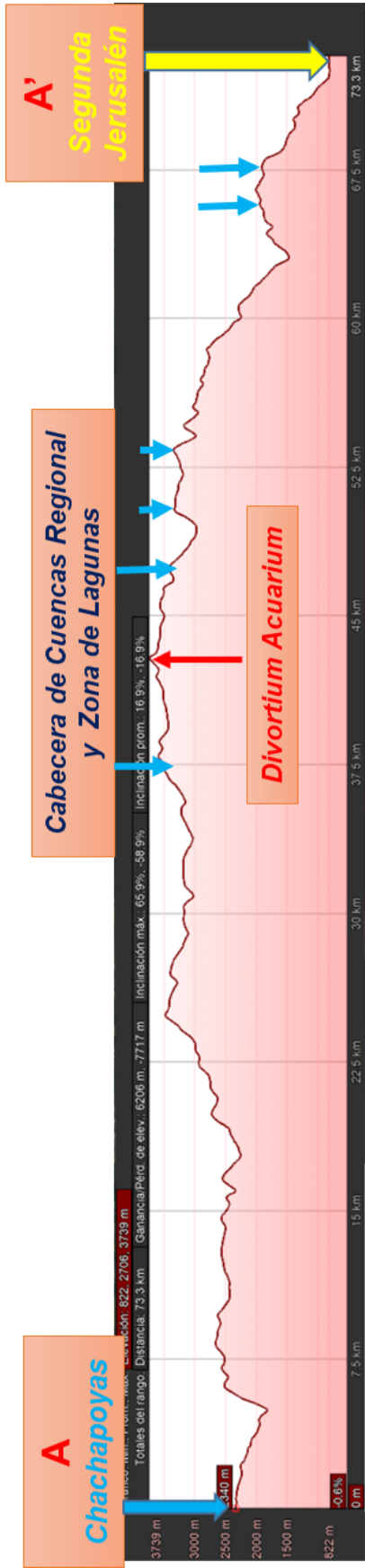


Figura 16. Sección AA', comprendida entre Chachapoyas y Segunda Jerusalén (Elías Soplín Vargas).

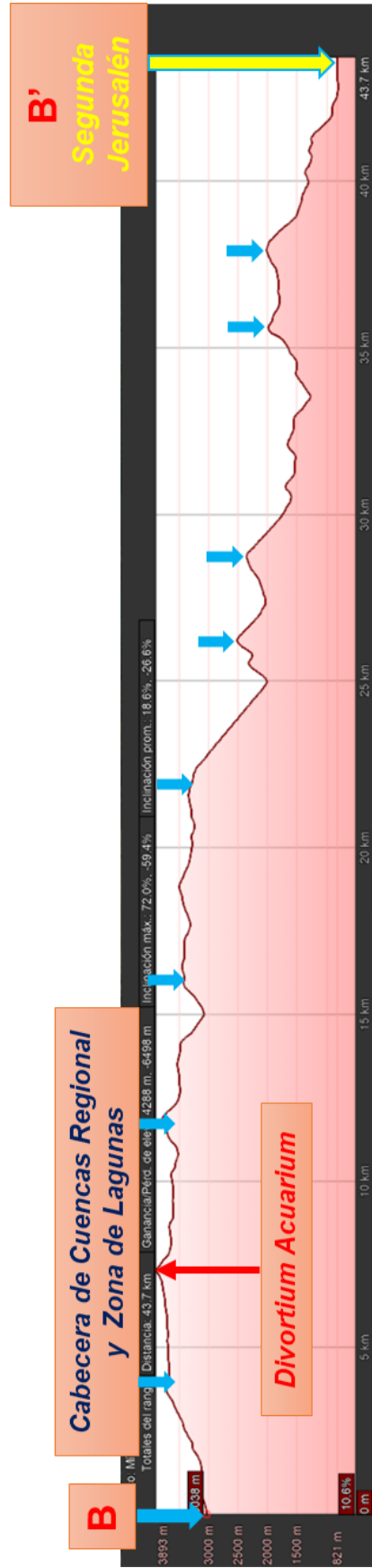


Figura 17. Sección BB' desde Cabeceras de Cuencas Regional hasta Segunda Jerusalén (Elías Soplín Vargas).

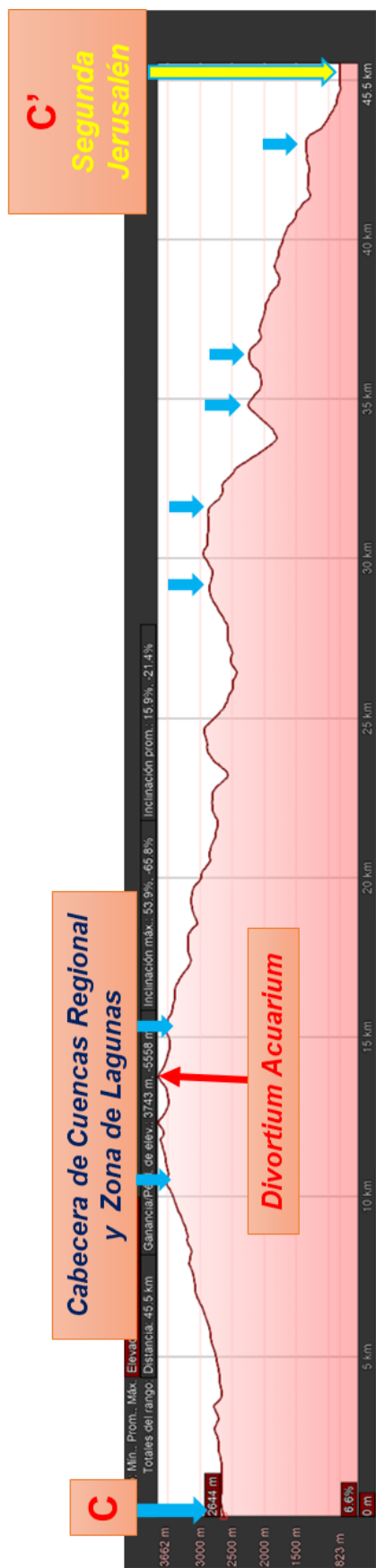


Figura 18. Sección CC', comprendida entre Cabeceras de Cuencas Regional hacia Segunda Jerusalén (Elías Soplín Vargas).

3.5. GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

Regionalmente se puede apreciar que el tectonismo, ha desarrollado un aspecto favorable dentro la formación de los manantiales. Tectónicamente se desarrolló estructuras como anticlinales y sinclinales, con flancos que presentan inclinación favorable para el escurrimiento de los flujos de agua subterránea.

3.5.1. Pliegues

Los plegamientos no son visibles, pero si las inclinaciones de los estratos, familias de discontinuidades y presencia de estilolitos; las estructuras están fuertemente meteorizadas y fracturadas.

El anticlinal Cerro Blanco ubicado hacia el Oeste de la Subcuenca es la estructura plegada regional más cercana a los poblados de Segunda Jerusalén y Nueva Cajamarca, considerado como un anticlinal asimétrico con buzamientos entre 30° y 45° hacia el NE, cruza todo el cuadrángulo, y se encuentra en rocas del Grupo Pucará y Grupo Mitu (Ver anexo 4, Plano 02).

3.5.2. Fallas

La Falla Santa Cruz, es una falla inversa de gran recorrido en dirección NW-SE, afectando a las Formaciones Aramachay y Condorsinga. Está muy cerca de los poblados de Segunda Jerusalén y Nueva Cajamarca, aproximadamente a 2.5 Km (Ver anexo 4, plano 02).

En la Subcuenca existen muchas fallas inversas y de dirección, resultado de los movimientos tectónicos de compresión y distensión durante periodos muy largos, los más recientes desde el Cretácico hasta el Neógeno. Debido a la exuberante vegetación es imposible identificar las estructuras, es por ello que en la imagen satelital se realizó la interpretación de fallas locales en la Subcuenca del Tioyacu – El Negro y alrededores, encontrándose fallas de dirección con tendencia SW-NE y transversales a estas de dirección NW-SE. El fallamiento local es posterior al fallamiento regional y también posterior a las fallas inversas y de dirección regionales, y es posible que estén controlando en gran parte los flujos subterráneos (Ver anexo 7, plano 05).

3.5.3. Diaclasas

Presentan espaciamentos de 50 cm a 1 m, aberturas en su mayoría > 5 mm, paredes ligeras a moderadamente rugosas, rellenos de carbonatos y óxidos con espesores generalmente menores de 5 mm, en ciertos casos algo mayores llegando hasta 2 cm, moderadamente intemperizadas, y condiciones de agua subterránea de secas, húmedas y mojadas.



Foto 13. Presencia de diaclasas en rocas calcáreas de la Fm. Condorsinga.

3.5.4. Perfiles Geológico – Estructurales

En las secciones morfométricas BB' y CC' se realizó la interpretación geoestructural para confirmar las posibilidades de flujos de agua subterránea, obteniendo resultados positivos, interpretándose que en el lado SW son de mayor importancia la Fm. Sarayaquillo y el Grupo Oriente, donde se emplazan el conjunto de lagunas y la cabecera de cuenca principal regional y hacia el lado NE las Formaciones del Grupo Pucará son las más importantes para las líneas de flujo que tienen dirección SW, NE, Este y SE hacia la Subcuenca Tioyacu – El Negro.

En las figuras 19 y 20 encontramos dicha interpretación estratigráfica-estructural, con la presencia del Grupo Pucará y sus Formaciones Chambará, Aramachay y Condorsinga, de gran importancia en el lado NE, conformando los acuíferos cársticos del Tioyacu y El Negro.

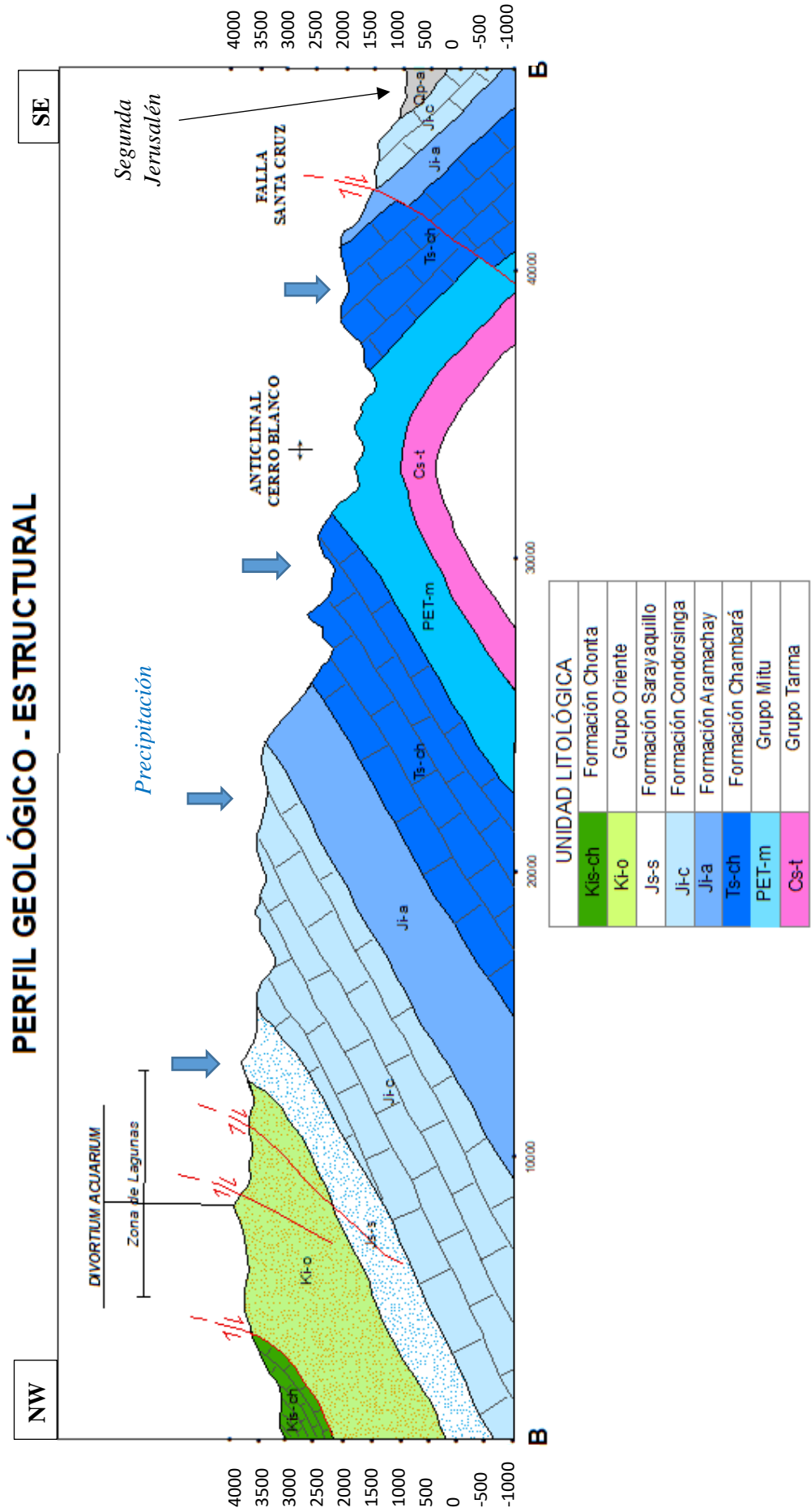


Figura 19. Sección BB', con el Perfil Geológico-Estructural desde la Cabeceras de Cuencas Regional y Zona de Lagunas hasta Segunda Jerusalén.

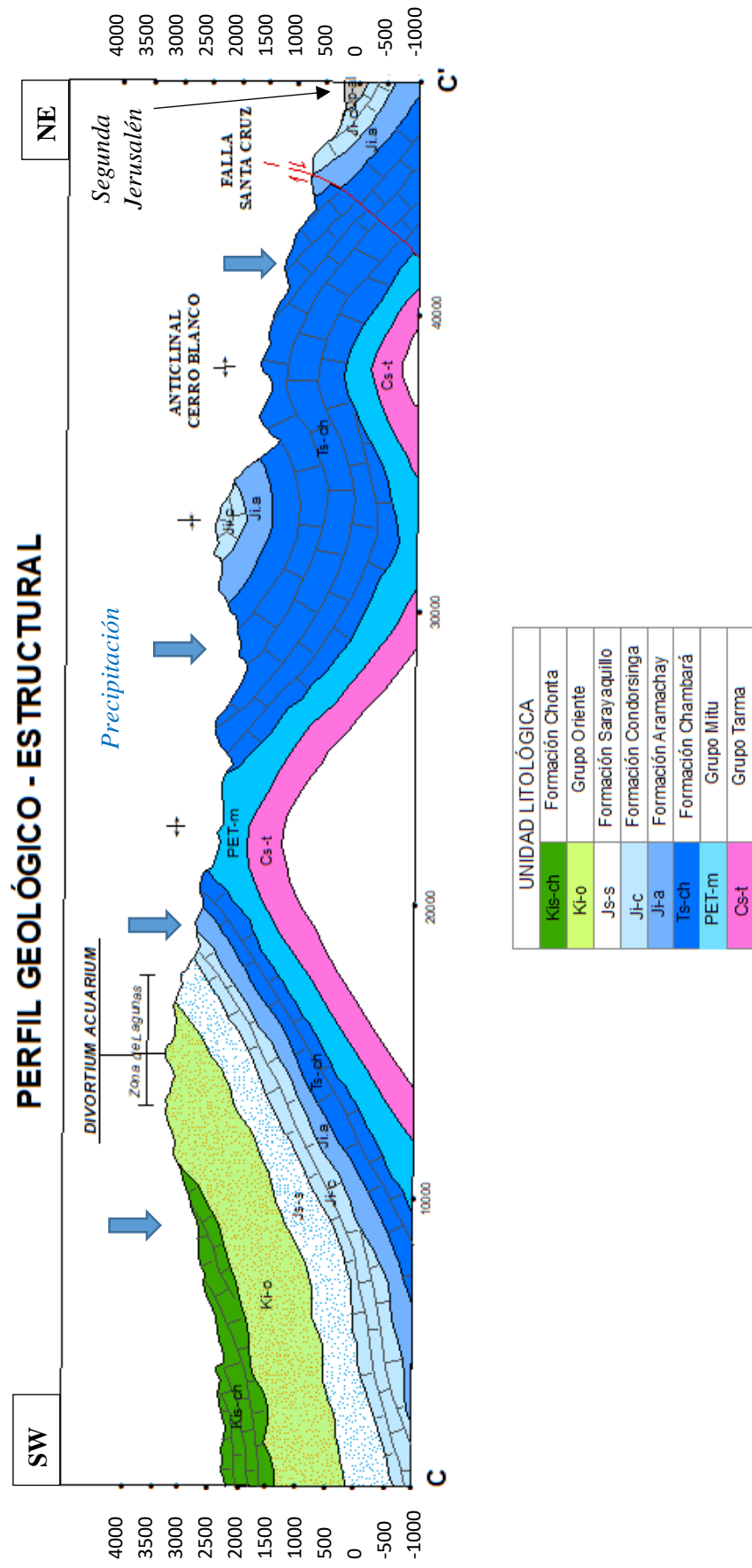


Figura 20. Sección CC', con el Perfil Geológico-Estructural desde la Cabeceras de Cuencas Regional y Zona de Lagunas hasta Segunda Jerusalén.

3.6. HIDROGEOLOGÍA

3.6.1. Hidrogeología Regional

A lo largo de todas las estribaciones andinas, las precipitaciones regionales caen sobre las unidades estratigráficas del Grupo Oriente, Formación Sarayaquillo y Grupo Pucará, generando infiltraciones y dando lugar a acuíferos regionales, los cuales originan líneas de flujo que discurren hacia las partes bajas con dirección al Suroeste y oeste hacia la zona de Chachapoyas; y hacia el este a la cuenca del mayo (Ver anexo 4, plano 02).

La dirección y escurrimiento de los flujos de agua siguen los planos de estratificación y las discontinuidades originadas por el tectonismo regional, estructuras representadas por grandes anticlinales, sinclinales y fallas de gran recorrido. La presencia de lagunas en la cabecera de cuencas regional sobre la Formación Sarayaquillo y Grupo Oriente, es debido a las condiciones especiales de estas formaciones para retener cuerpos de agua y distribuirlos adecuadamente. El proceso de meteorización genera la topografía carstica superficial y subterránea, y la infiltración origina acuíferos regionales y locales, cuyas líneas de flujo van hacia el valle del mayo, produciendo cavernas con grandes flujos de agua, desembocando sus aguas en los manantiales que se encuentran en las vertientes hacia Nueva Cajamarca, Rioja y especialmente hacia la Subcuenca Tioyacu – El Negro y alrededores (Ver anexo 4, plano 02).

También se pudo definir la zona de recarga constituida por, el divortium acuarium, la cabecera de cuencas y las lagunas, con alta probabilidad de interconexión con los manantiales que se encuentran frente a las poblaciones de Segunda Jerusalén, Nueva Cajamarca y Rioja (Ver anexo 3, plano 01).

3.6.2. Cartografiado Hidrogeológico Local

Las formaciones calcáreas del Grupo Pucará ubicadas al SW de Segunda Jerusalén, presentan estratos tectonizados, fuertemente meteorizados y fracturados con presencia de cavernas y oquedades, condiciones muy favorables para la infiltración y permitir el flujo de grandes corrientes de agua subterránea. Las líneas de flujo local son de SW a NE, algo similar a las secciones morfométricas regionales (BB´ y CC´). Es por eso que se puede demostrar que los manantiales de la zona de estudio, se originan por la infiltración en las cabeceras y laderas de las microcuencas locales y cabecera de cuenca regional el mayo.

Además, se puede decir que la geología cumplió un rol muy importante en el origen de los manantiales, con la presencia de las unidades estratigráficas del Grupo Pucará (Fm. Chambará, Aramachay y Condorsinga) mostrando litología calcárea; siendo esto un factor importante dentro de transcurso de las aguas subterráneas, permitiendo la solubilidad de las rocas calizas formando oquedades y cavernas enormes ayudando así al escurrimiento de las aguas en gran caudal y aparecer en las zonas bajas dando a origen a diversos manantiales (Ver anexo 5, plano 03), los cuales se describen a continuación:

❖ *Manantial San Pedro*

Fuente de agua, ubicado al NW de Segunda Jerusalén, en estratos de la Fm. Condorsinga con una línea de flujo que va de SW a NE. El agua de este manantial es usada como agua potable para consumo humano y uso agrícola a lo largo de su recorrido.

FICHA DEL CARTOGRAFIADO HIDROGEOLÓGICO				
RESPONSABLE	Alexander Arribasplata Zamora	COORDENADAS		
CÓDIGO	Manantial San Pedro	N	E	Cota (m.s.n.m)
DATUM	WGS-84	9338521	245201	832
UBICACIÓN		Fotografía del manantial		
DEPARTAMENTO	San Martín			
PROVINCIA	Rioja			
DISTRITO	Elías Soplín Vargas			
CASERÍO/SECTOR	San Pedro			
CARACTERÍSTICAS				
Tipo de fuente	Filtración natural			
Régimen de flujo	Permanente			
Uso	Consumo humano y agricultura			
Surgimiento	Afloramiento en rocas calcáreas			
Material geológico	Rocas sedimentarias (Fm. Condorsinga)			
Observaciones	El agua de dicho manantial es captada para consumo humano del sector San Pedro			

Fuente: Modificado de Aguilar (2018).

❖ *Manantial de Perlamayo*

Ubicado al norte del complejo Tioyacu con una dirección de flujo que va de este a oeste, el agua que brinda sirve para consumo humano y la agricultura.

FICHA DEL CARTOGRAFIADO HIDROGEOLÓGICO				
RESPONSABLE	Alexander Arribasplata Zamora	COORDENADAS		
CÓDIGO	Manantial Perlamayo	N	E	Cota (m.s.n.m)
DATUM	WGS-84	9337586	246622	827
UBICACIÓN		Fotografía del manantial		
DEPARTAMENTO	San Martín			
PROVINCIA	Rioja			
DISTRITO	Elías Soplín Vargas			
CASERÍO/SECTOR	Segunda Jerusalén			
CARACTERÍSTICAS				
Tipo de fuente	Filtración natural			
Régimen de flujo	Permanente			
Uso	Consumo humano y agricultura			
Surgimiento	Afloramiento en depósito cuaternario			
Material geológico	Depósito Cuaternario			
Observaciones	El agua de dicho manantial llega al río Tioyacu			

Fuente: Modificado de Aguilar (2018).

❖ ***Manantial de Tioyacu***

Las aguas del manantial Tioyacu presenta una dirección de flujo que va desde SW a NE, siendo la más importante para el Distrito de Elías Soplín Vargas por su excelente calidad, utilizado actualmente como agua potable para su población y en el futuro servirá para los habitantes de la expansión urbana; además contribuye al desarrollo económico para el distrito, gracias al Complejo Turístico “TIOYACU”.

FICHA DEL CARTOGRAFIADO HIDROGEOLÓGICO				
RESPONSABLE	Alexander Arribasplata Zamora	COORDENADAS		
CÓDIGO	Manantial Tioyacu	N	E	Cota (m.s.n.m)
DATUM	WGS-84	9337123	246820	829
UBICACIÓN		Fotografía del manantial		
DEPARTAMENTO	San Martín			
PROVINCIA	Rioja			
DISTRITO	Elías Soplín Vargas			
CASERÍO/SECTOR	Segunda Jerusalén			
CARACTERÍSTICAS				
Tipo de fuente	Filtración natural			
Régimen de flujo	Permanente			
Uso	Consumo humano, turismo, agricultura			
Surgimiento	Afloramiento en rocas calcáreas			
Material geológico	Rocas sedimentarias (Fm. Condorsinga)			
Observaciones	Fuente de agua potable para la población de Elías Soplín Vargas y como fuente importante para el desarrollo del turismo			

Fuente: Modificado de Aguilar (2018).

❖ ***Manantial Removido***

Localizado al SW del de Segunda Jerusalén a 200 m aproximadamente, según versiones de los pobladores ocurrió un deslizamiento en su lugar de origen, lo que permitió ser captado y mejorado por los habitantes.

FICHA DEL CARTOGRAFIADO HIDROGEOLÓGICO				
RESPONSABLE	Alexander Arribasplata Zamora	COORDENADAS		
CÓDIGO	Manantial Removido	N	E	Cota (m.s.n.m)
DATUM	WGS-84	9336657	246827	910
UBICACIÓN		Fotografía del manantial		
DEPARTAMENTO	San Martín			
PROVINCIA	Rioja			
DISTRITO	Elías Soplín Vargas			
CASERÍO/SECTOR	Segunda Jerusalén			
CARACTERÍSTICAS				
Tipo de fuente	Filtración natural			
Régimen de flujo	Permanente			
Uso	No tiene un uso específico			
Surgimiento	Afloramiento en depósito cuaternario			
Material geológico	Depósito Cuaternario			
Observaciones	Es un manantial que fue removido por un deslizamiento antiguo, y con el pasar del tiempo los pobladores lo han arreglado			

Fuente: Modificado de Aguilar (2018).

❖ *Manantial de Sangapilla 1*

Fuente de agua ubicada hacia el sur del Complejo Tioyacu, tiene uso agropecuario a lo largo de su recorrido y con dirección de flujo que va de NW a SE.

FICHA DEL CARTOGRAFIADO HIDROGEOLÓGICO				
RESPONSABLE	Alexander Arribasplata Zamora	COORDENADAS		
CÓDIGO	Manantial Sangapilla 1	N	E	Cota (m.s.n.m)
DATUM	WGS-84	9334794	247518	819
UBICACIÓN		Fotografía del manantial		
DEPARTAMENTO	San Martín			
PROVINCIA	Rioja			
DISTRITO	Elías Soplín Vargas			
CASERÍO/SECTOR	Sangapilla			
CARACTERÍSTICAS				
Tipo de fuente	Filtración natural			
Régimen de flujo	Permanente			
Uso	Agricultura			
Surgimiento	Afloramiento en rocas calcáreas			
Material geológico	Rocas sedimentarias (Fm. Condorsinga)			
Observaciones	Fuente natural que se usa para la agricultura			

Fuente: Modificado de Aguilar (2018).

❖ *Manantial de Sangapilla 2*

Ubicado al sur del Complejo Tioyacu al margen izquierdo de la carretera que va hacia el Caserío de Santa Fé, usado para la agricultura y ganadería a lo largo de su recorrido y con dirección de flujo que va de NW a SE.

FICHA DEL CARTOGRAFIADO HIDROGEOLÓGICO				
RESPONSABLE	Alexander Arribasplata Zamora	COORDENADAS		
CÓDIGO	Manantial Sangapilla 2	N	E	Cota (m.s.n.m)
DATUM	WGS-84	9334876	247826	822
UBICACIÓN		Fotografía del manantial		
DEPARTAMENTO	San Martín			
PROVINCIA	Rioja			
DISTRITO	Elías Soplín Vargas			
CASERÍO/SECTOR	Sangapilla			
CARACTERÍSTICAS				
Tipo de fuente	Filtración natural			
Régimen de flujo	Permanente			
Uso	Agricultura			
Surgimiento	Afloramiento en depósito cuaternario			
Material geológico	Depósito Cuaternario			
Observaciones	Fuente de agua para uso agropecuario			

Fuente: Modificado de Aguilar (2018).

❖ *Manantial del Sapote*

El presente manantial está ubicado al margen derecho de la carretera a Santa Fé, en rocas de la Formación Condorsinga. Presenta una dirección de flujo que va de oeste a este y con agua para uso agrícola a largo de su recorrido.

FICHA DEL CARTOGRAFIADO HIDROGEOLÓGICO				
RESPONSABLE	Alexander Arribasplata Zamora	COORDENADAS		
CÓDIGO	Manantial del Sapote	N	E	Cota (m.s.n.m)
DATUM	WGS-84	9333724	247966	845
UBICACIÓN		Fotografía del manantial		
DEPARTAMENTO	San Martín			
PROVINCIA	Rioja			
DISTRITO	Elías Soplín Vargas			
CASERÍO/SECTOR	Sapote			
CARACTERÍSTICAS				
Tipo de fuente	Filtración natural			
Régimen de flujo	Permanente			
Uso	Agricultura			
Surgimiento	Afloramiento en rocas calcáreas			
Material geológico	Rocas sedimentarias (Fm. Condorsinga)			
Observaciones	Fuente natural que se usa para la agricultura			

Fuente: Modificado de Aguilar (2018).

❖ *Manantial San Francisco*


Localizado al oeste del Caserío Santa Fé, sus aguas sirven como agua potable para dicho poblado y también para uso agrícola.

FICHA DEL CARTOGRAFIADO HIDROGEOLÓGICO				
RESPONSABLE	Alexander Arribasplata Zamora	COORDENADAS		
CÓDIGO	Manantial San Francisco	N	E	Cota (m.s.n.m)
DATUM	WGS-84	9331451	244851	1205
UBICACIÓN		Fotografía del manantial		
DEPARTAMENTO	San Martín			
PROVINCIA	Rioja			
DISTRITO	Elías Soplín Vargas			
CASERÍO/SECTOR	Santa Fé			
CARACTERÍSTICAS				
Tipo de fuente	Filtración natural			
Régimen de flujo	Permanente			
Uso	Consumo humano y agricultura			
Surgimiento	Afloramiento en rocas calcáreas			
Material geológico	Rocas sedimentarias (Fm. Chambará)			
Observaciones	Fuente natural que es captada como agua potable para la población de Santa Fé y para la agricultura			

Fuente: Modificado de Aguilar (2018).

❖ ***Manantiales de la Victoria***

En el Caserío de la Victoria, se pudo identificar tres fuentes de agua ubicados hacia el SW de dicho caserío, presentando pequeñas cantidades de agua, pero con gran importancia para la piscicultura y uso doméstico por parte de la población.

FICHA DEL CARTOGRAFIADO HIDROGEOLÓGICO				
RESPONSABLE	Alexander Arribasplata Zamora	COORDENADAS		
CÓDIGO	Manantiales de la Victoria	N	E	Cota (m.s.n.m)
N° MANANTIALES	3	9332326	248327	839
DATUM	WGS-84	9332124	248073	948
		9332427	248881	823
UBICACIÓN		Fotografía del manantial		
DEPARTAMENTO	San Martín			
PROVINCIA	Rioja			
DISTRITO	Elías Soplín Vargas			
CASERÍO/SECTOR	La Victoria			
CARACTERÍSTICAS				
Tipo de fuente	Filtración natural			
Régimen de flujo	Permanente			
Uso	Agricultura			
Surgimiento	Afloramiento en rocas calcáreas y depósitos cuaternarios			
Material geológico	Rocas sedimentarias (Fm. Condorsinga) y Cuaternario Aluvial			
Observaciones	Manantiales con pequeñas cantidades de flujo de agua, pero usado para uso doméstico			

Fuente: Modificado de Aguilar (2018).

❖ ***Manantial de Belén***


Ubicado al SW del poblado de Belén, actualmente se usa para la actividad de la ganadería, por los pobladores aledaños a la fuente de agua.

FICHA DEL CARTOGRAFIADO HIDROGEOLÓGICO				
RESPONSABLE	Alexander Arribasplata Zamora	COORDENADAS		
CÓDIGO	Manantial de Belén	N	E	Cota (m.s.n.m)
DATUM	WGS-84	9330830	248520	838
UBICACIÓN		Fotografía del manantial		
DEPARTAMENTO	San Martín			
PROVINCIA	Rioja			
DISTRITO	Elías Soplín Vargas			
CASERÍO/SECTOR	Belén			
CARACTERÍSTICAS				
Tipo de fuente	Filtración natural			
Régimen de flujo	Permanente			
Uso	Agricultura			
Surgimiento	Afloramiento en rocas calcáreas			
Material geológico	Rocas sedimentarias (Fm. Condorsinga)			
Observaciones	La vegetación del entorno al manantial está siendo deforestado			

Fuente: Modificado de Aguilar (2018).

❖ *Manantiales de Bagazán*

Hacia el oeste del pueblo de Puerto Bagazán se encontró cuatro fuentes de agua, con pequeñas a medianas cantidades de agua, que va ser usado en la agricultura y piscicultura.

FICHA DEL CARTOGRAFIADO HIDROGEOLÓGICO				
RESPONSABLE	Alexander Arribasplata Zamora	COORDENADAS		
CÓDIGO	Manantiales de Bagazán	N	E	Cota (m.s.n.m)
Nº MANANTIALES	4	9328018	249660	850
DATUM	WGS-84	9328201	249894	840
		9328374	249129	821
		9328422	249072	832
UBICACIÓN		Fotografía del manantial		
DEPARTAMENTO	San Martín			
PROVINCIA	Rioja			
DISTRITO	Elías Soplín Vargas			
CASERÍO/SECTOR	Bagazán			
CARACTERÍSTICAS				
Tipo de fuente	Filtración natural			
Régimen de flujo	Permanente			
Uso	Agricultura, Piscicultura			
Surgimiento	Afloramiento en rocas calcáreas y depósitos cuaternarios			
Material geológico	Rocas sedimentarias (Fm. Chambará) y Cuaternario Aluvial			
Observaciones	Manantiales que a lo largo de su recorrido forman el río Chahuaryacu, el cual va servir para la piscicultura, en los pueblos aledaños			

Fuente: Modificado de Aguilar (2018).

❖ ***Manantial del Naciente del Río Negro***

Manantial principal del río negro, ubicado al SW del pueblo de Segunda Jerusalén; es una fuente de agua que contribuye con agua potable para la población de la provincia de Rioja, además de ello es de vital importancia para la agricultura y ganadería.

FICHA DEL CARTOGRAFIADO HIDROGEOLÓGICO				
RESPONSABLE	Alexander Arribasplata Zamora	COORDENADAS		
CÓDIGO	Manantial del Naciente del Río Negro	N	E	Cota (m.s.n.m)
DATUM	WGS-84	9326588	249560	857
UBICACIÓN		Fotografía del manantial		
DEPARTAMENTO	San Martín			
PROVINCIA	Rioja			
DISTRITO	Elías Soplín Vargas			
CASERÍO/SECTOR	Naciente del Río Negro			
CARACTERÍSTICAS				
Tipo de fuente	Filtración natural			
Régimen de flujo	Permanente			
Uso	Consumo humano, agricultura			
Surgimiento	Afloramiento en rocas calcáreas			
Material geológico	Rocas sedimentarias (Fm. Chambará)			
Observaciones	Es el manantial con mayor cantidad de agua en el distrito de Elías Soplín Vargas			

Fuente: Modificado de Aguilar (2018).

❖ ***Manantial el Higuero***

Ubicado en el Caserío Naciente del Río Negro, con dirección de flujo de oeste hacia el este y con agua para uso doméstico, agricultura y ganadería; además para uso de criadero de tilapias (piscicultura).

FICHA DEL CARTOGRAFIADO HIDROGEOLÓGICO				
RESPONSABLE	Alexander Arribasplata Zamora	COORDENADAS		
CÓDIGO	Manantial el Higuérón	N	E	Cota (m.s.n.m)
DATUM	WGS-84	9326233	248369	890
UBICACIÓN		Fotografía del manantial		
DEPARTAMENTO	San Martín			
PROVINCIA	Rioja			
DISTRITO	Elías Soplín Vargas			
CASERÍO/SECTOR	Naciente del Río Negro			
CARACTERÍSTICAS				
Tipo de fuente	Filtración natural			
Régimen de flujo	Permanente			
Uso	Piscicultura, ganadería			
Surgimiento	Afloramiento en rocas calcáreas			
Material geológico	Rocas sedimentarias (Fm. Chambará)			
Observaciones	Sus aguas de este manantial, fluyen al río Negro			

Fuente: Modificado de Aguilar (2018).

❖ *Manantial del Alto Mirador*

Fuente de agua, ubicado al margen izquierdo de la carretera que va al Caserío El Mirador, aflora en rocas de la Formación Chambará y presenta una dirección de flujo que va de SW a NE, una parte del agua es usada para ganadería y agricultura y lo demás a lo largo de su recorrido va infiltrando para salir en las partes más bajas de la Subcuenca.

FICHA DEL CARTOGRAFIADO HIDROGEOLÓGICO				
RESPONSABLE	Alexander Arribasplata Zamora	COORDENADAS		
CÓDIGO	Manantial Alto Mirador	N	E	Cota (m.s.n.m)
DATUM	WGS-84	9335065	245036	1183
UBICACIÓN		Fotografía del manantial		
DEPARTAMENTO	San Martín			
PROVINCIA	Rioja			
DISTRITO	Elías Soplín Vargas			
CASERÍO/SECTOR	El Mirador			
CARACTERÍSTICAS				
Tipo de fuente	Filtración natural			
Régimen de flujo	Permanente			
Uso	Ganadería, agricultura			
Surgimiento	Afloramiento en rocas calcáreas			
Material geológico	Rocas sedimentarias (Fm. Chambará)			
Observaciones	Sus aguas de éste manantial a lo largo de su recorrido infiltran y aparecen en la parte baja de la Subcuenca			

Fuente: Modificado de Aguilar (2018).

❖ *Manantial de Vista Hermosa*

Ubicado al NW del Caserío Vista Hermosa, con dirección de flujo de va del noroeste hacia el sureste y con agua que sirve para consumo humano de la población de los habitantes de la localidad.

FICHA DEL CARTOGRAFIADO HIDROGEOLÓGICO				
RESPONSABLE	Alexander Arribasplata Zamora	COORDENADAS		
CÓDIGO	Manantial Vista Hermosa	N	E	Cota (m.s.n.m)
DATUM	WGS-84	9336435	243437	1525
UBICACIÓN		Fotografía del manantial		
DEPARTAMENTO	San Martín			
PROVINCIA	Rioja			
DISTRITO	Elías Soplín Vargas			
CASERÍO/SECTOR	Vista Hermosa			
CARACTERÍSTICAS				
Tipo de fuente	Filtración natural			
Régimen de flujo	Permanente			
Uso	Consumo humano			
Surgimiento	Afloramiento en rocas calcáreas			
Material geológico	Rocas sedimentarias (Fm. Chambará)			
Observaciones	Agua potable para el Caserío Vista Hermosa			

Fuente: Modificado de Aguilar (2018).

3.6.3. Calidad y Cantidad de Agua de los Manantiales

❖ *Calidad*

Hacia el SW del Distrito de Elías Soplín Vargas y dentro de la Subcuenca Tioyacu – El Negro, encontramos manantiales a los que denominamos: San Pedro, Perlamayo, Tioyacu, Removido, Sangapilla 1 y 2, San Francisco, Sapote, La Victoria, Belén, Bagazán, El Negro, El Mirador y Vista Hermosa debido al lugar (Centro Poblado) en el que se encuentran.

Dichos manantiales muestran el líquido elemento con calidad aparentemente buena para consumo humano y actividades agrícolas realizadas en la zona; es por ello que para determinar algunos parámetros de calidad organoléptica del agua (pH, temperatura, turbidez, manganeso y hierro) se realizó un muestreo in situ con equipos e instrumentos brindados por el Municipio de Elías Soplín Vargas, llegando a obtener la información de los parámetros que se detalla a continuación en el cuadro 2, así mismo se presenta la data de campo tomada in situ y las fotografías del muestreo realizado en cada uno de los manantiales (Ver anexo 1).

Cuadro 2. Parámetros fisicoquímicos de los manantiales encontrados en la Subcuenca Tioyacu – El Negro.

CALIDAD DE LAS FUENTES DE AGUA				
MANANTIAL	COORDENADAS			PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS
	ESTE	NORTE	COTA (msnm)	
San Pedro	245201	9338521	832	pH: 7.6 T: 21.6 °C Turbidez: 4.12 UNT Mn: 0.1 mg Mn/l Fe: 0.11 mg Fe/l
Perlamayo	246622	9337586	827	pH: 7.4 T: 22.9 °C Turbidez: 0.0 UNT Mn: 0.0 mg Mn/l Fe: 0.0 mg Fe/l
Tioyacu	246820	9337123	829	pH: 7.8 T: 19.7 °C Turbidez: 0.0 UNT Mn: 0.1 mg Mn/l Fe: 0.0 mg Fe/l
Removido	246827	9336657	910	pH: 7.3 T: 22.7 °C Turbidez: 0.71 UNT Mn: 0.1 mg Mn/l Fe: 0.0 mg Fe/l
Sangapilla 1	247518	9334794	819	pH: 7.2 T: 23 °C Turbidez: 0.0 UNT Mn: 0.0 mg Mn/l Fe: 0.0 mg Fe/l
Sangapilla 2	247826	9334876	822	pH: 7.2 T: 23.9 °C Turbidez: 1.71 UNT Mn: 0.8 mg Mn/l Fe: 0.42 mg Fe/l
Sapote	247966	9333724	845	pH: 7.4 T: 21.9 °C Turbidez: 3.26 UNT Mn: 0.7 mg Mn/l Fe: 0.0 mg Fe/l
San Francisco	244851	9331451	1205	pH: 8.2 T: 18.5 °C Turbidez: 0.0 UNT Mn: 0.0 mg Mn/l Fe: 0.3 mg Fe/l
La Victoria	248881	9332427	823	pH: 7.6 T: 23.1 °C Turbidez: 0.85 UNT Mn: 0.0 mg Mn/l Fe: 0.05 mg Fe/l
Belén	248520	9330830	838	pH: 7.5 T: 21.9 °C Turbidez: 0.00 UNT Mn: 0.3 mg Mn/l Fe: 0.0 mg Fe/l
Bagazán	249129	9328374	821	pH: 7.3 T: 22.3 °C Turbidez: 0.0 UNT Mn: 0.1 mg Mn/l Fe: 0.0 mg Fe/l
Naciente del Río Negro	249560	9326588	857	pH: 7.9 T: 17.9 °C Turbidez: 2.51 UNT Mn: 0.1 mg Mn/l Fe: 0.15 mg Fe/l
El Mirador	245036	9335065	1183	pH: 7.2 T: 21 °C Turbidez: 2.01 UNT Mn: 0.3 mg Mn/l Fe: 0.0 mg Fe/l
Vista Hermosa	243437	9336435	1525	pH: 7.5 T: 19.3 °C Turbidez: 0.3 UNT Mn: 0.01 mg Mn/l Fe: 0.46 mg Fe/l

❖ *Cantidad*

Los manantiales encontrados en la zona de estudio originan flujos de agua que a lo largo de su recorrido forman corrientes de agua como el río San Pedro, Perlamayo, Tioyacu, Sangapilla, Machilla, Chahuaryacu y El Negro, los cuales presentan caudales significativos de agua que alimentan a la Subcuenca Tioyacu – El Negro.

Para determinar la cantidad de agua de los ríos principales se usó el método del “flotador” obteniendo caudales muy significativos, siendo el más importante y con mayor caudal el río Negro. En seguida se muestra los valores de los caudales obtenidos de algunos ríos (ver cuadro 3), así mismo se presenta la información recolectada en campo y fotografías de la realización del ensayo para la determinación del caudal (Ver anexo 2).

Cuadro 3. Caudal de los ríos principales de la Subcuenca Tioyacu – El Negro.

CANTIDAD DE AGUA EN LOS RÍOS				
RÍO	COORDENADAS			CAUDAL (l/s)
	ESTE	NORTE	COTA (m.s.n.m)	
San Pedro	246415	9338300	825	560
Perlamayo	246620	9337586	827	204
Tioyacu	246897	9337261	829	1560
Sapote	247966	9333724	845	650
Chahuaryacu	250007	9329827	835	404
Machilla	249052	9331009	815	291
El Negro	251082	9329168	838	11280

3.6.4. Cavernas y Franja de Manantiales

La presencia de cavernas formadas en rocas calcáreas, de la Formación Condorsinga y Chambará obedecen a factores tectónicos y estructurales ya que a través de estos se infiltran y dan origen a formas peculiares como los espeleotemas (formación rocosa originada por la precipitación del carbonato de calcio que es transportado en gotas de agua) que se dividen en estalactitas, estalagmitas y columnas.

En las inmediaciones del centro turístico El Tioyacu, el poblado El Mirador y Puerto Bagazán; se identificó cuatro cavernas que se ubican en la parte baja y laderas de la montaña cuyas elevaciones esta entre los 830 y 1250 msnm; en ellas se puede apreciar la formación de los estalactitas y estalagmitas producto de la disolución del carbonato de calcio de las rocas calcáreas. Además, es importante mencionar que dos cavernas presentan flujos de agua y siendo una de ellas la más importante para el Distrito de Elías Soplín Vargas; ya que el agua que fluye por la cueva aflora en el manantial Tioyacu, para ser aprovechada en diferentes actividades, que sirve para el desarrollo de la población.

Por otro lado, se puede identificar que en el entorno de la Subcuenca Tioyacu – El Negro, según las curvas de nivel los manantiales encontrados presentan cotas similares que varían entre los 820 y 850 msnm, llegando a la conclusión que existe una franja o línea donde se ubican las fuentes de agua (Ver anexo 8, plano 06). En seguida se muestra las coordenadas, ubicación (ver cuadro 4) y sus respectivas fotografías de las cavernas encontradas en la Subcuenca Tioyacu – El Negro.

Cuadro 4. Ubicación y coordenadas de las cavernas encontradas en la Subcuenca Tioyacu – El Negro.

CAVERNA	COORDENADAS			UBICACIÓN
	N	E	COTA (msnm)	
1	9328572	249811	836	Puerto Bagazán
2	9328606	249950	855	Puerto Bagazán
3	9336047	246024	1233	El Mirador
4	9337146	246785	850	Naciente del Tioyacu



Foto 14. Caverna ubicada en Centro Poblado Puerto Bagazán.



Foto 15. Caverna ubicada en la Naciente del río Tioyacu.

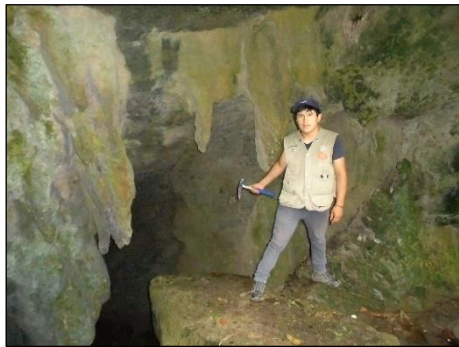


Foto 16. Caverna ubicada en el Caserío El Mirador.



Foto 17. Presencia de estalactitas en la Caverna del Tioyacu.



Foto 18. Caverna ubicada en el Centro Poblado Puerto Bagazán.



Foto 19. Presencia de estalactitas y estalagmitas en la caverna de El Mirador.

3.7. PARÁMETROS GEOMORFOLÓGICOS DE LA SUBCUENCA TIOYACU – EL NEGRO

3.7.1. Subcuenca Tioyacu – El Negro

Para realizar la delimitación de la Subcuenca se usó un modelo digital de elevaciones (MDE) en el software Global Mapper 22.0, llegando a determinar un área de 146.08 Km², la red de drenaje (5 ordenes) los cuales hacen referencia a cauces desde pequeñas quebradas hasta el río principal de la Subcuenca Tioyacu – El Negro; para lo cual se usó el software ArcGis 10.5.

3.7.2. Parámetros Geomorfológicos

Cada uno de los parámetros están relacionados entre sí; calculándose en primer lugar los Parámetros Básicos (PB) desde imágenes satelital y ráster obtenidas del software Sas Planet para luego ser procesadas en software de Global Mapper 22.0 y ArcGis 10.5, a partir de ellos se calculan los Parámetros Fundamentales (PF) en hojas de cálculo (Excel). Para los cálculos de la Subcuenca Tioyacu – El Negro se siguió la metodología de Rodríguez y Huamán (2016) (ver tabla 1), adjuntándose a la investigación los resultados de los parámetros geomorfológicos de la unidad hidrográfica en un cuadro síntesis (Cuadro 5).

Cuadro 5. Parámetros geomorfológicos de la Subcuenca Tioyacu – El Negro.

PARÁMETROS GEOMORFOLÓGICOS SUBCUENCA TIOYACU - EL NEGRO						
PARÁMETRO	DESCRIPCIÓN	COD.	UNID.	SUBCUENCA TIOYACU - EL NEGRO		
				VALORES		
PARÁMETROS BÁSICOS						
1	ÁREA	A	Km ²			146.08
2	PERÍMETRO	P	Km			55.10
3	LONGITUD DEL CAUCE PRINCIPAL	L	Km			29.27
4	DESNIVEL ALTITUDINAL	DA	msnm			3,147.00
5	GRADO DE RAMIFICACIONES			Oi		
			Km	1	171	137,484.76
			Km	2	36	45,755.67
			Km	3	10	32,606.61
			Km	4	3	20,689.59
			Km	5	1	9,456.08
	Número Total de cursos o ríos : <i>NTc</i>		Cantid		221	
	Longitud Total de Ríos : <i>Li</i>		Km			259,202.10
PARÁMETROS FUNDAMENTALES						
<i>Parámetros de Drenaje</i>						
6	DENSIDAD DE DRENAJE	Dd	Km/Km ²			1.77
7	EXTENSIÓN MEDIA DE ESCURRIMIENTO SUPERFICIAL	Es	Km			0.14
8	FRECUENCIA DE RÍOS	Fr	Ríos/Km ²			1.51
<i>Parámetros de Forma</i>						
9	ANCHO PROMEDIO DE LA SUBCUENCA	Ap	Km			4.99
10	FACTOR DE FORMA	Ff				0.17
11	COEFICIENTE DE COMPACIDAD O ÍNDICE DE GRAVELIUS	Kc				1.28
<i>Parámetros de Elevación del Terreno o Relieve de la Subcuenca</i>						
12	ALTITUD MEDIA DE LA SUBCUENCA	Hm	msnm			1,296.55
13	MÉTODO DEL ÍNDICE DE PENDIENTE DE LA SUBCUENCA O PENDIENTE MEDIA DE LA SUBCUENCA	Ip				0.34
14	POLÍGONO DE FRECUENCIA DE ALTITUDES					gráfico
15	CURVA HIPSOMÉTRICA					gráfico
<i>Parámetro del Rectángulo Equivalente</i>						
16	PARAMETRO DEL RECTÁNGULO EQUIVALENTE					
		L	Km			20.37
		l	Km			7.17
<i>Parámetro Declividad de los Cursos de Agua</i>						
17	PENDIENTE MEDIA DEL RÍO	Ic	m/Km			0.11
18	DECLIVE EQUIVALENTE CONSTANTE	S				0.02
19	PERFIL LONGITUDINAL DE LA SUBCUENCA					gráfico
<i>Parámetro del Coeficiente de Torrencialidad</i>						
20	COEFICIENTE DE TORRENCIALIDAD	Ct	Ríos 1er Orden/Km ²			1.17
<i>Parámetro del Coeficiente de Masividad</i>						
21	COEFICIENTE DE MASIVIDAD	Cm	m/Km ²			8.88

❖ *Polígono De Frecuencia De Altitudes*

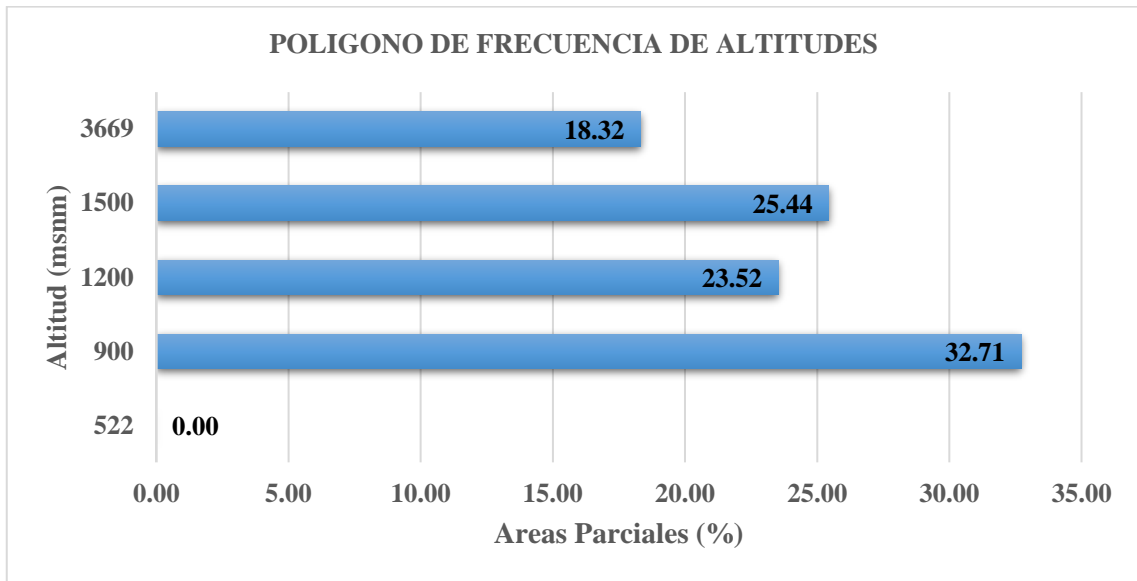


Figura 21. Polígono de frecuencia de altitudes de la Subcuenca Tioyacu – El Negro.

❖ *Curva Hipsométrica*

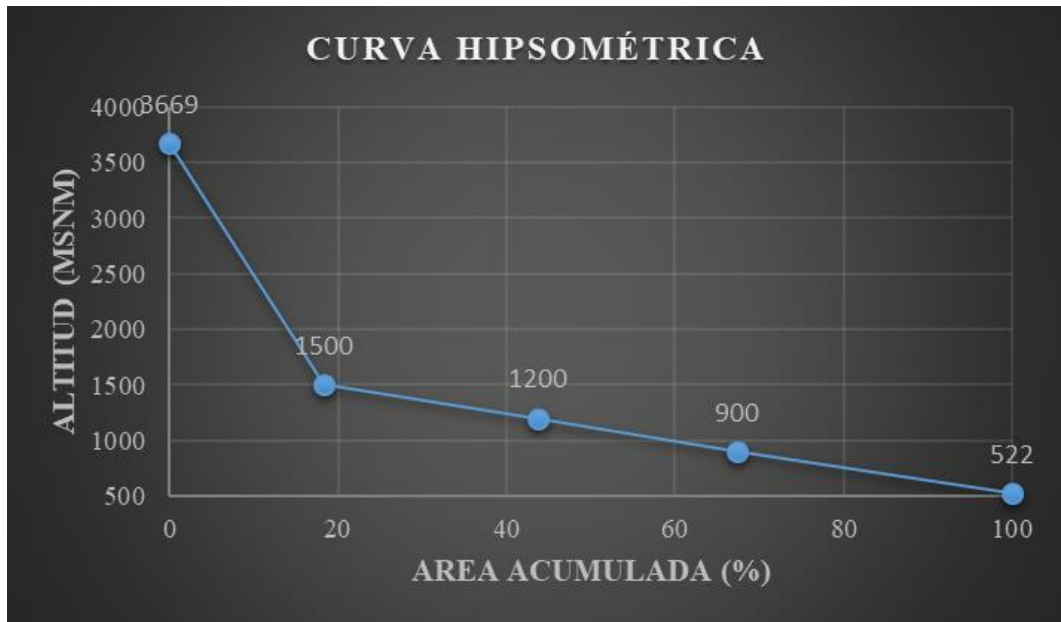


Figura 22. Curva hipsométrica de la Subcuenca Tioyacu – El Negro.

❖ *Perfil Longitudinal*

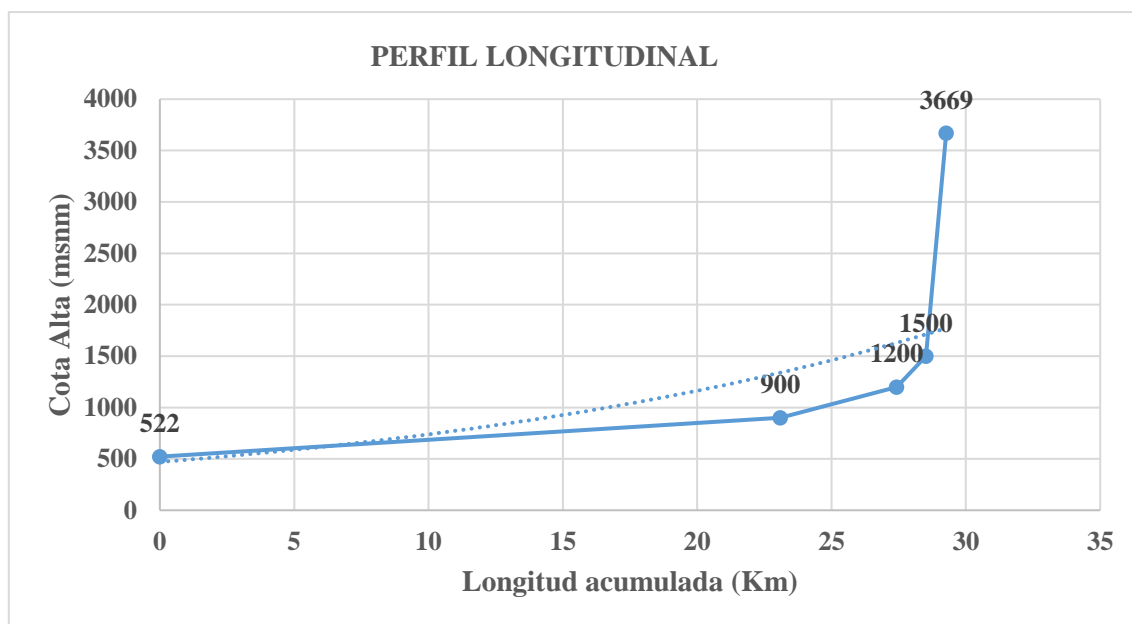


Figura 23. Perfil longitudinal de la Subcuenca Tioyacu – El Negro.

3.7.3. Red de Drenaje

Considerando la exuberante vegetación y el recorrido de casi toda el área de la Subcuenca Tioyacu – El Negro definimos que el drenaje es de quinto orden, tipo dendrítico, con nivel de base el río Tioyacu y el río Negro. El drenaje se desarrolló sobre depósitos cuaternarios de tipo aluviales y en rocas del Grupo Pucará, específicamente sobre las Formaciones Condorsinga, Aramachay y Chambará representada por calizas competentes, fuertemente fracturadas por los movimientos tectónicos y altamente meteorizada en superficie.

El drenaje superficial no es muy claro porque está oscurecido por la vegetación, sin embargo, el drenaje subterráneo es bastante conspicuo debido a la fuerte infiltración y la presencia de cavernas de todo tamaño, originadas por la erosión superficial e hidrogeológica, quienes produjeron grandes espacios, oquedades y canales de diversas dimensiones por donde ocurre el escurrimiento de grandes flujos de agua subterránea originando diversos manantiales.

Los drenajes más importantes a nivel local de la Subcuenca Tioyacu – El Negro son el río Tioyacu y el río Negro que nace en los manantiales del mismo nombre, constituyendo el nivel de base de la microcuenca. También es importante asegurar que existen muchas cavernas y cataratas asociadas al área de influencia de la Subcuenca, ya que en el recorrido de la investigación se pudo tomar evidencias de varias cavernas carsticas.

3.8. ESTACIONES DE CONTROL GEOLÓGICO- ESTRUCTURAL

Se han realizado diferentes estaciones, tomando datos importantes de los macizos rocosos presentes en el área de estudio, en formatos propios del tesista que contiene lo siguiente: N° de estación, coordenadas UTM Datum WGS 84, tipo de fractura, Dip y Dip Direction y finalmente la formación geológica en la que se ha realizado la toma de datos.

Los datos geológico – estructurales se tomaron en las discontinuidades y estratos calcáreos de las formaciones geológicas del Grupo Pucará (Formación Chambará, Aramachay y Condorsinga) el cual fueron registrados en los cuadros 6, 7 y 8, teniendo en cuenta varias estaciones alrededor de los manantiales (Tioyacu, San Pedro, Chahuaryacu, El Negro, Sapote y San Francisco) y siendo de mayor prioridad la litología, Dip y Dip Direction, parámetros más relevantes para nuestro respectivo análisis.







3.8.1. Análisis de Datos Mediante Software Dips V 7.0

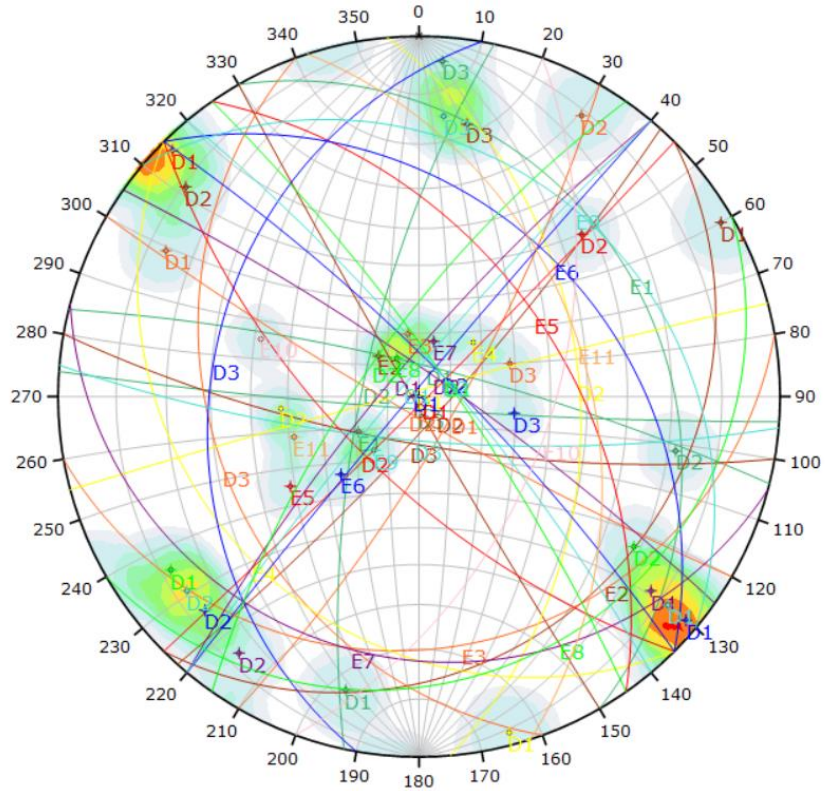
La información recolectada se ingresó al software Dips V 7.0, para graficar la orientación de los estratos y discontinuidades de las formaciones geológicas, usando como datos principales el Dip y Dip Direction y así poder definir el comportamiento geoestructural en la zona de estudio.

❖ ***Estaciones Geoestructurales Entorno a los Manantiales del Tioyacu y San Pedro***

Los datos geomecánicos (Dip y Dip Direction) de los estratos y discontinuidades, fueron tomados en rocas calcáreas de la Formación Condorsinga. En seguida se presenta la data (ver cuadro 6) de los valores tomados en campo y a su vez representados en el software Dips V 7.0 (ver figura 24).

Cuadro 6. Data geológico – estructural de las estaciones ubicadas en el entorno a los manantiales Tioyacu y San Pedro.

N° ESTACIÓN	COORDENADAS			TIPO	D	DD	FORMACIÓN CONDORSINGA		
	Este	Norte	Cota (m.s.n.m)						
1	246679	9336789	925	E	22	60			
				D1	80	14			
				D2	72	282			
				D3	86	184			
2	246229	9336236	1149	E	18	135		Est. Geológica (01) a 100 m del manantial Tioyacu.	
				D1	88	240			
				D2	82	132			
				D3	75	190			
3	246170	9336223	1210	E	20	170			
				D1	78	120			
				D2	84	210			
				D3	30	250			
4	246024	9336047	1233	E	24	225	Est. Geológica (03) en la parte alta del Tioyacu.		
				D1	88	345			
				D2	42	85			
				E	47	55			
5	245828	9337920	891	D1	88	135			
				D2	65	225			
				E	34	45			
				D1	88	310			
6	245768	9337655	982	D2	80	45			Est. Geológica (08) a 100 m del manantial San Pedro.
				D3	30	280			
				E	18	195			
				D1	80	310			
7	245712	9337412	1077	D2	82	35			
				E	14	150			
				D1	80	55			
				D2	72	305			
8	245774	9337387	1051	E	22	40			
				D1	84	310			
				D2	80	50			
				D3	76	185			
9	246244	9337371	874	E	50	110			
10	245712	9335802	1290	E	40	72			
11	246840	9336621	917	E	40	72			



Symbol	Feature
◊	Pole Vectors

Color	Density Concentrations
	0.00 - 1.10
	1.10 - 2.20
	2.20 - 3.30
	3.30 - 4.40
	4.40 - 5.50
	5.50 - 6.60
	6.60 - 7.70
	7.70 - 8.80
	8.80 - 9.90
	9.90 - 11.00

Contour Data	Pole Vectors
Maximum Density	10.07%
Contour Distribution	Fisher
Counting Circle Size	1.0%

	Color	Dip	Dip Direction	Label
User Planes				
1	■	22	60	E1
2	■	80	14	D1
3	■	72	282	D2
4	■	86	184	D3
5	■	18	135	E2
6	■	88	240	D1
7	■	82	132	D2
8	■	75	190	D3
9	■	20	170	E3
10	■	78	120	D1
11	■	84	210	D2
12	■	30	250	D3
13	■	24	225	E4
14	■	88	345	D1
15	■	42	85	D2

16	■	47	55	E5
17	■	88	135	D1
18	■	65	225	D2
19	■	34	45	E6
20	■	88	310	D1
21	■	80	45	D2
22	■	30	280	D3
23	■	18	195	E7
24	■	80	310	D1
25	■	82	35	D2
26	■	14	150	E8
27	■	80	55	D1
28	■	72	305	D2
29	■	22	40	E9
30	■	84	310	D1
31	■	80	50	D2
32	■	76	185	D3
33	■	50	110	E10
34	■	40	72	E11



Plot Mode	Pole Vectors
Vector Count	34 (34 Entries)
Hemisphere	Lower
Projection	Equal Angle

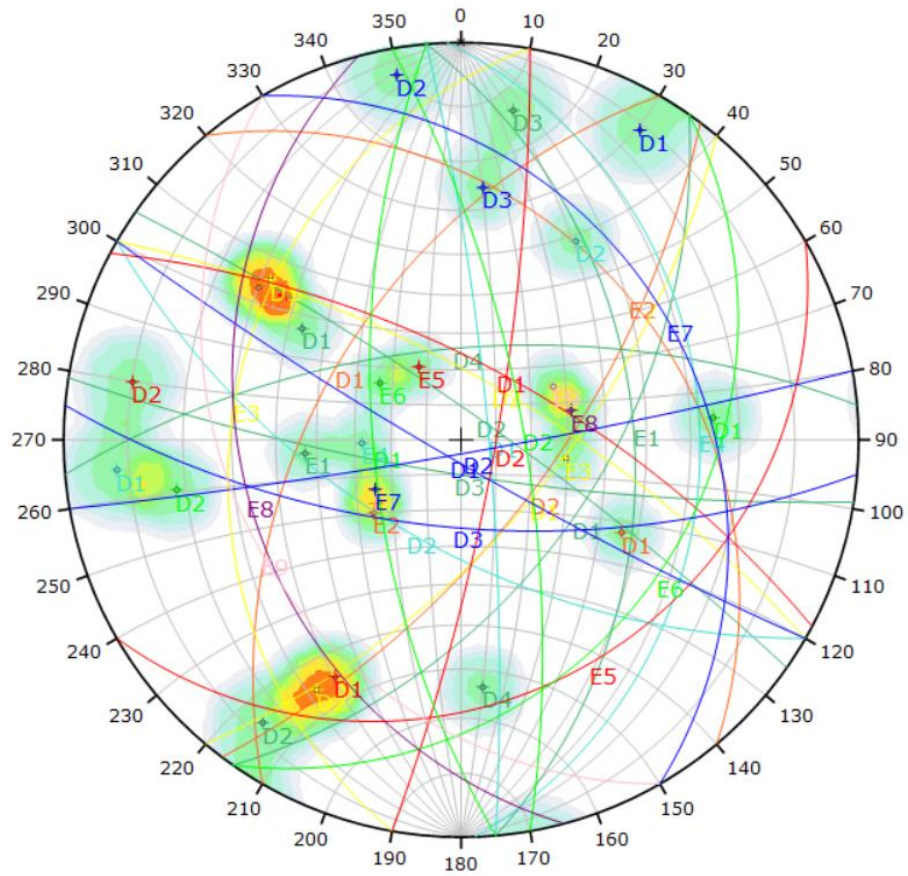
Figura 24. Representación de las familias de discontinuidades y estratos tomadas en las estaciones del entorno a los manantiales de Tioyacu y San Pedro.

❖ ***Estaciones Geoestructurales Entorno a los Manantiales del Sapote y San Francisco***

Los datos geomecánicos (Dip y Dip Direction) de los estratos y discontinuidades, fueron tomados en rocas calcáreas de la Formación Chambará y Condorsinga. En seguida se presenta la data (ver cuadro 7) de los valores tomados en campo y a su vez representados en el software Dips V 7.0 (ver figura 25).

Cuadro 7. Data geológico – estructural de las estaciones ubicadas en el entorno a los manantiales El Sapote y San Francisco.

N° ESTACIÓN	COORDENADAS			TIPO	D	DD	FORMACIÓN CHAMBARÁ Y CONDORSINGA
	Este	Norte	Cota (m.s.n.m)				
1	244833	9331454	1210	E	43	85	
				D1	52	125	
				D2	82	35	
				D3	80	189	
				D4	64	355	
2	245342	9331503	1107	E	32	50	
				D1	50	300	
				D2	65	127	
3	245195	9335700	1338	E	30	280	
				D1	64	130	
				D2	72	30	
4	248018	9333521	851	E	28	88	Est. Geológica (02) a 10 m del manantial San Francisco.
				D1	82	85	
				D2	60	210	
5	248000	9333892	836	E	24	150	
				D1	68	28	
				D2	80	100	
6	247929	9334383	814	E	28	125	
				D1	65	265	
				D2	72	80	
7	245118	9334899	1143	E	28	60	
				D1	84	210	
				D2	86	170	
				D3	65	185	
8	245492	9335397	1366	E	32	255	Est. Geológica (07) a 100 m del manantial Sapote.
9	245546	9335666	1324	E	30	240	



Symbol	Feature
◊	Pole Vectors

Color	Density Concentrations
	0.00 - 0.90
	0.90 - 1.80
	1.80 - 2.70
	2.70 - 3.60
	3.60 - 4.50
	4.50 - 5.40
	5.40 - 6.30
	6.30 - 7.20
	7.20 - 8.10
	8.10 - 9.00

Contour Data		Pole Vectors	
Maximum Density		8.32%	
Contour Distribution		Fisher	
Counting Circle Size		1.0%	

	Color	Dip	Dip Direction	Label
User Planes				
1	■	43	85	E1
2	■	52	125	D1
3	■	82	35	D2
4	■	80	189	D3
5	■	64	355	D4
6	■	32	50	E2
7	■	50	300	D1
8	■	65	127	D2

9	■	30	280	E3
10	■	64	130	D1
11	■	72	30	D2
12	■	28	88	E4
13	■	82	85	D1
14	■	60	210	D2
15	■	24	150	E5
16	■	68	28	D1
17	■	80	100	D2
18	■	28	125	E6
19	■	65	265	D1
20	■	72	80	D2
21	■	28	60	E7
22	■	84	210	D1
23	■	86	170	D2
24	■	65	185	D3
25	■	32	255	E8
26	■	30	240	E9

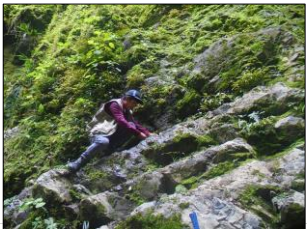



Plot Mode	Pole Vectors
Vector Count	26 (26 Entries)
Hemisphere	Lower
Projection	Equal Angle

Figura 25. Representación de las familias de discontinuidades y estratos tomadas en las estaciones del entorno a los manantiales de El Sapote y San Francisco.

❖ ***Estaciones Geoestructurales Entorno a los Manantiales de El Negro y Puerto Bagazán***

Los datos geomecánicos (Dip y Dip Direction) de los estratos y discontinuidades, fueron tomados en rocas calcáreas de la Formación Chambará y Aramachay. En seguida se presenta la data (ver cuadro 7) de los valores tomados en campo y a su vez representados en el software Dips V 7.0 (ver figura 26).

Cuadro 8. Data geológico – estructural de las estaciones ubicadas en el entorno a los manantiales El Negro y Puerto Bagazán.

Nº ESTACIÓN	COORDENADAS			TIPO	D	DD	FORMACIÓN CHAMBARÁ Y ARAMACHAY	
	Este	Norte	Cota (m.s.n.m)					
1	245750	9323842	1450	E	22	210		
				D1	82	155		
2	245715	9323969	1427	E	22	215		
				D1	88	142		
				D2	86	152		
3	245740	9333001	1331	D3	74	110		
				E	12	210		
				D1	66	80		
4	246566	9324983	1184	D2	68	138		
				D3	42	288		
				E	30	98		
5	246814	9324814	1183	D1	88	225		
				D2	80	335		
				E	40	92		
6	249538	9326585	844	D1	56	200		
				D2	68	270		
				E	36	310		
7	249951	9329847	824	D1	84	215		
				D2	70	125		
				E	12	260		
7	249951	9329847	824	D1	78	115		
				D2	82	55		
				E	12	260		

Est.Geológica (02), parte alta de el manantial El Negro.

Est.Geológica (05), en el manantial El Negro.

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1. ANÁLISIS MORFOLÓGICO DE LA SUBCUENCA TIOYACU – EL NEGRO

Realizado el cálculo de los parámetros geomorfológicos; la Subcuenca Tioyacu – El Negro, presenta los parámetros básicos con las siguientes características: un área total de 146.08 km²; un perímetro de 55.10 km, la longitud de su cauce principal de 29.27 km y su desnivel altitudinal es 3147 msnm lo que sería un indicador de la variada precipitación y por ende también de la temperatura.

Según el grado de ramificaciones, es de 5to orden de acuerdo la metodología de Rodríguez y Huamán (2016). Sus afluentes están distribuidos de la siguiente manera; presenta en total 221 afluentes naturales, de los cuales 171 afluentes son de orden 1; 36 afluentes de orden 2; 10 afluentes de orden 3; 3 afluentes de orden 4 y 1 de orden 5 lo que indica que en algún momento hubo importante actividad erosiva, productora de agua y sedimentos.

De los parámetros fundamentales se puede decir lo siguiente: la densidad de drenaje es un índice que cuantifica el grado de desarrollo de una red de drenaje, en donde para la Subcuenca del Tioyacu – El Negro es 1.77, la cual nos indicaría, según lo estudiado que la Subcuenca está moderadamente drenada por presentar zonas montañosas con cobertura vegetal, con litología permeables debido al alto nivel de fracturamiento de las rocas, además presenta parte de su área con pendiente suave, presentando también una extensión media del escurrimiento superficial un valor de 0.14. El factor de forma es 0.17 siendo de forma alargada con baja susceptibilidad a las crecidas de lluvias, así también el índice o coeficiente de compacidad de Gravelius es 1.28, indicando que es una Subcuenca de forma oval-oblonga a rectangular-oblonga, según Mármol (2008) teniendo tendencia a concentrar pocos volúmenes de agua de escurrimiento superficial, ya que en su mayoría serán de escurrimiento subterráneo aflorando en las partes bajas como manantiales.

Dentro de los parámetros de Elevación del Terreno o Relieve de la Subcuenca Tioyacu – El Negro se ha obtenido que la altitud media de la Subcuenca es 1296.55 msnm. La pendiente media de la Subcuenca $I_p = 0.34$ lo cual indicaría que es medianamente accidentado casi en toda el área de la Subcuenca. El polígono de frecuencias muestra la relación existente entre la altitud (msnm) y el porcentaje de áreas parciales acumuladas obtenidas a partir de las curvas a nivel (ver figura 21); en cuanto se refiere a la curva hipsométrica se tiene el siguiente análisis:

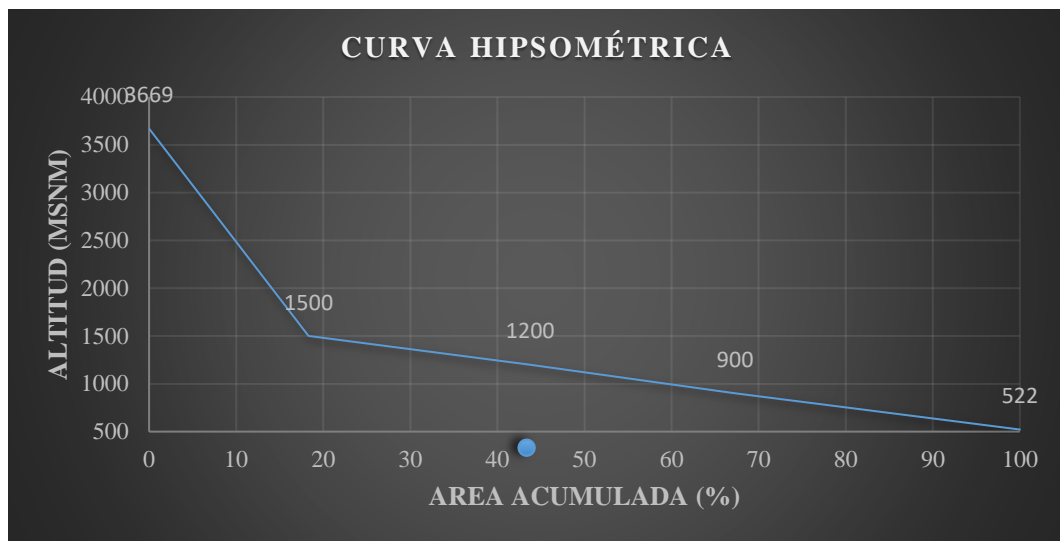


Figura 27. Curva hipsométrica de la Subcuenca Tioyacu – El Negro.

La curva hipsométrica nos muestra que es una subcuenca sedimentaria en etapa de vejez donde a lo largo del tiempo geológico paso de ser un río joven a río viejo, así se caracteriza porque gran parte de los sedimentos han sido erosionados y depositados en la parte más baja de la subcuenca. Según el cálculo realizado por el rectángulo equivalente los datos obtenidos son $L = 20.37$ km y $l = 7.17$ km respectivamente.

Finalmente se ha calculado que el coeficiente de Torrencialidad del drenaje de primer orden de la Subcuenca es de 1.17 por Km^2 lo que indica que el grado de Torrencialidad que presenta la cuenca no es muy elevado y en cuanto respecta al coeficiente de masividad $C_m = 8.88$ significa que la Subcuenca Tioyacu – EL Negro se encuentra ubicado en una zona muy montañosa.

4.2. ANÁLISIS DE COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL

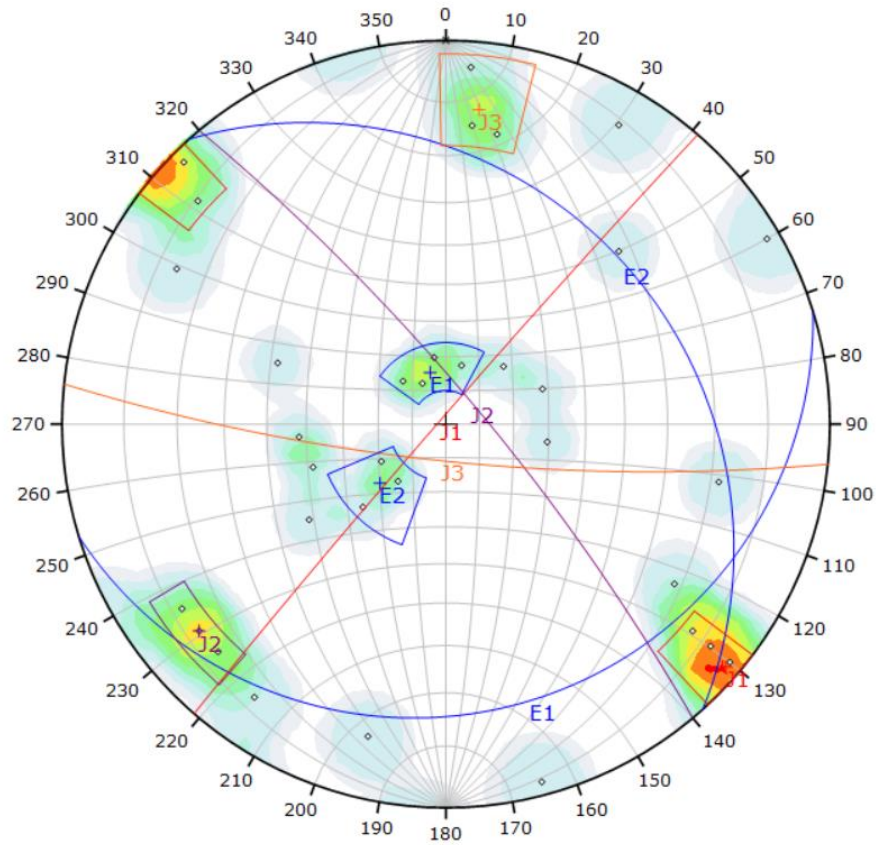
Los resultados obtenidos de la data tomada en campo nos muestran las tendencias de los planos principales de estratos y discontinuidades presentes en las Formaciones geológicas del Grupo Pucará (Formación Chambará, Aramachay y Condorsinga), las mismas que están constituidas por secuencias de calizas fracturadas de color gris, calizas intercaladas con lutitas; las cuales han sido afectadas por esfuerzos tectónicos regional y local los mismos que han generado estructuras como fallas locales de tipo traslacional y a nivel regional el anticlinal Cerro Blanco con la falla Santa Cruz.

Los estratos y las diferentes familias de discontinuidades presentes en las todas estaciones del entorno a los manantiales de la Subcuenca, se han medido sus orientaciones como son: Dip (D) y Dip Direction (DD) con brújula Brunton, para luego ser procesadas mediante el Software Dips V 7.0 como se muestra a continuación en los diferentes gráficos.

4.2.1. Análisis de las Estaciones Geoestructurales Entorno a los Manantiales del Tioyacu y San Pedro

En las 11 estaciones realizadas, los estratos presentan dirección NW – SE con buzamiento promedio de 16° y 26° , respecto a la dirección de las diaclasas tenemos a la J1 con dirección de SW – NE y buzamiento promedio de 88° así mismo encontramos a la J2 y J3 con dirección de NW – SE las mismas que presentan un buzamiento promedio de 80° y 79° respectivamente, de lo cual podemos decir que tienen incidencia positiva para dar origen a los manantiales presentes en el área de investigación, otro factor que juega a favor son las cavernas formadas por procesos de carstificación, ya que se comportan como redes de drenaje para el escurrimiento de agua subterránea y luego aflorar en la superficie. Se puede decir también que las diaclasas funcionan como agentes modeladores de los estratos y estructuras gracias a los planos de debilidad que generan, para que posteriormente, la erosión y meteorización sigan esos planos de debilidad. En el gráfico mostrado (figura 28), se puede observar que la dirección de los estratos (E1 y E2) y discontinuidades (J2 y J3) son semejantes, yendo de NW – SE, excepto la J1.

Así mismo se observa que, la J2 y J3 cortan a los estratos con buzamientos casi perpendiculares (80° y 79°) las cuales favorecen a la infiltración de las precipitaciones y un posterior escurrimiento de las aguas subterráneas.



Symbol	Feature
◊	Pole Vectors

Color	Density Concentrations
	0.00 - 1.10
	1.10 - 2.20
	2.20 - 3.30
	3.30 - 4.40
	4.40 - 5.50
	5.50 - 6.60
	6.60 - 7.70
	7.70 - 8.80
	8.80 - 9.90
	9.90 - 11.00

Contour Data	Pole Vectors
Maximum Density	10.07%
Contour Distribution	Fisher
Counting Circle Size	1.0%

	Color	Dip	Dip Direction	Label
Mean Set Planes				
1m	■	16	163	E1
2m	■	26	48	E2
3m	■	88	311	J1
4m	■	80	50	J2
5m	■	79	186	J3

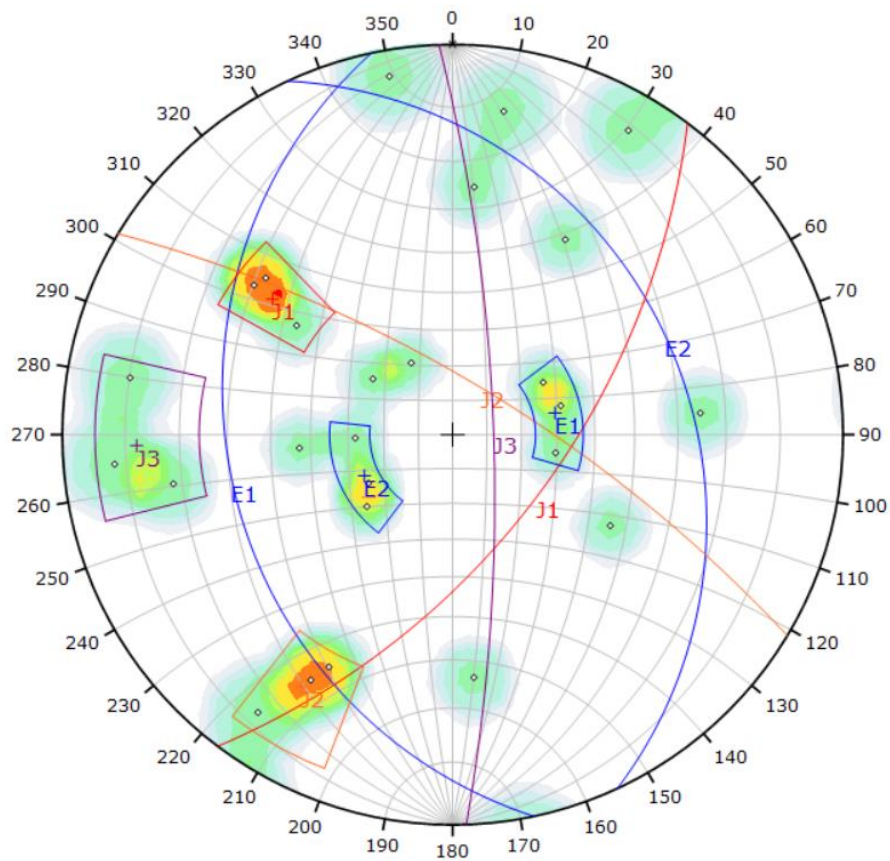
Plot Mode	Pole Vectors
Vector Count	34 (34 Entries)
Hemisphere	Lower
Projection	Equal Angle

Figura 28. Tendencia de los planos mayores y estructuras principales de las estaciones geoestructurales alrededor de los manantiales Tioyacu y San Pedro.

4.2.2. Análisis de las Estaciones Geoestructurales Entorno a los Manantiales del Sapote y San Francisco

En las 09 estaciones realizadas, los estratos presentan dirección NW – SE con buzamiento promedio de 30° y 28°, respecto a la dirección de las diaclasas tenemos a la J1 con dirección de SW – NE y buzamiento promedio de 60° así mismo encontramos a la J2 y J3 con dirección de NW – SE las mismas que presentan un buzamiento promedio de 74° y 78° respectivamente, de lo cual podemos decir que tienen incidencia positiva para dar origen a los manantiales presentes en el área de investigación, otro factor que juega a favor son las cavernas formadas por procesos de carstificación, ya que se comportan como redes de drenaje para el escurrimiento de agua subterránea y luego aflorar en la superficie.

Se puede decir también que las diaclasas funcionan como agentes modeladores de los estratos y estructuras gracias a los planos de debilidad que generan, para que posteriormente, la erosión y meteorización sigan esos planos de debilidad. En el gráfico mostrado (figura 29), se puede observar que los estratos (E1 y E2) y discontinuidades (J2 y J3) tienen la misma dirección de NW – SE, excepto la J1. Además, de que la J2 y J3 cortan a los estratos con buzamientos casi perpendiculares (74° y 78°) las cuales favorecen a la infiltración de las precipitaciones y un posterior escurrimiento de las aguas subterráneas.



Symbol	Feature
◇	Pole Vectors

Color	Density Concentrations
	0.00 - 0.90
	0.90 - 1.80
	1.80 - 2.70
	2.70 - 3.60
	3.60 - 4.50
	4.50 - 5.40
	5.40 - 6.30
	6.30 - 7.20
	7.20 - 8.10
	8.10 - 9.00

Contour Data	Pole Vectors
Maximum Density	8.32%
Contour Distribution	Fisher
Counting Circle Size	1.0%

	Color	Dip	Dip Direction	Label
Mean Set Planes				
1m	■	30	258	E1
2m	■	28	65	E2
3m	■	60	127	J1
4m	■	74	31	J2
5m	■	78	88	J3

Plot Mode	Pole Vectors
Vector Count	26 (26 Entries)
Hemisphere	Lower
Projection	Equal Angle

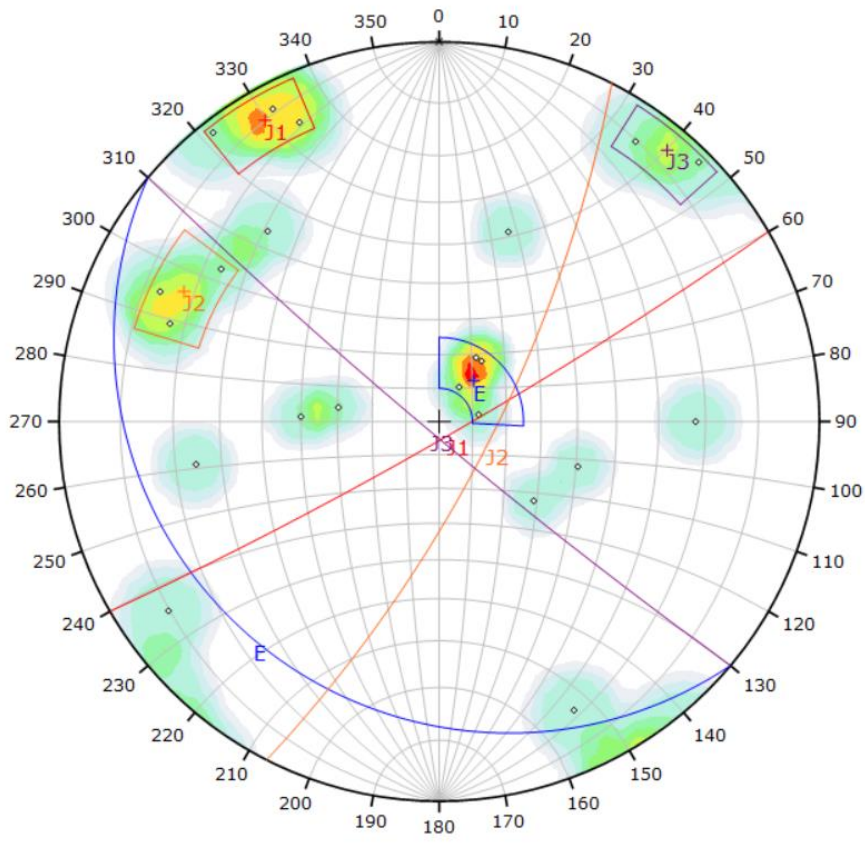
Figura 29. Tendencia de los planos mayores y estructuras principales de las estaciones geoestructurales alrededor de los manantiales Sapote y San Francisco.

4.2.3. Análisis de las Estaciones Geoestructurales Entorno a los Manantiales El Negro y Puerto Bagazán.

En las 07 estaciones realizadas, los estratos presentan dirección NW – SE con buzamiento promedio de 16° , respecto a la dirección de las diaclasas tenemos a la J3 con dirección de NW – SE y buzamiento promedio de 86° así mismo encontramos a la J1 y J2 con dirección de NE – SW las mismas que presentan un buzamiento promedio de 85° y 74° respectivamente.

Entonces se puede decir que tienen incidencia positiva para dar origen a los manantiales presentes en el área de investigación, otro factor que juega a favor son las cavernas formadas por procesos de carstificación, ya que se comportan como redes de drenaje para el escurrimiento de agua subterránea y luego aflorar en la superficie.

Así mismo se puede decir también que las diaclasas funcionan como agentes modeladores de los estratos y estructuras gracias a los planos de debilidad que generan, para que posteriormente, la erosión y meteorización sigan esos planos de debilidad. En el gráfico mostrado (figura 30), se puede observar que el estrato (E1) y discontinuidad (J3) tienen la misma dirección de NW – SE, excepto la J1 y J2. Además, de que la J1 cortan a los estratos con buzamiento casi perpendicular (76°) el cual favorece a la infiltración de las precipitaciones y un posterior escurrimiento de las aguas subterráneas.



Symbol	Feature
◊	Pole Vectors

Color	Density Concentrations
	0.00 - 1.20
	1.20 - 2.40
	2.40 - 3.60
	3.60 - 4.80
	4.80 - 6.00
	6.00 - 7.20
	7.20 - 8.40
	8.40 - 9.60
	9.60 - 10.80
	10.80 - 12.00

Contour Data	Pole Vectors
Maximum Density	11.98%
Contour Distribution	Fisher
Counting Circle Size	1.0%

	Color	Dip	Dip Direction	Label
Mean Set Planes				
1m	■	16	220	E
2m	■	85	150	J1
3m	■	74	117	J2
4m	■	86	220	J3

Plot Mode	Pole Vectors
Vector Count	22 (22 Entries)
Hemisphere	Lower
Projection	Equal Angle

Figura 30. Tendencia de los planos mayores y estructuras principales de las estaciones geoestructurales alrededor de los manantiales El Negro y Puerto Bagazán.

4.3. ANÁLISIS HIDROGEOLÓGICO

4.3.1. Análisis Hidrogeológico Regional

A nivel regional se encuentra el divortium acuarium, la cabecera de cuenca y las zonas de recarga, donde las precipitaciones regionales caen sobre las unidades estratigráficas del Grupo oriente, Formación Sarayaquillo, generando infiltraciones y dando lugar a acuíferos regionales, los cuales originan líneas de flujo que discurren hacia las partes bajas con dirección al SW y Oeste hacia la zona de Chachapoyas; y hacia el Este a la Cuenca del Mayo, (Ver anexo 03, plano 01).

Así mismo se tiene que la dirección y escurrimiento de los flujos de agua siguen los planos de estratificación y las discontinuidades originadas por el tectonismo regional, estructuras representadas por grandes anticlinales, sinclinales y fallas de gran recorrido. También es importante señalar que la presencia de lagunas en la cabecera de cuencas regional sobre la Formación Sarayaquillo y Grupo Oriente, es debido a las condiciones especiales de estas formaciones para retener cuerpos de agua y distribuirlos adecuadamente. El proceso de meteorización genera la topografía carstica superficial y subterránea, y la infiltración origina acuíferos regionales y locales, cuyas líneas de flujo van hacia el valle del mayo, produciendo cavernas con grandes flujos de agua, desembocando sus aguas en los manantiales que se encuentran en las vertientes hacia Nueva Cajamarca, Rioja y especialmente hacia la Subcuenca Tioyacu – El Negro y alrededores.

4.3.2. Análisis Hidrogeológico Local

Las precipitaciones locales caen sobre unidades estratigráficas del Grupo Pucará, que infiltran a través de los planos de estratificación y discontinuidades para luego originar flujos de agua que desembocaran en la parte baja de la Subcuenca Tioyacu – El Negro. Las fuentes de agua encontradas en la zona de estudio representan un registro y evidencia de la presencia de aguas subterráneas en el subsuelo y que a su vez estas afloran en la superficie. Llegando a un registro final de 20 manantiales (Ver anexo 5, plano 03) de los cuales la mayoría están ubicados principalmente en la parte baja de la Subcuenca a una altitud que oscila entre los 821 a 910 m.s.n.m, de lo cual se puede deducir que estaríamos frente a una franja de manantiales (Ver anexo 8, plano 06).

4.3.3. Análisis de Calidad y Cantidad de Agua

❖ *Análisis de Calidad*

Los resultados obtenidos de cada muestreo de agua de los manantiales inventariados fueron comparados con los Estándares Nacionales de Calidad de Agua establecidos en el DS N°002-2008-MINAM, así como también se ha considerado el DS N° 031-2010-SA (límites máximos permisibles para consumo humano) del Ministerio de Salud.

LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES DE PARÁMETROS DE CALIDAD ORGANOLÉPTICA		
Parámetros	Unidad de medida	Límite máximo permisible
1. Olor	---	Aceptable
2. Sabor	---	Aceptable
3. Color	UCV escala Pt/Co	15
4. Turbiedad	UNT	5
5. pH	Valor de pH	6,5 a 8,5
6. Conductividad (25°C)	µmho/cm	1 500
7. Sólidos totales disueltos	mgL ⁻¹	1 000
8. Cloruros	mg Cl ⁻ L ⁻¹	250
9. Sulfatos	mg SO ₄ ⁼ L ⁻¹	250
10. Dureza total	mg CaCO ₃ L ⁻¹	500
11. Amoníaco	mg N L ⁻¹	1,5
12. Hierro	mg Fe L ⁻¹	0,3
13. Manganeso	mg Mn L ⁻¹	0,4
14. Aluminio	mg Al L ⁻¹	0,2
15. Cobre	mg Cu L ⁻¹	2,0
16. Zinc	mg Zn L ⁻¹	3,0
17. Sodio	mg Na L ⁻¹	200

UCV = Unidad de color verdadero
UNT = Unidad nefelométrica de turbiedad

Figura 31. Límites máximos permisibles de parámetros de calidad organoléptica del agua para consumo humano.
Fuente: Ministerio de Salud (2010).

A continuación, se muestra los valores de los parámetros fisicoquímicos del agua muestreados in situ en cada uno de los manantiales, realizándose el análisis mediante gráficos dentro de los LMP del agua.

Cuadro 9. Parámetros de calidad del agua en algunos manantiales de la Subcuenca Tioyacu – EL Negro.

MANANTIAL	PARÁMETROS				
	Temperatura °C	Ph	Turbidez (UNT)	Manganeso (mg Mn/l)	Hierro (mg Fe/l)
San Pedro	21.6	7.6	4.12	0.1	0.11
Perlamayo	22.9	7.4	0.00	0.0	0.00
Tioyacu	19.7	7.8	0.00	0.1	0.00
Removido	22.7	7.3	0.71	0.1	0.00
Sangapilla 1	23.0	7.2	0.00	0.0	0.00
Sangapilla 2	23.9	7.2	1.71	0.8	0.42
Sapote	21.9	7.4	3.26	0.7	0.00
San Francisco	18.5	8.2	0.00	0.0	0.30
La Victoria	23.1	7.6	0.85	0.0	0.05
Belén	21.9	7.5	0.00	0.3	0.00
Bagazán	22.3	7.3	0.00	0.1	0.00
Naciente del Rio Negro	17.9	7.9	2.51	0.1	0.15
El Mirador	21.0	7.2	2.01	0.3	0.00
Vista Hermosa	19.3	7.5	0.30	0.01	0.46

En todos los manantiales encontrados es notoria la calidad del agua, es clara, cristalina, de olor y sabor agradable muy aceptable con un pH (básico) dentro de los LMP de 6.5 - 8.5 en todos los manantiales, del cual se puede decir que pueden ser potabilizadas con desinfección para consumo humano, así mismo pueden tener uso recreacional con contacto primario, apto para bebida de animales, riego de actividades agrícolas y conservación del medio ambiente acuático según el DS N°002-2008-MINAM.

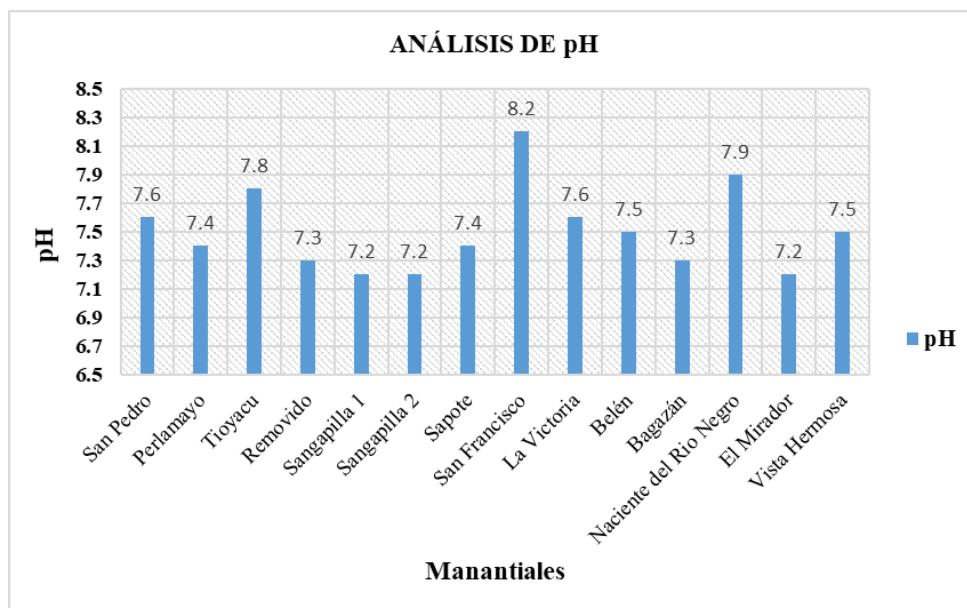


Figura 32. Valores del pH de todos los manantiales inventariados y muestreados de la Subcuenca Tioyacu – El Negro.

Otro de los parámetros muestreados es la turbidez del cual se obtuvieron valores aceptables de los cuales es importante señalar que el manantial San Pedro es el que tiene el valor más alto (4.12 UNT) y los manantiales Perlamayo, Tioyacu, Sangapilla 1, San Francisco, Belén y Bagazán no presentan turbidez. Entonces después del análisis se puede decir que el líquido elemento de todos manantiales se puede usar sin problemas para consumo humano potabilizándose con desinfección, actividades agropecuarias, conservación del ambiente acuático y uso recreacional según los LMP establecidos en el DS N°002-2008-MINAM.

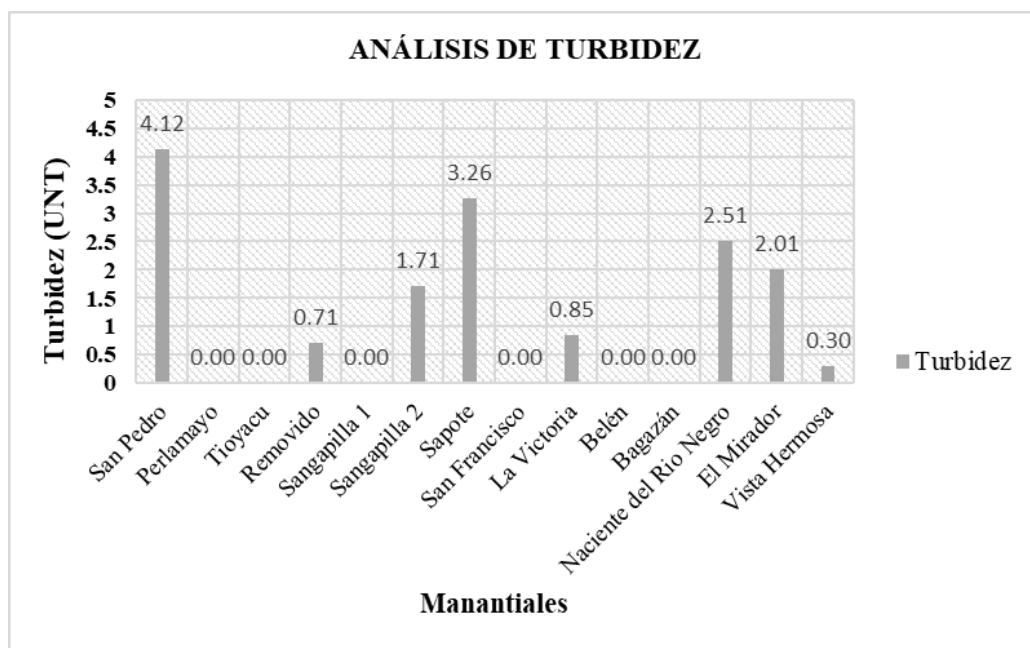


Figura 33. Valores de la turbidez de todos los manantiales inventariados y muestreados en la Subcuenca Tioyacu - El Negro.

El análisis del contenido de metales se basó en la presencia de manganeso y hierro en todos los manantiales muestreados de los cuales se obtuvo lo siguiente: según la (figura 30) los manantiales Sangapilla 2 y El Sapote son los que presentan valores de manganeso (0.8 y 0.7 mg/l) respectivamente, el cual están fuera del LMP (0.4) según DS N° 031-2010-SA, por lo tanto el líquido elemento de esos manantiales tendría dificultad para ser consumido por la población. Concerniente al hierro se observa según la figura 30 que los manantiales Sangapilla 2 y Vista hermosa tienen valores de (0.42 y 0.46 mg/l) respectivamente, el cual se encuentran fuera del LMP (0.3 mg/l); de esto se puede deducir que no puede ser consumido por la población potabilizándose con desinfección, pero si con tratamiento convencional o avanzado según el DS N°002-2008-MINAM.

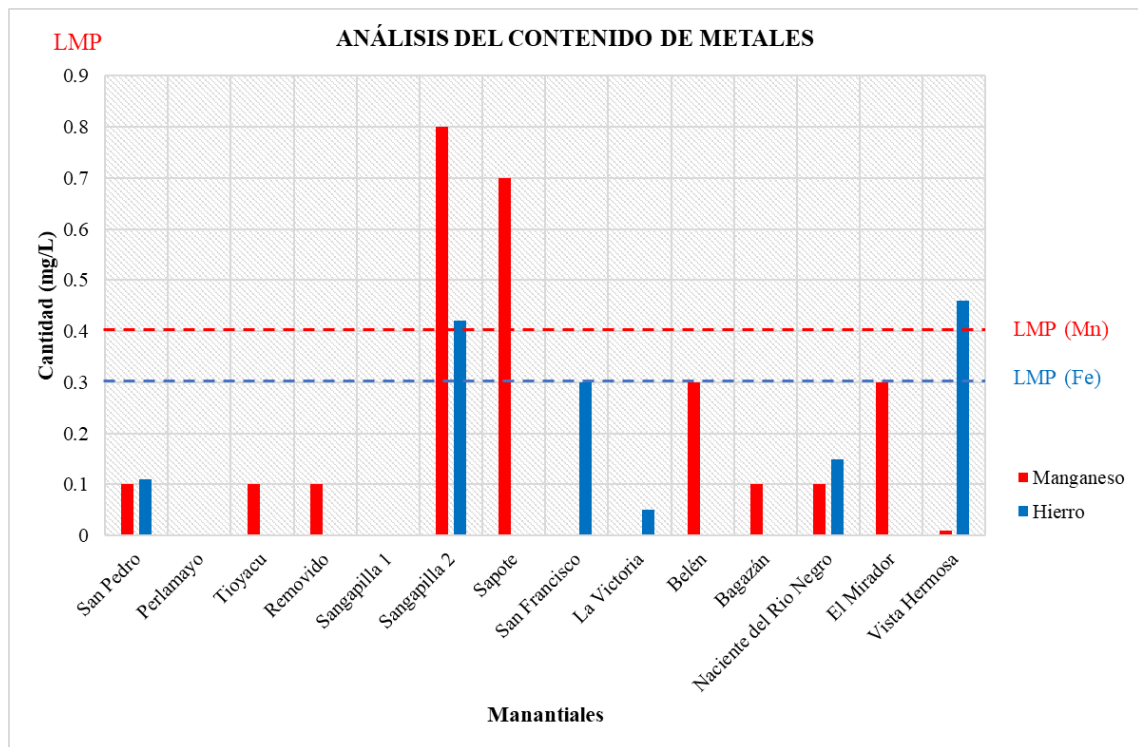


Figura 34. Análisis del contenido de metales (manganeso y hierro) en los manantiales muestreados de la Subcuenca Tioyacu – El Negro.

❖ *Análisis de Cantidad*

Después de haber realizado la medición de los caudales en los ríos principales de la Subcuenca, se encontró cantidades significativas y con gran utilidad dentro de las actividades agrícolas de la población de Elías Soplín Vargas. Siendo los ríos más importantes por su cantidad el Río Negro con mayor caudal (11280 l/s) seguido del Río Tioyacu con (1560 l/s) (ver figura 35).

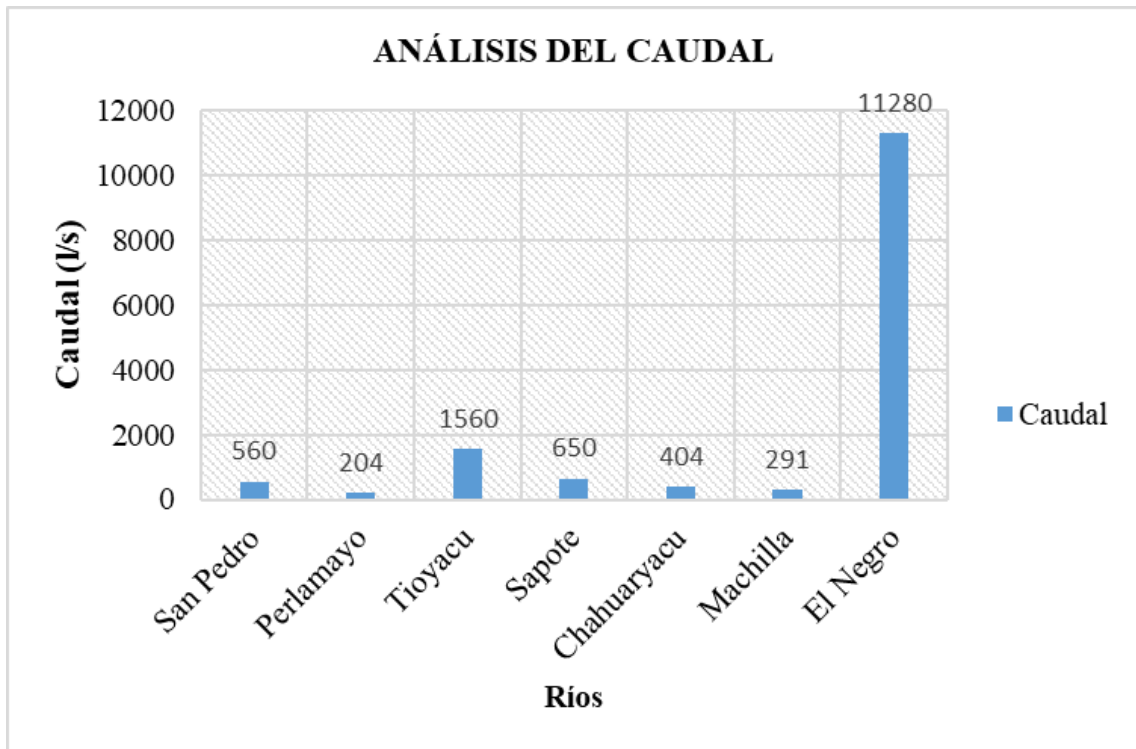


Figura 35. Valores del caudal medido en cada manantial inventariado de la Subcuenca Tioyacu – El Negro.

4.4. CONTRASTACIÓN DE LA HIPÓTESIS

Se determinó que el comportamiento geoestructural y geohidrológico de la Subcuenca Tioyacu – El Negro está condicionado por las formaciones calcáreas del Grupo Pucará, las geoestructuras, la precipitación e infiltración en cabeceras de cuencas regional y local, donde los macizos rocosos presentan pliegues, fallas regionales y locales (de desplazamiento de rumbo), morfología kárstica con flujos de agua que desembocan en la superficie mediante la presencia de una franja de manantiales en la parte baja de la Subcuenca; lo cual queda demostrado la hipótesis inicialmente planteada.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

- Mediante las estaciones geológico - estructural a nivel local, se determinó que la Subcuenca Tioyacu – El Negro se encuentra sobre unidades estratigráficas del Grupo Pucará (Fm. Chambará, Aramachay y Condorsinga), las mismas que presentan direcciones de estratos y discontinuidades favorables para la infiltración de precipitaciones, que a su vez escurren mediante flujos de agua subterránea para aflorar en manantiales en la parte baja de la Subcuenca.
- A partir del cartografiado hidrogeológico de la Subcuenca se identificó 20 manantiales, de los cuales 17 se encuentran en la parte baja entre las cotas 820 y 1000 msnm formando una franja de manantiales.
- Mediante imágenes satelitales a escala regional se pudo definir qué; las zonas de recarga a nivel regional estarían sobre Formaciones geológicas del Grupo Oriente y Formación Sarayaquillo, las mismas que tienen condiciones favorables para la formación de lagunas; el ancho de Cabeceras de Cuencas presenta 10 km aproximadamente y la distancia del Divortium Acuarium Regional hacia Segunda Jerusalén es de 30 km aproximadamente, con una cota máxima de 3993 msnm y una cota mínima de 821 msnm.
- Se determinó algunos parámetros fisicoquímicos teniendo como base el inventario de los manantiales y los resultados del análisis de los 14 manantiales muestreados indican que la calidad del agua presenta condiciones favorables para consumo humano, uso recreacional y agropecuario; así mismo el caudal de los principales ríos son muy significativos y muy importantes para el uso de la población.

- De los 21 parámetros geomorfológicos analizados de la Subcuenca Tioyacu – El Negro, se concluyó que los de mayor incidencia son: el área que tiene un valor de 146.08 km², perímetro 55.1 km, la longitud del cauce principal es de 29.27 km y el desnivel altitudinal de 3147 msnm.

5.2. RECOMENDACIONES

- La Municipalidad de Elías Soplín Vargas debe realizar el monitoreo permanente de la calidad del agua de los manantiales principales inventariados (El Negro, Tioyacu, San Francisco, Vista Hermosa), para ver la variación de estos durante las diferentes estaciones del año, ya que son principales fuentes de agua para consumo humano.
- La Municipalidad de Elías Soplín Vargas, Nueva Cajamarca y Rioja deberían determinar la dirección de flujo del agua en suelos y rocas en la subcuenca utilizando isotopía.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguilar, L. 2018.** Análisis lito morfoestructural y su relación con el comportamiento hidrogeológico en la subcuenca río hualgayoc. Hualgayoc - Cajamarca. Tesis de titulación. Cajamarca, Perú. Consulta: 25 de agosto del 2020.
- Alaya, S. 2014.** Evaluación geoestructural e hidrogeológica del centro poblado la Chorrera, Sorochuco. Tesis de titulación. Cajamarca, Perú. Consulta: 18 de agosto del 2021.
- Bastida F, 2005.** Fundamentos de la Geología. 2005
- Becerra, R. 2019.** Caracterización hidrogeológica de la microcuenca la Quispa, Crisnejas, distrito de la Encañada. Tesis de titulación. Cajamarca, Perú. Consulta: 13 de agosto del 2021.
- Carrie, J. 2004.** Manual de manejo de cuencas. Editorial, World Visión. Consulta 30 de agosto.
- Carrillo, R. & Ortiz, S. & Tavera, H. 2016.** Evaluación geológica, geodinámica y sísmica en el poblado de Aguas Claras. Consulta: 14 de mayo de 2021.
- Campos, D. 1998.** Procesos del ciclo hidrogeológico. San Luis de Potosí, Mexico. Universidad Autonoma de San Luis Potosí.
- Córdova, M. 2016.** Parámetros geomorfológicos de cuencas hidrográficas. Artículo científico. Wwwwprontubean.com.
- Custodio, E. 2001.** Aguas subterranas. Segunda Edición. Vol 1 y 2. Ediciones Omega, S.A. Barcelona 2001.
- Davila, J. 2011.** Diccionario Geológico. Lima, Perú. Ingemmet.

- Fatorelli, S. & Fernandez, P. 2011.** Diseño Hidrológico – Associazione italiana di Idronomia. (Ley de Darcy.)
- Flores, M. 2014.** Gestión integrada de los recursos hídricos, de la cuenca hidrológica del río Papagayo, estado de Guerrero. Tesis doctoral. Mexico. Consulta: 10 de octubre del 2021.
- Gil, M. 2005.** Recursos Hidrogeológicos. 29 pág.
- Gonzales de Vallejo, L. 2004.** Ingeniería Geológica. Madrid-España. Editorial Pearson Educación S.A. 744 pág.
- Horton, R. 1945,** Erosional Development of Streams and their. Drainage Basins "Hydro-Physical Approach to Quantitative Morphology", Bull. Geol. Soc. America 56.
- Ibañez, S. & Moreno, H. & Gisbert, J.** Morfología de las Cuencas Hidrográficas. Universidad Politécnica de Valencia. Consulta: 14 de mayo de 2021.
- Lillo J. & Oyarzun R, 2016.** Geología aplicada a la minería y exploración minera: Principios Básicos. Ediciones GEMM 2013.
- Llamas, J. 1989.** Hidrología General Principios y Aplicaciones. (México: Universidad Autónoma de México, C. D. 1989).
- López, L. 1998.** Restauración Hidrológica Forestal de Cuencas y Control de Erosión. Ingeniería Medioambiental, TRAGSATEC, Ministerio de Medio Ambiente. Madrid, España. Editorial Mundi Prensa. 945pág.
- López Cadenas de Llano & Mintegui Aguirre (1987).** Hidrología de Superficie. Escuela de Técnica Superior de Ingenieros de Montes. Madrid, España. Editorial Salazar. 222 pág.

- Lorca, M. 2011.** Hidrogeología e hidrogeoquímica de la cuenca de la quebrada Paipote, Región de Atacama. Tesis de magister. Santiago de Chile, Chile. Consulta: 25 de agosto del 2021.
- Lozano, A. 2017.** Evaluación geoestructural e hidrogeológica de la parte inferior de la Subcuenca Chirimayo, Sorochuco, Cajamarca. Tesis de titulación. Cajamarca, Perú. Consulta: 30 de agosto del 2021.
- Martonne, E. 1940.** Traité de Géographie Physique. Armand Colin, París.
- Mijailov, L. 1985.** Hidrogeología. Editado en Moscú. Editorial, Mir. 1989.
- Monsalve, S. 1999.** Hidrología en la ingeniería. Editorial Alfa Omega. Segunda Edición.
- Ordoñez, J. 2008.** Evaluación Y Caracterización Hidrológica En La Región Cajamarca. Gobierno Regional Cajamarca.
- Ordoñez, J. 2011.** Cuencas Hidrológicas – Sociedad geográfica de Lima, Foro Peruano para el Agua, Global Water Partnership, SENAMHI.
- Ortiz, O. (2004).** Evaluación Hidrológica. Lima-Perú. Publicación en Hidrored.
- Price, D. 2003.** La hidrología como predictor del comportamiento del precio de energía.
- Rodríguez, R. 2018.** Impactos geotécnico-ambientales en cabeceras de subcuencas por implantación de minas conga. Tesis Doctoral. Cajamarca - Perú. Consulta: 10 de setiembre del 2021.
- Rodríguez, R. 2020.** Elaboración del diagnóstico geológico, medioambiental e hidrogeológico de la ampliación de la explotación de la cantera Tioyacu. Informe. San Martín, Perú. Consulta: 28 de setiembre del 2020.

Romero, A. (1987). Morfometría de Redes Fluviales: Revisión crítica de los parámetros más utilizados y aplicación al Alto Guadalquivir. Papeles de Geografía Núm. 12, 47-62.

Stanley D. & De Wist R. 1966 . Hidrogeología. Ediciones Wiley 1966.

Strahler, A. 1964. Quantitative geomorphology of drainage basins and channel networks.
In Handbook of Applied Hydrology, edited by V. T. Chow. McGraw-Hill, New York.

Villegas J, 2004. Análisis del conocimiento en relación agua, suelo y vegetación.
Antioquia, Colombia. Consulta: 30 de octubre del 2021.

Villón M, 2002. Hidrología. Editorial Villón. Segunda Edición. Lima – Perú. 436 pag

ANEXOS

1. DATA DE CAMPO DE ALGUNOS PARÁMETROS FISCOQUÍMICOS DE LOS MANANTIALES CARTOGRAFIADOS.

Manantial San Pedro	
Medición de algunos parámetros fisicoquímicos in situ	
Ph	7.6
Temperatura	21.6 °C
Turbidez	4.12 UNT
Mn	0.1 mg Mn/l
Fe	0.11 mg Fe/l



Foto 20. Medición de parámetros fisicoquímicos del manantial San Pedro.

Manantial Perlamayo	
Medición de algunos parámetros fisicoquímicos in situ	
Ph	7.4
Temperatura	22.9 °C
Turbidez	0.0 UNT
Mn	0.0 mg Mn/l
Fe	0.0 mg Fe/l



Foto 21. Medición de parámetros fisicoquímicos del manantial Perlamayo.

Manantial Tioyacu	
Medición de algunos parámetros fisicoquímicos in situ	
Ph	7.8
Temperatura	19.7 °C
Turbidez	0.0 UNT
Mn	0.1 mg Mn/l
Fe	0.0 mg Fe/l



Foto 22. Medición de parámetros fisicoquímicos del manantial Tioyacu.

Manantial Removido	
Medición de algunos parámetros fisicoquímicos in situ	
Ph	7.3
Temperatura	22.7 °C
Turbidez	0.71 UNT
Mn	0.1 mg Mn/l
Fe	0.0 mg Fe/l



Foto 23. Medición de parámetros fisicoquímicos del manantial Removido.

Manantial Sangapilla 1	
Medición de algunos parámetros fisicoquímicos in situ	
Ph	7.2
Temperatura	23 °C
Turbidez	0.0 UNT
Mn	0.0 mg Mn/l
Fe	0.0 mg Fe/l



Foto 24. Medición de parámetros fisicoquímicos del manantial Sangapilla 1.

Manantial Sangapilla 2	
Medición de algunos parámetros fisicoquímicos in situ	
Ph	7.2
Temperatura	23.9 °C
Turbidez	1.71 UNT
Mn	0.8 mg Mn/l
Fe	0.42 mg Fe/l



Foto 25. Medición de parámetros fisicoquímicos del manantial Sangapilla 2.

Manantial Sapote	
Medición de algunos parámetros fisicoquímicos in situ	
Ph	7.4
Temperatura	21.9 °C
Turbidez	3.26 UNT
Mn	0.7 mg Mn/l
Fe	0.0 mg Fe/l



Foto 26. Medición de parámetros fisicoquímicos del manantial Sapote.

Manantial San Francisco	
Medición de algunos parámetros fisicoquímicos in situ	
Ph	8.2
Temperatura	18.5 °C
Turbidez	0.0 UNT
Mn	0.0 mg Mn/l
Fe	0.3 mg Fe/l



Foto 27. Medición de parámetros fisicoquímicos del manantial San Francisco.

Manantial La Victoria	
Medición de algunos parámetros fisicoquímicos in situ	
Ph	7.6
Temperatura	23.1 °C
Turbidez	0.85 UNT
Mn	0.0 mg Mn/l
Fe	0.05 mg Fe/l



Foto 28. Medición de parámetros fisicoquímicos del manantial La Victoria.

Manantial Belén	
Medición de algunos parámetros fisicoquímicos in situ	
Ph	7.5
Temperatura	21.9 °C
Turbidez	0.0 UNT
Mn	0.3 mg Mn/l
Fe	0.0 mg Fe/l



Foto 29. Medición de parámetros fisicoquímicos del manantial Belén.

Manantial Bagazán	
Medición de algunos parámetros fisicoquímicos in situ	
Ph	7.3
Temperatura	22.3 °C
Turbidez	0.0 UNT
Mn	0.1 mg Mn/l
Fe	0.0 mg Fe/l



Foto 30. Medición de parámetros fisicoquímicos del manantial Bagazán.

Manantial Naciente del Río Negro	
Medición de algunos parámetros fisicoquímicos in situ	
Ph	7.9
Temperatura	17.9 °C
Turbidez	2.51 UNT
Mn	0.1 mg Mn/l
Fe	0.15 mg Fe/l



Foto 31. Medición de parámetros fisicoquímicos del manantial Naciente del Río Negro.

Manantial El Mirador	
Medición de algunos parámetros fisicoquímicos in situ	
Ph	7.2
Temperatura	21 °C
Turbidez	2.01 UNT
Mn	0.3 mg Mn/l
Fe	0.0 mg Fe/l



Foto 32. Medición de parámetros fisicoquímicos del manantial El Mirador.

Manantial Vista Hermosa	
Medición de algunos parámetros fisicoquímicos in situ	
Ph	7.5
Temperatura	19.3 °C
Turbidez	0.3 UNT
Mn	0.01 mg Mn/l
Fe	0.46 mg Fe/l



Foto 33. Medición de parámetros fisicoquímicos del manantial Vista Hermosa.

2. DATA DE CAMPO DE PARA CÁLCULO DE CAUDAL (Q)

Fórmulas usadas para determinar el caudal.

$$Q = V \times A \quad ; \quad V = \frac{d}{t}$$

Donde:

Q : Caudal
 V : Velocidad
 A : Área
 d : Distancia
 t : Tiempo

A. Cálculo del caudal en el río Perlamayo

Cálculo de Velocidad		Cálculo de Área		
Lanzamientos		Profundidad	Centimetros	
Tiempo	Segundos	Prof. 1	16	
Tiempo 1	15.8	Prof. 2	17	
Tiempo 2	16.8	Prof. 3	17	
Tiempo 3	15.6	Prof. 4	15	
Tiempo 4	15.5	Prof. 5	15	
Tiempo 5	15.5	Prof. 6	14	
Tiempo Promedio	15.8	Prof. 7	10	metros
Distancia del recorrido (m)		Prof. Promedio	14	0.14
10		Ancho del río (m)		
Velocidad (m/s)		2.4		
0.6		Área (m2)		
		0.34		

Cálculo del caudal	
Velocidad (m/s)	0.6
Área (m2)	0.34
Caudal (m3/s)	0.204
Caudal (l/s)	204



Foto 34. Medición del caudal (Q) en el río Perlamayo.

B. Cálculo del caudal en el río San Pedro

Cálculo de Velocidad		Cálculo de Área		
Lanzamientos		Profundidad	Centímetros	
Tiempo	Segundos	Prof. 1	44	
Tiempo 1	29.17	Prof. 2	54	
Tiempo 2	26.06	Prof. 3	40	
Tiempo 3	24.4	Prof. 4	32	
Tiempo 4	27.04	Prof. 5	29	
Tiempo 5	21.05	Prof. 6	29	
Tiempo 6	30.9	Prof. 7	17	metros
Tiempo Promedio	26.4	Prof. Promedio	35	0.35
Distancia del recorrido (m)		Ancho del río (m)		
10		4		
Velocidad (m/s)		Área (m ²)		
0.4		1.4		

Cálculo del caudal	
Velocidad (m/s)	0.40
Área (m ²)	1.4
Caudal (m ³ /s)	0.560
Caudal (l/s)	560



Foto 35. Medición del caudal (Q) en el río San Pedro.

C. Cálculo del caudal en el río Machilla

Cálculo de Velocidad	
Lanzamientos	
Tiempo	Segundos
Tiempo 1	36.9
Tiempo 2	28.5
Tiempo 3	44.9
Tiempo 4	32.4
Tiempo 5	33.6
Tiempo 6	26.92
Tiempo 7	28.39
Tiempo 8	29.6
Tiempo 9	27.9
Tiempo 10	40.89
Tiempo Promedio	33
Distancia del recorrido (m)	10
Velocidad (m/s)	0.3

Cálculo de Área		
Profundidad	Centímetros	
Prof. 1	19	
Prof. 2	20	
Prof. 3	22	
Prof. 4	25	
Prof. 5	23	
Prof. 6	24	
Prof. 7	22	
Prof. 8	18	
Prof. 9	10	metros
Prof. Promedio	20.3	0.203
Ancho del río (m)	4.8	
Área (m²)	0.97	

Cálculo del caudal	
Velocidad (m/s)	0.30
Área (m ²)	0.97
Caudal (m ³ /s)	0.291
Caudal (l/s)	291



Foto 36. Medición del caudal (Q) en el río Machilla.

D. Cálculo del caudal en el río Sapote

Cálculo de Velocidad	
Lanzamientos	
Tiempo	Segundos
Tiempo 1	46.52
Tiempo 2	36.06
Tiempo 3	38.76
Tiempo 4	42.67
Tiempo 5	38.26
Tiempo Promedio	40.5
Distancia del recorrido (m)	
10	
Velocidad (m/s)	
0.25	

Cálculo de Área		
Profundidad	Centímetros	
Prof. 1	39	
Prof. 2	58	
Prof. 3	60	
Prof. 4	56	
Prof. 5	52	
Prof. 6	53	
Prof. 7	54	
Prof. 8	53	
Prof. 9	50	
Prof. 10	50	metros
Prof. Promedio	52.5	0.525
Ancho del río (m)		
4.9		
Área (m ²)		
2.6		

Cálculo del caudal	
Velocidad (m/s)	0.25
Área (m ²)	2.6
Caudal (m ³ /s)	0.650
Caudal (l/s)	650



Foto 37. Medición del caudal (Q) en el río Sapote.

E. Cálculo del caudal en el río Chahuaryacu

Cálculo de Velocidad		Cálculo de Área		
Lanzamientos		Profundidad	Centímetros	
Tiempo	Segundos	Prof. 1	44	
Tiempo 1	60	Prof. 2	54	
Tiempo 2	52	Prof. 3	59	
Tiempo 3	54	Prof. 4	58	
Tiempo 4	41	Prof. 5	66	
Tiempo 5	44	Prof. 6	60	
Tiempo Promedio	50.2	Prof. 7	47	
Distancia del recorrido (m)		Prof. 8	32	
10		Prof. 9	23	metros
Velocidad (m/s)		Prof. Promedio	49.2	0.492
0.20		Ancho del río (m)		
		4.1		
		Área (m²)		
		2.02		

Cálculo del caudal	
Velocidad (m/s)	0.20
Área (m ²)	2.02
Caudal (m ³ /s)	0.404
Caudal (l/s)	404



Foto 38. Medición del caudal (Q) en el río Chahuaryacu.

F. Cálculo del caudal en el río Tioyacu

Cálculo de Velocidad	
Lanzamientos	
Tiempo	Segundos
Tiempo 1	76
Tiempo 2	44
Tiempo 3	73
Tiempo 4	62
Tiempo 5	45
Tiempo Promedio	60
Distancia del recorrido (m)	
20	
Velocidad (m/s)	
0.3	

Cálculo del caudal	
Velocidad (m/s)	0.3
Área (m ²)	5.2
Caudal (m ³ /s)	1.560
Caudal (l/s)	1560

Cálculo de Área		
Profundidad	Centímetros	
Prof. 1	24	
Prof. 2	35	
Prof. 3	44	
Prof. 4	45	
Prof. 5	49	
Prof. 6	53	
Prof. 7	57	
Prof. 8	57	
Prof. 9	58	
Prof. 10	58	
Prof. 11	58	
Prof. 12	60	
Prof. 13	59	
Prof. 14	53	
Prof. 15	51	
Prof. 16	48	
Prof. 17	44	
Prof. 18	38	
Prof. 19	34	
Prof. 20	29	
Prof. 21	25	
Prof. 22	21	metros
Prof. Promedio	45.5	0.455
Ancho del río (m)		
11.4		
Área (m²)		
5.2		



Foto 39. Medición del caudal (Q) en el río Chahuaryacu.

G. Cálculo del caudal en el río Negro

Cálculo de Velocidad	
Lanzamientos	
Tiempo	Segundos
Tiempo 1	33
Tiempo 2	45
Tiempo 3	23.5
Tiempo 4	24.5
Tiempo 5	21
Tiempo 6	20
Tiempo 7	21.6
Tiempo 8	16.72
Tiempo 9	19.5
Tiempo 10	23.2
Tiempo Promedio	24.8
Distancia del recorrido (m)	
15	
Velocidad (m/s)	
0.6	

Cálculo del caudal	
Velocidad (m/s)	0.6
Área (m ²)	18.8
Caudal (m ³ /s)	11.280
Caudal (l/s)	11280



Foto 40. Medición del caudal (Q) en el río Negro.

Cálculo de Área		
Profundidad	Centímetros	
Prof. 1	10	
Prof. 2	15	
Prof. 3	23	
Prof. 4	23	
Prof. 5	34	
Prof. 6	60	
Prof. 7	53	
Prof. 8	49	
Prof. 9	39	
Prof. 10	40	
Prof. 11	44	
Prof. 12	39	
Prof. 13	44	
Prof. 14	54	
Prof. 15	62	
Prof. 16	66	
Prof. 17	74	
Prof. 18	61	
Prof. 19	70	
Prof. 20	66	
Prof. 21	65	
Prof. 22	69	
Prof. 23	65	
Prof. 24	69	
Prof. 25	63	
Prof. 26	58	
Prof. 27	63	
Prof. 28	58	
Prof. 29	42	
Prof. 30	35	
Prof. 31	35	
Prof. 32	31	
Prof. 33	41	
Prof. 34	37	
Prof. 35	32	
Prof. 36	33	
Prof. 37	25	
Prof. 38	23	
Prof. 39	19	
Prof. 40	27	
Prof. 41	33	
Prof. 42	20	
Prof. 43	14	metros
Prof. Promedio	43.8	0.438
Ancho del río (m)		
43		
Área (m²)		
18.8		

3. **P-01: PLANO SATELITAL REGIONAL**
4. **P-02: PLANO GEOLÓGICO – ESTRUCTURAL REGIONAL**
5. **P-03: IMAGEN SATELITAL LOCAL**
6. **P-04: MODELO DIGITAL DE ELEVACIONES**
7. **P-05: PLANO GEOLÓGICO - ESTRUCTURAL LOCAL**
8. **P-06: UNIDADES HIDROGRÁFICAS**
9. **P-07: UNIDADES MORFOGENÉTICAS**