

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA



TESIS

**HIDROGEOLOGÍA DE LA MICROCUENCA DEL RÍO CHONTA, EN EL DISTRITO DE
BAÑOS DEL INCA**

Para optar el Título Profesional de:

INGENIERO GEÓLOGO

Presentado por:

Bach. Yoel Ángel Merino Huaripata,

Asesor:

Mcs. Ing. José Alfredo Siveroni Morales

CAJAMARCA – PERÚ

2017

AGRADECIMIENTO

A mi alma máter, la Universidad Nacional de Cajamarca y a todos los docentes de la Escuela Académico Profesional de Ingeniería Geológica, por los conocimientos y experiencias brindados y a todas las personas que de una u otra manera me han apoyado para la realización de la presente tesis.

DEDICATORIA

A Dios, por todo lo que me da.

A mis padres Paula y Miguel por su amor y apoyo incondicional, los que siempre me incentivan a seguir luchando por alcanzar mis metas.

A mis hermanas, por ser mi apoyo en cada momento y el complemento que me ayuda a seguir adelante.

ÍNDICE DE CONTENIDO

	Pág.
AGRADECIMIENTO	ii
DEDICATORIA	iii
ÍNDICE DE TABLAS	vi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	vii
RESUMEN.....	ix
ABSTRACT	x
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	3
2.1. ANTECEDENTES TEÓRICOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	3
2.2. BASES TEÓRICAS.....	5
2.2.1. CUENCA HIDROGRÁFICA.....	5
2.2.2. PARÁMETROS GEOMORFOLÓGICOS DE UNA CUENCA.....	5
2.2.3. EL CICLO HIDROLÓGICO.....	13
2.2.4. LEY DE DARCY.....	15
2.2.5. TEORÍA DE DRENAJE.....	15
2.2.6. PARÁMETROS HIDROGEOLOGÍCOS.....	17
2.2.7. FORMACIONES GEOLÓGICAS COMO ACUÍFEROS	19
2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS.....	24
CAPÍTULO III: MATERIALES Y MÉTODOS.....	27
3.1. GENERALIDADES	27
3.1.1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA	27
3.1.2. UBICACIÓN POLÍTICA.....	27
3.1.3. ACCESIBILIDAD.....	27
3.1.4. CLIMA Y VEGETACIÓN	28
3.1.5. REGIONES NATURALES.....	30
3.1.6. GEOLOGÍA.....	31
3.1.7. GEOLOGÍA ESTRUCTURAL.....	36
3.1.8. GEOMORFOLOGÍA.....	39
3.1.9. HIDROLOGÍA	43
3.1.10. MATERIALES Y EQUIPOS.....	45
3.1.11. MÉTODOS.....	45
CAPÍTULO IV: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	52
4.1. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS.....	52
4.1.1. MARCO GEOLÓGICO.....	53
4.1.2. PARÁMETROS GEOMORFOLÓGICOS DE UNA CUENCA.....	54
4.1.3. ANÁLISIS DE UNIDADES HIDROGEOLOGÍCAS.....	63

	Pág.
4.1.4. CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA	75
CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	77
5.1. CONCLUSIONES	77
5.2. RECOMENDACIONES	78
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	79
ANEXOS.....	83

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1: Formas de la cuenca de acuerdo al índice de compacidad	7
Tabla 2: Clasificación de materiales sedimentarios	20
Tabla 3: Características de almacenamiento de las rocas.....	20
Tabla 4: Valores de porosidad (%).	20
Tabla 5: Clasificación aproximada de materiales no consolidados en relación a su permeabilidad.	21
Tabla 6: Coordenadas de la Zona de Estudio. Datum WGS - 84.....	27
Tabla 7: Principales accesos a la zona de estudio	28
Tabla 8: Comportamiento de la Temperatura. A Weberbauer – Cajamarca.	28
Tabla 9: El clima en Cajamarca.....	29
Tabla 10: Regiones Naturales.	30
Tabla 11: Inventario de fuentes de agua.	47
Tabla 12: Caracterización hidrogeológica.....	50
Tabla 13: Significado de los colores usados para elaborar un mapa hidrogeológico.	51
Tabla 14: Codificación Pfafstetter de la Microcuenca del río Chonta	52
Tabla 15: Niveles de las unidades hidrográficas menores, cuencas – intercuenas.	53
Tabla 16: Parámetros Básicos de la microcuenca – Área.....	54
Tabla 17: Clasificación de los Sistemas hidrológicos.....	54
Tabla 18: forma de la microcuenca del río Chonta	55
Tabla 19: Clasificación de valores de forma	56
Tabla 20: Grado de ramificación	56
Tabla 21: Densidad de Drenaje.....	58
Tabla 22: Desnivel altitudinal.....	59
Tabla 23: Curva Hipsométrica	59
Tabla 24: Altura media de la microcuenca.....	61
Tabla 25: Rangos aproximados de la pendiente de la cuenca.....	61
Tabla 26: Lados del rectángulo equivalente.	62
Tabla 27: Coeficiente de masividad.....	62
Tabla 28: Inventario de Ríos – Microcuenca Chonta	64
Tabla 29: Inventario de fuentes de agua	65
Tabla 30: Valores estimados de la conductividad hidráulica (metros /día).....	69
Tabla 31: Valores de permeabilidad – K (m/día) y porosidad eficaz – m (%) para las formaciones geológicas de la microcuenca del río Chonta.	70
Tabla 32: Caracterización hidrogeológica de las formaciones presentes en la microcuenca del río Chonta – Baños del Inca.	76

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1: Clasificación de las Unidades Hidrográficas, (Adaptado por Casaverde, 2011)	5
Figura 2: División de una cuenca hidrográfica. (Faustino, 2012.)	6
Figura 3: Jerarquización de los drenajes de una cuenca. (Horton y Strahler, 1952)	9
Figura 4: Curva hipsométrica, A. Fase de juventud, B. Fase de madurez, C. Fase de vejez. (Moreno y Blanquer, 2000).	11
Figura 5: Curva de frecuencia de altitudes. (Moreno y Blanquer, 2000)	12
Figura 6: Representación del Ciclo Hidrológico. (Ordoñez, 2012).	14
Figura 7: Ley de Darcy aplicada en entornos con suelos y rocas. (Nuñez, 2004).	15
Figura 8: Tipos de drenaje. (Leopold, 1964).	17
Figura 9: Tipos de acuíferos según su textura. (González, 2004).	19
Figura 10: Tipos de acuíferos – Comportamiento hidráulico. (Odong, 2013.)	24
Figura 11: Mapa de precipitación mensual en la cuenca de Cajamarca, niveles de precipitación para los meses del año 2011, similitud estacional con variaciones ligeras por año. (Weberbauer, 2011).	29
Figura 12: Vista panorámica del valle – Shaullo, se observa la vegetación. (Eucalipto, tierras de cultivo, pastos.)	30
Figura 13: Derecha: Quebrada Shaullo, se evidencian afloramientos de la Formación Carhuáz; Izquierda. Areniscas con lutitas grises y matices violetas pertenecientes a la Formación Carhuáz	31
Figura 14: Vista panorámica de la Formación Farrat en el cerro Callacpuma, Flanco SE del anticlinal de Baños del Inca.	32
Figura 15: Areniscas Calcáreas, lutitas ferruginosas y evidencias de limonitización en la Formación Inca al NE del Anticlinal de Baños del Inca.	32
Figura 16: Calizas arenosas, lutitas y margas de la Formación Chulec. Ubicado al flanco Noreste del anticlinal de Baños del Inca.	33
Figura 17: Estratos de Calizas intercalado con lutitas bituminosas de la Formación Pariatambo, en corte de carretera Baños del Inca a La Encañada.	34
Figura 18: Secuencias de margas y calizas de la Formación Yumagual, ubicado en la Quebrada Pullucana	34
Figura 19: Calizas nodulares, intercaladas con margas y lutitas amarillentas, Formación Quilquiñán Mujarrún.	35
Figura 20: Calizas de la Formación Cajamarca. Vista panorámica del cerro Coñor Loma desde el cerro San Pedro.	35
Figura 21: Margas y lutitas de la Formación Celendín, ubicado en el sector Alto Otuzco.	36
Figura 22: Mapa estructural, Principales plegamientos, orientación NW – SE (Lagos; 2011)	37
Figura 23: Interpretación de la secuencia Cretácica en Baños del Inca. (Bazán y Cerdán, 2009)	38
Figura 24: Evidencias de fallas normales, presentes en la Formación Yumagual, ubicado en el Sector Ligliconga al NW.	39
Figura 25: Laderas de 45° aproximadamente, este tipo de geomorfología se observa cerca al lecho de río Chonta, de Forma “V” características de los valles juveniles.	40

	Pág.
Figura 26: Escarpes cercanos a los lechos de ríos y quebradas, debido a la constante erosión, Quebrada de Shaullo.	41
Figura 27: Lomadas formadas en las Formaciones Chulec y Pariatambo, Sector Licliconga.....	41
Figura 28: Planicies, terrenos con pendiente de 1° – 3°. Sector Shaullo Chico.....	42
Figura 29: Vista panorámica, Valle en V, Sector Luichupucro Alto.....	42
Figura 30: Porcentaje de Orden de ríos.	57
Figura 31: Curva Hipsométrica microcuenca del río Chonta	59
Figura 32: Curva de frecuencia de altitudes.....	60
Figura 34: Vista panorámica del valle del Distrito de Baños del Inca – Cerro Callacpuma	85
Figura 35: Detalle de las dimensiones de los estratos de la Formación Farrat.....	85
Figura 36: Afloramientos de la Formación Inca se observa la característica coloración rojiza.....	85
Figura 37: Detalle de la Formación Chulec, altos niveles de intemperismo, flanco NE del anticlinal de Baños del Inca.	86
Figura 38: Calizas grises de la Formación Cajamarca, ubicado a los alrededores de Ligliconga.	86
Figura 39: Vista panorámica de lomadas, NW del caserío Lucrupucro Alto	86
Figura 40: vista panorámica de la topografía en el sector Luichupucro Alto.....	87
Figura 41: Predominan en toda el área de estudio Valles en forma de V, Sector Rosapampa.	87
Figura 42: Punto más alto de la cuenca del río Chonta dentro del distrito de Baños del inca.....	88
Figura 43: Fuentes representativas inventariadas. 1. Manantial La Peña en La Carahuanga (C-C1-047) 2. Manantial El Tandal en Chinchin Otuzco (C-CO-068) 3. Manantial La Saca en caserío Shiltaloma (C-SH-084) 4. Manantial La Retama en La Retama (C-LR-102)	88
Figura 44: Fuentes representativas inventariadas. 1. Manantial Pampa Iracusco en Puylucana (C-PUY-098) 2. Manantial Parc. Carlos Ronca en Chinchin Tres Cruces (C-CTC-112) 3. Manantial SN en caserío Shaullo Chico (C-SC-109) 4. Manantial SAP en Chinchin Tres Cruces (C-CTC-113).....	89

RESUMEN

El presente estudio hidrogeológico fue desarrollado en la microcuenca del Río Chonta, delimitado por el Distrito de Baños del Inca, ubicado en la Provincia y Departamento de Cajamarca, con la finalidad de obtener mayor información del comportamiento hidrogeológico y contar con esta información para futuros proyectos involucrados con el uso del agua, surge la pregunta: ¿Qué características presentan las unidades hidrogeológicas de la Microcuenca del río Chonta en Baños del Inca?, teniendo como objetivo principal estudiar la hidrogeología de la microcuenca del río Chonta, planteamos que al estudiar las características hidrogeológicas determinaremos el tipo y el comportamiento de acuíferos en la Microcuenca del río Chonta en Baños del Inca, por lo que se realizó la recolección de datos que incluyen análisis de rocas, inventario de ríos, quebradas, manantiales; y análisis los parámetros geomorfológicos; observándose que el comportamiento de los acuíferos está ligado a las propiedades hidráulicas, principalmente a la porosidad eficaz y permeabilidad, finalmente se identificaron tres tipos de acuíferos: Acuitardo: Formaciones Carhuáz, Inca, Chulec, Pariatambo, Yumagual, Quilquiñam Mujarrun, Celendín; Acuíferos en rocas fracturas: Formación Farrat. Acuíferos en rocas fracturas y Kársticas: Formación Cajamarca.

Palabras claves: Hidrogeología, Hidrología, Acuífero, Microcuenca, recarga.

ABSTRACT

The present hydrogeological study was developed in the microbasin of Río Chonta, delimited by the Baños del Inca District, located in the Province and Department of Cajamarca, in order to obtain more information on the hydrogeological behavior and to have this information for future projects. Involved With the use of water, the question arises: What are the characteristics of the hydrogeological characteristics of the Chonta River basin in Baños del Inca?, Whose main objective is to study the hydrogeology of the Chonta river basin, we propose to study the hydrogeological characteristics. The type and behavior of aquifers in the microbasin of Río Chonta in Baños del Inca, so data collection was performed, offering analysis of rocks, inventory of rivers, streams, springs; And analysis of the geomorphological parameters; Acknowledging that aquifer behavior is connected to hydraulic properties, mainly to effective porosity and permeability, three types of aquifers were finally identified: Acuitardo: Formations: Carhuáz, Inca, Chulec, Pariatambo, Yumagual, Quilquiñam Mujarrun and Celendín; Aquifers in rock fractures: Formation Farrat. Aquifers in rocks fractures and karst: Formation Cajamarca.

Keywords: Hydrogeology, Hydrology, Aquifer, Microbasin, recharge.

CAPÍTULO I.

INTRODUCCIÓN

Los recursos hídricos son el bien de mayor preocupación de la humanidad, con los años ha tenido mayor demanda por crecimiento poblacional, expansión urbana, uso agrícola entre otras, el manejo integrado de los recursos hídricos se basa en la noción de que el agua forma parte integrante de un ecosistema y constituye un recurso natural y un bien social y económico cuya calidad y cantidad determinan la naturaleza de su utilización.

La gestión de recursos hídricos en nuestro país está abocada principalmente al uso aguas superficiales dejando de lado los recursos hídricos subterráneos por este motivo centramos la principal atención al estudio hidrogeológico de la microcuenca río Chonta; en la zona de estudio se encuentran las Formaciones: Carhuáz, Farrat, Inca, Chulec, Pariatambo Yumagual, Quilquiñan Muujarrum, Cajamarca y Celendín, además de depósitos cuaternario lagunar, fluvial y rocas volcánicas, las cuales están conformadas desde areniscas, lutitas, limolitas y calizas, que son rocas que se comportan como acuíferos y acuítardos según las investigaciones a nivel regional.

La existencia de manantiales da indicios de rocas permeables; por lo que es importante conocer ¿Qué características presentan las unidades hidrogeológicas de la Microcuenca del río Chonta en Baños del Inca?, para así realizar un estudio hidrogeológico más detallado que permita conocer las características hidrogeológicas y el comportamiento de los acuíferos en la Microcuenca del río Chonta en Los Baños del Inca.

La investigación tiene como objetivo Estudiar la hidrogeología de la microcuenca del río Chonta, en el Distrito de Baños del Inca y como objetivos específicos Realizar el cartografiado geológico e hidrológico de la Microcuenca del río Chonta,

Calcular los parámetros geomorfológicos, interpretar las unidades hidrogeológicas y analizar las relaciones entre las zonas de recarga, los acuíferos y los manantiales.

Esta investigación se justifica por el motivo de obtener mayor información del comportamiento hidrogeológico de la Microcuenca del río Chonta y contar con esta información para futuros proyectos involucrados con el uso de agua, siendo éstos principalmente los motivos para realizar el estudio, la geología, la geomorfología y los alineamientos estructurales, son los principales factores del comportamiento de los acuíferos y del escurrimiento superficial, para lo cual se realiza el cartografiado geológico, hidrogeológico, ubicación de principales manantiales, identificación de posibles acuíferos y medición del caudal en la microcuenca.

La presente investigación sigue el siguiente orden de capítulos:

CAPÍTULO II. En el marco teórico de esta investigación, se mencionan algunos autores con sus respectivos libros u obras, con la finalidad de establecer una relación con cada una de ellas y servir de base, para el realce y sostenimiento de la misma.

CAPÍTULO III. Muestra la ubicación geográfica del área en estudio, su accesibilidad, clima y vegetación, temperaturas (Máximas y mínimas) precipitaciones, relieve, hidrología y drenajes. Este capítulo incluye el procedimiento de investigación, definido en tres pasos: la etapa preliminar, la etapa de campo y la etapa de gabinete. Finaliza con el tratamiento, análisis de datos y resultados.

CAPÍTULO IV. Este capítulo corresponde al análisis y discusión de resultados, donde se explica los resultados siguiendo la secuencia de los objetivos planteados y se contrasta la hipótesis

CAPÍTULO V. Muestra las conclusiones y recomendaciones del trabajo de investigación, respondiendo a los objetivos planteados, tanto principal como secundarios en el inicio del mismo, verificando el desarrollo y logro de los mismos.

Finalmente, éste estudio constituirá una base de conocimiento hidrogeológico de la Microcuenca del río Chonta, lo que servirá como base para la elaboración de posteriores estudios en cuencas aledañas.

CAPÍTULO II.

MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES TEÓRICOS DE LA INVESTIGACIÓN

Ascurra. (2014). Caracterización geológica e hidrogeológica de la microcuenca Shaullo, Baños Del Inca-Cajamarca, se busca la relación que existe entre los acuíferos y manantiales presentes en la microcuenca Shaullo.

Carlotta y Peña. (2012). Estudio de hidrogeología regional del proyecto Conga y alrededores del Departamento de Cajamarca; presentan dos mapas, geológico e hidrogeológico a escala 1:50,000. Esta zona se localiza en la Cordillera Occidental del norte del Perú.

Zavala y Rosado. (2011). Riesgo geológico en la región Cajamarca Boletín N 44.Serie C, Geodinámica e ingeniería geológica, donde se realiza un inventario general de todos los riesgos a los que está expuesta la región Cajamarca.

Chuquiruna. (2009) Caracterización estratigráfica y estructural de la Subcuenca Chonta – Los Baños del Inca. Se detalla gran parte de la Geología estructural del área de estudio.

Gálvez y Ordoñez. (2008). Evaluación Y Caracterización Hidrológica En La Región Cajamarca. Se analiza el comportamiento, distribución y variabilidad espacial y temporal, de las principales variables que conforman el ciclo hidrológico (precipitación y caudales), en la región Cajamarca

Zavala y Barrantes. (2007). Zonas críticas por peligros geológicos y geohidrológicos en la región Cajamarca. Se determina el grado de peligrosidad de las ocurrencias recientes y se citan importantes aspectos hidrogeológicos en toda la región Cajamarca.

Peña. (2005-2007). En su estudio sobre las fuentes termales de Cajamarca y Churín, concluye que las fuentes termales y minerales en Baños del Inca-Cajamarca incluyen dos grupos de fuentes, Tragadero y Perolitos, el ambiente donde se formaron son areniscas cuarzosas del acuífero Chimú.

Peña. (2006). Realizó un estudio hidrogeológico de La cuenca del Río Jequetepeque, denominado: Mapa hidrogeológico de la cuenca del río Jequetepeque: regiones Cajamarca y La Libertad, concluyendo que las aguas subterráneas y las condiciones geológicas se encuentran altamente relacionadas, señala también que los parámetros hidrogeológicos están relacionados a las propiedades hidráulicas de las unidades geológicas y presentan el mapa hidrogeológico de la cuenca Jequetepeque a escala 1:100,000 muestran una clasificación de acuíferos.

Crisólogo. (2006). Clasifican y delimitan las unidades litoestratigráficas en base a los estudios realizados por el Instituto Geológico Minero y Metalúrgico, análisis e interpretación de fotografías aéreas y trabajo de campo.

Ayala. (2005). Realizó aportes al programa de prevención y medidas de mitigación ante desastres naturales, donde se exponen diversos aspectos geológicos de las Región Cajamarca.

Tafur. (1950). Nota Preliminar de la Geología del Valle de Cajamarca, Perú, (tesis doctoral) detalla la caracterización geológica general de la cuenca de Cajamarca, el comportamiento litoestratigráfico de las rocas Cretáceas, estructuras, fallamientos y zonas mineralizadas.

2.2. BASES TEÓRICAS.

2.2.1. CUENCA HIDROGRÁFICA.

El manual de manejo de cuencas (World Vision), denomina a una cuenca hidrográfica como un 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; además, una cuenca se puede dividir en unidades de análisis más pequeñas como subcuencas, microcuencas y quebradas.



Figura 1: Clasificación de las Unidades Hidrográficas, (Adaptado por Casaverde, 2011)

2.2.2. PARÁMETROS GEOMORFOLÓGICOS DE UNA CUENCA.

Faustino señala que las características físicas de una cuenca forman un conjunto que influye profundamente en el comportamiento hidrológico de dicha zona, tanto a nivel de las precipitaciones como de las respuestas de la cuenca tomada como un sistema. Así pues, el estudio de los parámetros físicos de las cuencas es de gran utilidad, pues en base a ellos se puede lograr una transferencia de información de un lugar a otro, donde exista poca información: bien sea que fallen datos, bien que haya carencia total de información en los registros hidrológicos, si existe cierta semejanza geomorfológica y climática de las zonas en cuestión. Las características geomorfológicas de una cuenca son las siguientes:

a) Superficie de la cuenca: Considerada como uno de los parámetros más importantes, se define como la proyección horizontal de todo el sector de drenaje, dirigido directa o indirectamente a un mismo cauce natural.

Área total de la cuenca y área de drenaje (A). El área total del drenaje de la cuenca hidrográfica.

Área de la cuenca de recepción (Ac). Es el área donde ocurre la mayor cantidad de precipitación promedio, generalmente comprendida desde la parte alta de cuenca.

Área de la cuenca húmeda (Ah). Zonas donde la precipitación media anual es mayor.

Perímetro (P). Longitud de los contornos de la cuenca o longitud de la línea de divortium, influye tanto en la forma como en el tiempo de concentración en ella.

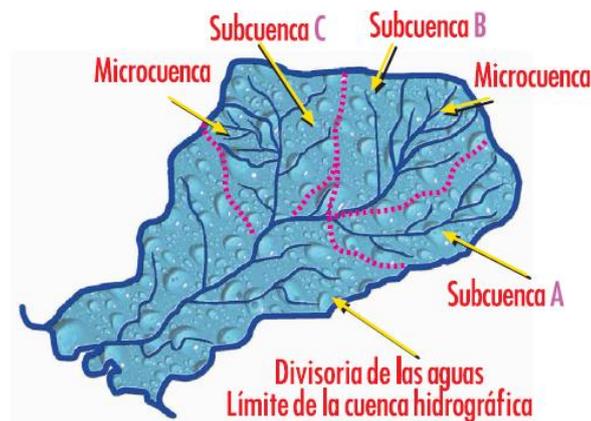


Figura 2: División de una cuenca hidrográfica. (Faustino, 2012.)

b) Forma de la cuenca: La forma de la cuenca definitivamente afecta las características de la descarga de la corriente, principalmente en eventos de flujo máximo. En general, los escurrimientos de un cauce de forma circular serán diferentes a los de otra, estrecha y alargada, de la misma área.

Está determinada por las condiciones geológicas y de esta depende la distribución de las descargas de agua, así mismo es responsable de las características que tienen las crecientes, condicionando su tiempo de concentración. Para cuantificar estas características se realizó por medio de índices o coeficientes, los cuales son:

Índice de Gravelius o Coeficiente de compacidad (Kc).- Este índice da la idea de la forma de la cuenca (Gravelius, 1914). Expresa la relación entre el perímetro de la cuenca y el perímetro de una circunferencia; con la misma área (la fórmula descrita a continuación representa esta relación). Se trata de explicar la influencia del perímetro y el área de una cuenca con la escorrentía. Si K=1, la cuenca tendrá forma circular; si K>1 se tiene una cuenca alargada, donde las probabilidades de que ésta sea cubierta en su totalidad por precipitaciones es baja, lo que afecta el tipo de respuesta que se presenta en el río.

Si se tiene que: $Kc = \frac{P}{Po}$ $Kc = \frac{P}{2\pi r}$

Además: $A = \pi r^2 \rightarrow r = \sqrt{A/\pi}$

Entonces: $Kc = \frac{P}{2\pi \sqrt{\frac{A}{\pi}}} = \frac{P}{2\sqrt{\pi A}}$ $Kc = 0.282 \frac{P}{\sqrt{A}}$

Donde:

P : Perímetro de la cuenca.

Po : Perímetro de un círculo de igual área.

A : Área promedio de la cuenca.

Tabla 1: Formas de la cuenca de acuerdo al índice de compacidad

Clase de forma	Índice de compacidad (Kc)	Forma de la cuenca
Clase I	0.1 a 1.25	Casi redonda a oval - redonda
Clase II	1.26 a 1.50	Oval - redonda a oval - oblonga
Clase III	1.51 a 1.75	Oval - oblonga a rectangular-oblonga

Fuente: (Campos, 1998)

Factor de Forma (Ff).- Es un factor comparativo de crecientes con otras cuencas del mismo tamaño. Relaciona el área de la cuenca y la longitud axial de la misma (longitud de máximo recorrido de agua más largo desde la desembocadura, hasta la cabecera más distante de la cuenca). Este factor está ligado a las súbitas crecientes del cauce y la tendencia de concentración de lluvias.

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

Dónde:

A : Área de la cuenca

L : Longitud axial de la cuenca

Relación de Elongación (Re).- Fue propuesto por Shumn S, es adimensional, se define como la relación entre el diámetro (D) de un círculo que tiene igual área (A) que la cuenca y la longitud (L) de la misma. Este valor varía entre 0.60 y 1.00 para una amplia variedad de climas y materiales geológicos, además está fuertemente correlacionada con el relieve de la cuenca, de manera que valores cercanos a la unidad son típicos de regiones con relieve bajo, en cambio donde varía de 0.60 a 0.80 se trata de fuertes relieves y pendientes pronunciadas del terreno.

$$Re = 1.1284 \frac{\sqrt{A}}{L}$$

Dónde:

A : Área de la cuenca

L : Longitud axial de la cuenca

c) Sistema de drenaje: Este parámetro se refiere a las trayectorias o a la ocupación que guardan entre sí con el cauce principal y sus tributarios los cuales manifiestan la eficiencia del sistema de drenaje, además nos proporciona indicios sobre las condiciones físicas del suelo y de la superficie de la cuenca, Horton y Strahler 1952. El análisis del sistema de drenaje se realiza en base a:

Orden de las corrientes de agua. La jerarquización se relaciona con el caudal relativo. Hay varios sistemas de jerarquización, siendo los más utilizados el de Horton (1945) y el de Strahler (1952). Consiste en asignar el orden 1 a las corrientes pequeñas, es decir, aquellas que no están ramificadas; el orden 2 a las corrientes que sólo tienen ramificaciones o tributarios de primer orden; de orden 3 aquellas de dos o más tributarios de orden 2, este proceso continua hasta finalizar todas las corrientes de agua.

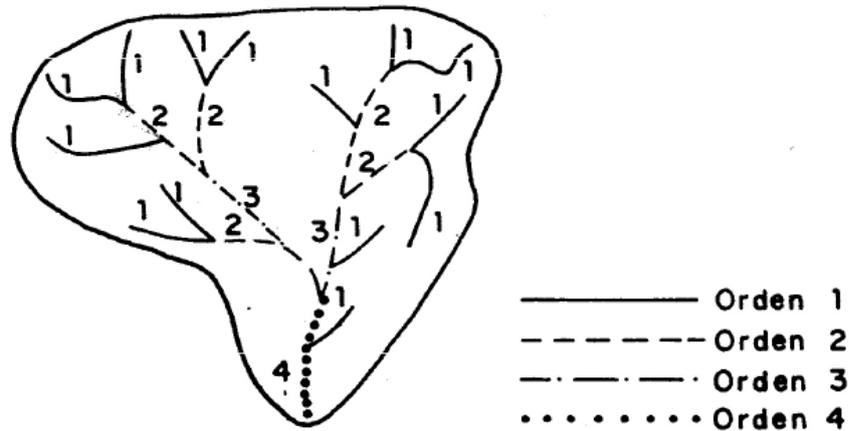


Figura 3: Jerarquización de los drenajes de una cuenca. (Horton y Strahler, 1952)

Longitud de los tributarios (Lt). Este parámetro nos indica la pendiente de la cuenca y el grado de drenaje.

Densidad de drenaje (Dd). Strahler en 1952, definió a la densidad de drenaje (Dd) como la relación entre la longitud total de los cursos de agua de la cuenca y su área total. La densidad de drenaje constituye otro parámetro que permite correlacionar la capacidad volumétrica de la cuenca y el volumen de almacenamiento de agua, cuando las condiciones climáticas y geológicas son homogéneas entre las demás cuencas. Por lo general; se encuentran bajas densidades de drenaje en regiones de rocas resistentes o de suelos muy permeables con vegetación densa y donde el relieve es débil, en cambio, se obtienen altas densidades de drenaje en áreas de rocas débiles o de suelos impermeables, vegetación escasa y relieve montañoso.

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

Dónde:

$\sum Lt$: Longitud total de corrientes de agua, suma de causas

A : Área de cuenca

Longitud media de la escorrentía superficial (I). Se define como la distancia media que el agua debería escurrir sobre las cuencas para llegar a un cauce, se calcula por la relación que existe entre el área y cuatro veces la longitud de todos los cauces.

$$I = \frac{A}{4L_t} = \frac{1}{4Dd}$$

Sinuosidad del cauce principal (S). Es la relación que existe entre la longitud del cauce principal y la medida en línea recta o curva de la longitud del cauce principal.

$$S = \frac{L_{cp}}{L_t}$$

Dónde:

L_{cp} : Longitud del cauce principal

d) Características del relieve: Estas características representan la declividad de la cuenca, se considera la variación de los terrenos con referencia al nivel del mar. Desde el Punto de vista hidrogeológico, nos permite zonificar partes de relieve que tengan condiciones para la recarga de acuíferos, almacenamiento y descarga.

Pendiente de la cuenca (Sc). Es un valor medio de todas las pendientes, es de gran importancia para el estudio del escurrimiento superficial, infiltración, arrastre de material y recarga de acuíferos. Pendiente Uniforme: Usando la siguiente fórmula:

$$S = \frac{H}{L}$$

Dónde:

H : Diferencia de cotas entre los extremos del cauce, en km.

L : Longitud del cauce, en Km.

Ecuación de Taylor y Schwarz: Considerando que el río está formado por “n” tramos de longitudes y pendientes diferentes, teniendo éstos rangos de variación muy pequeños. (Taylor y Shwarz, 1989.)

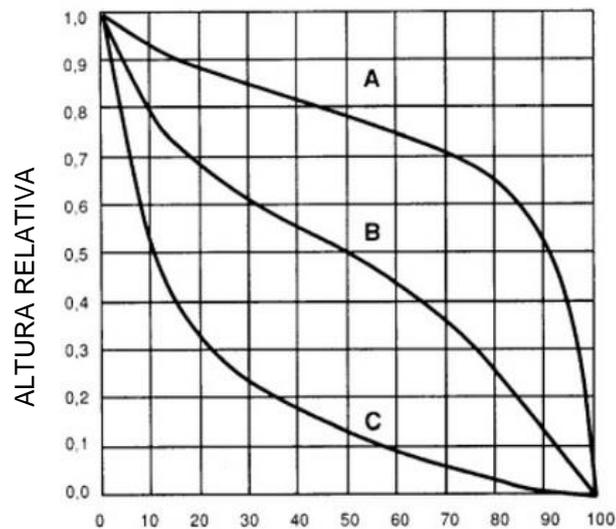
$$s = \frac{\sum_{i=1}^n Li}{\sum_{i=1}^n \frac{Li}{\sqrt{Si}}}$$

Dónde:

Li : Longitud del tramo i

Si : Pendiente del tramo i

Curva hipsométrica. Es la representación gráfica de las elevaciones del terreno en función de las superficies correspondientes. Nos indica el porcentaje de área de la cuenca o bien la superficie de la cuenca en km², que existe por encima de una cota determinada. Además nos permite calcular la elevación media de la cuenca.



PORCENTAJE DE ÁREAS SOBRE LA ALTURA RELATIVA

Figura 4: Curva hipsométrica, A. Fase de juventud, B. Fase de madurez, C. Fase de vejez. (Moreno y Blanquer, 2000).

Curva de frecuencia de altitudes. Es la representación gráfica de la distribución en porcentaje de las superficies ocupadas por diferentes altitudes.

Es un complemento de la curva hipsométrica que nos permite zonificar las mejores características con condiciones para el almacenamiento y circulación de aguas subterráneas de acuerdo a su frecuencia de semejante altitud.

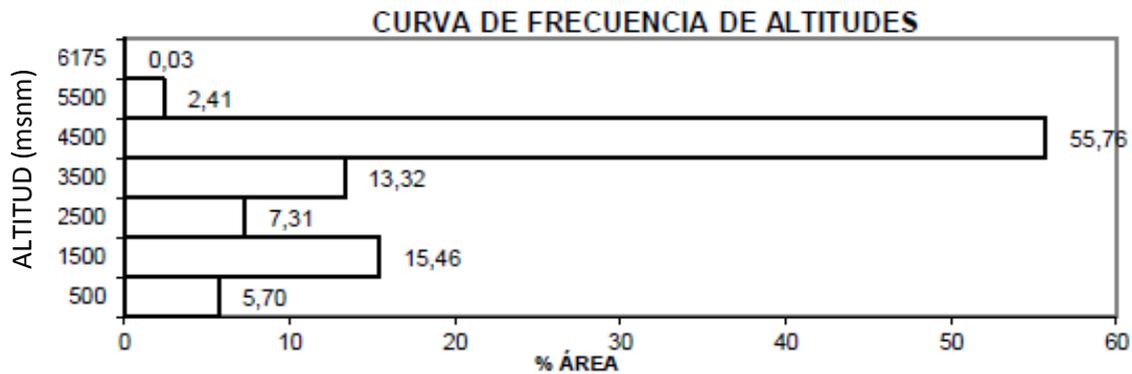


Figura 5: Curva de frecuencia de altitudes. (Moreno y Blanquer, 2000)

Elevación media de la cuenca (altitud media). La elevación media de la cuenca tiene influencia fundamental en el régimen hidrológico, puesto que guarda relación con las precipitaciones que alimentan la cuenca.

Pendiente de la corriente de máximo recorrido (Lmr). Se pueden definir varias pendientes del cauce principal: la pendiente media, la pendiente media ponderada y la pendiente equivalente.

Rectángulo equivalente. El rectángulo equivalente es una transformación geométrica de la cuenca sobre un rectángulo de igual área, igual coeficiente de compacidad y misma repartición hipsométrica, las curvas de nivel se convierten en rectas paralelas al lado menor, siendo estos lados la primera y última curvas de nivel. (Llamas, 1993; Campos, 1992). Si L y l, son respectivamente los lados mayor y menor del rectángulo equivalente se tiene:

$$L = \frac{Kc\sqrt{A}}{1.12} \left[1 + \sqrt{1 - \frac{(1.12)^2}{Kc^2}} \right]$$

$$l = \frac{Kc\sqrt{A}}{1.12} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{(1.12)^2}{Kc^2}} \right]$$

Ayuda a comparar fácilmente las cuencas hidrográficas, desde el punto de vista de la influencia de sus características sobre el escurrimiento de una cuenca dada es aproximadamente el mismo, en condiciones climatológicas idénticas.

Coefficiente de masividad (Cm). Este índice expresa la relación entre la altitud media de la cuenca y el área total de la misma. En terrenos llanos el valor es más bajo que en los terrenos abruptos.

$$Cm = \frac{H}{A}$$

Dónde:

H : Altitud media

2.2.3. EL CICLO HIDROLÓGICO.

Ordoñez (2011), señala que el ciclo hidrológico se basa en el permanente movimiento o transferencia de las masas de agua, tanto de un punto del planeta a otro, como entre sus diferentes estados (líquido, gaseoso y sólido). Está animado por dos causas: La energía solar y la gravedad.

El ciclo hidrológico involucra un proceso de transporte recirculatorio e indefinido o permanente, este movimiento permanente del ciclo se debe fundamentalmente a dos causas: la primera, el sol que proporciona la energía para elevar el agua (evaporación); la segunda, la gravedad terrestre, que hace que el agua condensada descienda (precipitación y escurrimiento). Dentro de los principales componentes que gobiernan el ciclo hidrológico tenemos las siguientes:

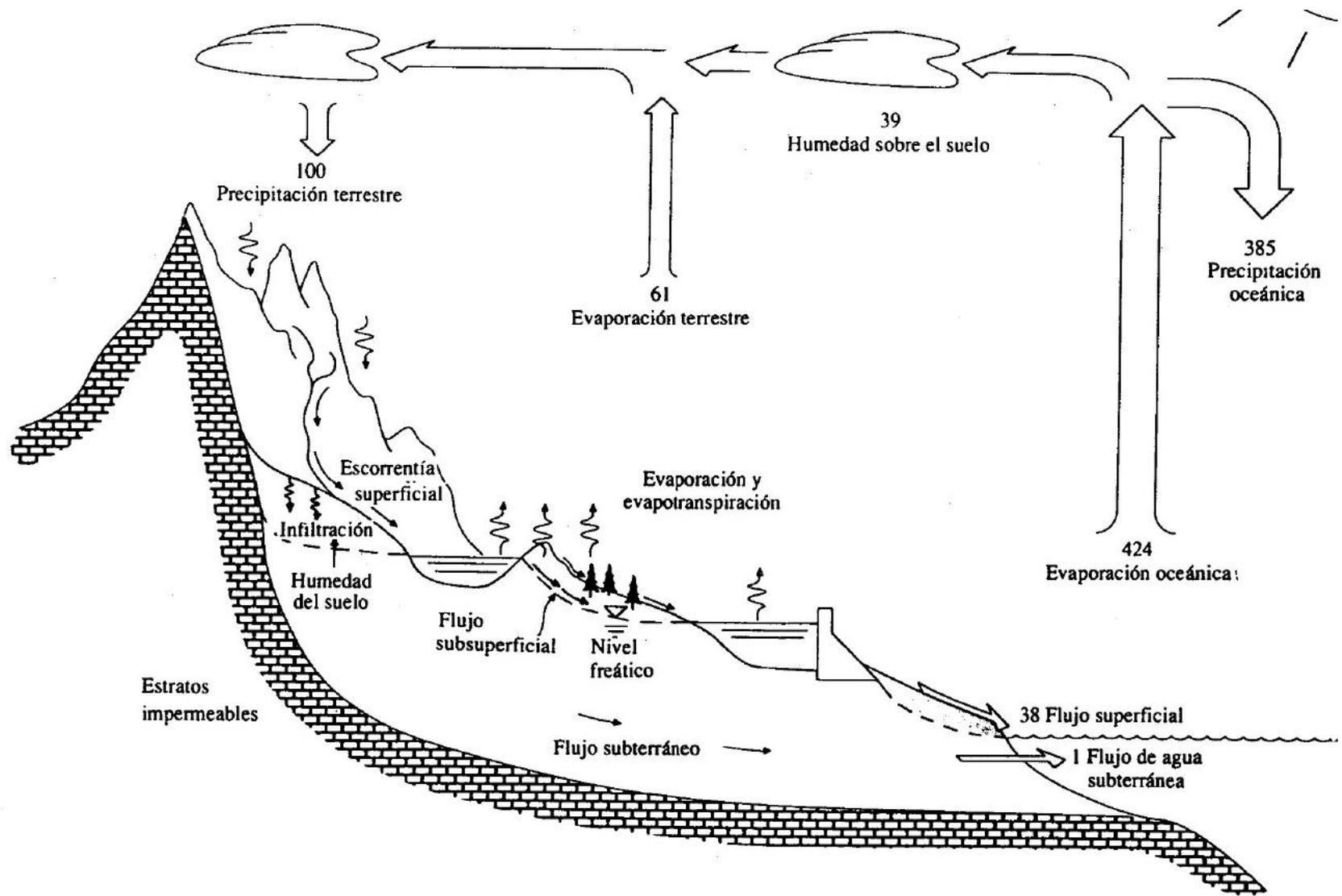


Figura 6: Representación del Ciclo Hidrológico. (Ordoñez, 2012).

2.2.4. LEY DE DARCY.

El agua subterránea se desplaza desde los niveles energéticos más altos a los más bajos, por lo que su energía procede esencialmente de las diferencias de nivel y presión. Cuando la proporcionalidad entre el gradiente hidráulico y la velocidad del agua se expresa en términos matemáticos, se obtiene una ley lineal conocida con el nombre de Ley de Darcy.

$$V = K \cdot \frac{H}{L} \quad V = K \cdot i$$

Donde:

V: Velocidad del agua (m³/s; l/min; l/s)

K: Coeficiente de permeabilidad. (m/día)

$\frac{H}{L}$: Gradiente hidráulico.

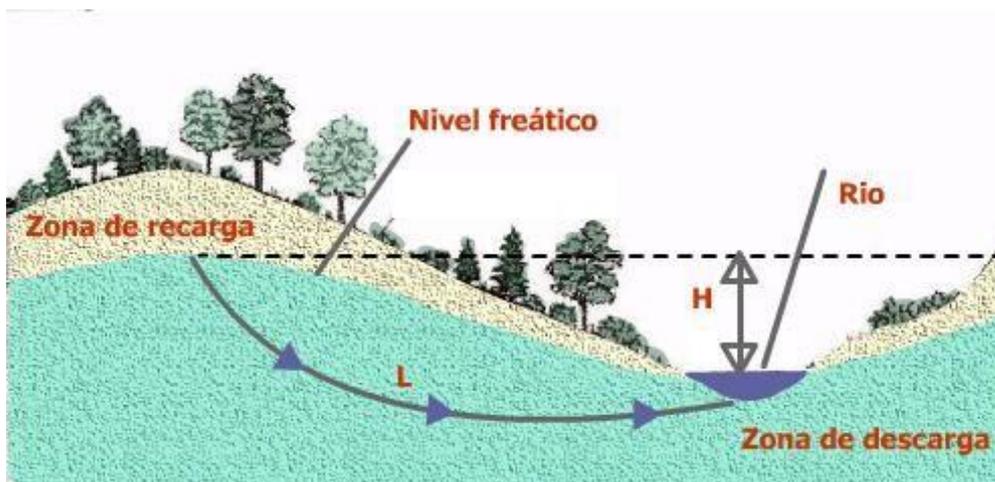


Figura 7: Ley de Darcy aplicada en entornos con suelos y rocas. (Nuñez, 2004).

2.2.5. TEORÍA DE DRENAJE.

Leopold, (1964), define como patrón de drenaje a la forma cómo una red se aprecia en un área determinada. Estos patrones dependen de varios factores: Pendiente de las laderas y del área de drenaje, cobertura vegetal, resistencia de la litología, caudal permeabilidad del suelo, nivel e intensidad de lluvias, actividad estructural. En muchos casos, la red de drenaje suministra la información inicial sobre la dinámica interna y externa de un área determinada.

Drenaje Dendrítico: Se compara con pequeñas hebras o hilos. Son cursos pequeños, cortos e irregulares, que andan en todas las direcciones, cubren áreas amplias y llegan al río principal formando cualquier ángulo.

Drenaje en Enrejado o Trenzado (trellis): Ocurre cuando un tributario secundario corre en sentido paralelo al río principal o tributario de primer orden. Se le denomina trenzado por que los otros tributarios diseñan entre si una especie de enrejado para llegar al cauce principal.

Drenaje Rectangular: Los tributarios y el cauce principal se generan ángulos rectos. En éste hay un esquema más regular, no hay paralelismo perfecto, no es necesaria la presencia de tributarios menores y, si existen, generalmente son cortos, se presenta una uniformidad entre los ángulos generados (90°).

Drenaje Radial: En éste se aprecia que las pequeñas fuentes de agua salen de un punto central, indicando un punto elevado dentro del paisaje domos, cerros testigos, volcanes, y que tienda a ser redondeada su base.

Drenaje Anular: Es muy similar al radial pero no es tan denso. Indica, al igual que el anterior, un resalto en una superficie plana.

Drenaje Paralelo: Se presenta cuando varias corrientes corren paralelas entre sí, sin importar el orden o la importancia en el conjunto total de tributarios. Se presenta cuando se dan las siguientes condiciones: En pendientes altas, cuando hay algún tipo de control topográfico o estructural, materiales con baja permeabilidad, pendientes moderadas entre sí, baja cobertura vegetal, caudales cortos.

Drenaje Pinado: Su nombre se atribuye por el parecido que presenta con las formas de las ramas de los pinos. Son caudales densos, cortos y generalmente de bajo orden.

Drenaje Sub-dendrítico: En este caso se tiene un tributario mayor bien definido, con mayor cantidad de caudal, donde llegan una serie de afluentes pequeños.

Drenaje Meándrico: Éste es el caso en el cual un río posee una extensión apreciable como llanura de inundación, allí se generan curvas pronunciadas conocidas como meandros.

Drenaje Anastomosado: Es típico de zonas y llanuras de inundación amplias, alta sedimentación pero moderado a bajo caudal, sin embargo son normales los eventos de crecientes. Este tipo de drenaje es común en las proximidades de zonas de derretimientos de casquetes.

Drenaje Angular: Es similar al rectangular, sin embargo en éste los ángulos formados entre los ríos y sus tributarios no son rectos. Se presentan cuando hay un control estructural y moderado a alta cobertura vegetal.

Drenaje Sub-paralelo: Posee menos paralelismo y menor densidad que el drenaje paralelo. Las características que lo influyen son: alta a mediana permeabilidad, control estructural, moderada cobertura vegetal, laderas altas, pendientes fuertes

Drenaje Colineal: Es igual que el paralelo o sub-paralelo, pero los cauces se pierden, indicando: alta permeabilidad, densa cobertura vegetal, pendientes moderadas a bajas.

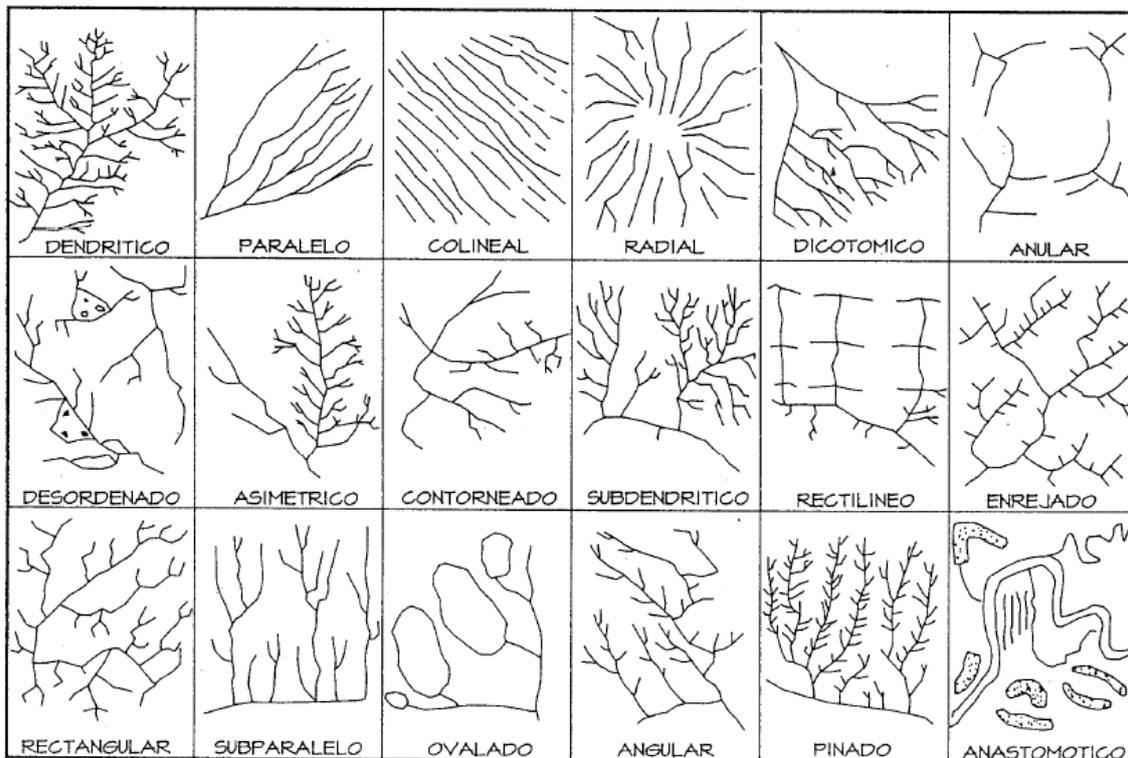


Figura 8: Tipos de drenaje. (Leopold, 1964).

2.2.6. PARÁMETROS HIDROGEOLÓGICOS

El parámetro principal de rocas y suelos, que permite la circulación y almacenamiento de aguas subterráneas, es la permeabilidad, el cual está relacionado a la porosidad, a su vez existen otros parámetros hidrogeológicos también importantes como la transmisibilidad, el coeficiente de almacenamiento y la conductividad hidráulica, los cuales se encuentran vinculados a las propiedades físicas de la roca almacén. (Potenciano y Garzón, 2005)

a) Porosidad (m):

La porosidad de las rocas se define; como la relación del volumen de huecos con el volumen total de la roca. El volumen de agua que puede obtenerse de acuerdo con la definición de porosidad eficaz; corresponde al agua almacenada en los poros interconectados del medio y que puede ser drenada por gravedad (Meizer, 1923). Consideraremos tres tipos de porosidad:

Porosidad intergranular: Característica de las rocas detríticas no consolidadas que se encuentran en los depósitos fluviales, aluviales, glaciares.

Porosidad por fisuración: Característica de rocas consolidadas tales como las ígneas, plutónicas, sedimentarias y metamórficas, las cuales presentan una red de fisuras o grietas de diferente intensidad las cuales no están distribuidas homogéneamente, ligados a procesos tectónicos; también se presenta en suelos por la in consolidación de rellenos cuaternarios.

Porosidad por disolución: Característica de medios kársticos, en los cuales el agua va disolviendo la roca y forma redes de drenaje por las cuales circula el agua. En acuíferos fisurados, la dirección de flujo de agua es controlada por el sistema de fracturas, fisuras, diaclasas y fallas. Estas grandes estructuras generan condiciones para aumentar o disminuir las propiedades de percolación que tiene el agua subterránea en rocas. En acuíferos porosos no consolidados, los materiales sueltos, con espacios vacíos entre ellos, generan condiciones de percolación aunque por sectores se encuentren limitados por la presencia de bancos de arcilla. En acuíferos kársticos el agua genera conductores en rocas solubles con frecuencia las rocas carbonatadas, además de crear paisajes característicos como karst.

b) Permeabilidad o Conductividad Hidráulica, K): La permeabilidad es un parámetro importante, se define como la facilidad que un cuerpo ofrece a ser atravesado por un fluido, en este caso el agua. Es el volumen de agua libre que circula durante la unidad de tiempo y a través de la unidad de superficie, de una sección total del acuífero; permite evaluar la capacidad de transmitir el agua subterránea en las rocas, ya sea a través de poros o fracturas que presenten los medios donde se almacenan. Se mide en unidades de longitud sobre unidades de tiempo (L/T); por lo general m/s pero por tradición se maneja m/día.

Las grandes estructuras como las fallas, le otorgan una propiedad importante a las rocas, los cuales permiten que exista una buena circulación de las aguas subterráneas. Para los materiales geológicos se ha considerado la permeabilidad vertical (infiltración) y la permeabilidad horizontal (flujo de agua).

c) Transmisividad: Es el parámetro que nos indica la facilidad del agua para circular horizontalmente por una formación geológica es una combinación de conductividad hidráulica y del espesor. Las unidades serán L^2/T ($m^2/día$, o cm^2/s)

d) Coeficiente de Almacenamiento: Es la capacidad para almacenar agua de la roca, se define como el volumen del agua presente en una formación geológica. Este parámetro se puede calcular en acuíferos libres en relación a su porosidad eficaz, se define como:

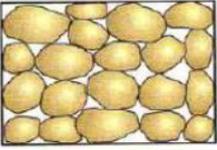
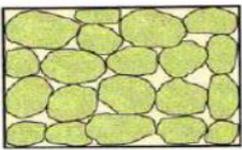
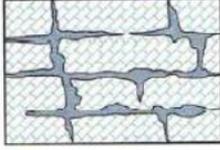
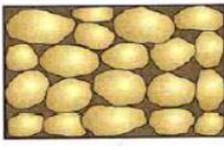
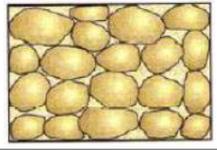
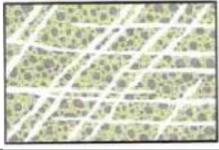
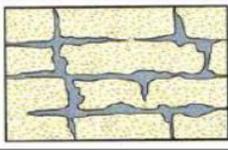
			
Detrítico	Detrítico de grano poroso	Kárstico	Detrítico con matriz arcillosa
			
Detrítico con matriz limosa	Fisurado	Kárstico y poroso	

Figura 9: Tipos de acuíferos según su textura. (González, 2004).

2.2.7. FORMACIONES GEOLÓGICAS COMO ACUÍFEROS

Según Todd, 1959; los acuíferos que se presentan con mayor frecuencia están formados por depósitos no consolidados de materiales sueltos, como arenas, gravas, pudiendo ser su origen geológico muy distinto: fluvial, como los que forman manantiales aluviales de los ríos o las terrazas de los mismos; deltaico, si se trata de depósitos acumulados en la desembocadura de los ríos; depósitos sedimentarios ocasionados por la acumulación de partículas transportadas por gravedad, viento (dunas/loess), hielo (depósitos glaciares); Según su permeabilidad o conductividad hidráulica ($m/día$).

Tabla 2: Clasificación de materiales sedimentarios

Rango	10^{-7}	10^{-4}	10^{-2}	10^0	10^5 10^7
Calificación	Impermeable	Poco permeable	Algo permeable	Permeable	Muy permeable
Calificación de la formación	Acuicludo	Acuitardo	Acuífero pobre	Acuífero regular a bueno	Acuífero excelente
Ejemplos de materiales	Arcilla compacta Pizarra Granito	Limo arenoso Limo Arcilla limosa	Arena fina Arena limosa Caliza fracturada	Arena limpia Grava y arena Arena fina	Grava limpia

Fuente: Adaptado de Custodio y Llamas, 1983.

Tabla 3: Características de almacenamiento de las rocas.

Acuíferos	Capacidad de Almacenar	Capacidad de Drenar	Capacidad de Transmitir	Material Característico
Acuíferos	Alta	Alta	Alta	Gravas, arenas, calizas
Acuitardos	Alta	Media/alta	Baja	Limos, arenas limosas y arcillosas
Acuicludos	Alta	Muy baja	Nula	Arcillas
Acuífugos	Nula	Nula	Nula	Granito gneises y mármoles

Fuente: Gonzales, 2004.

Tabla 4: Valores de porosidad (%).

Tipo de roca	Total (%)	Eficaz (%)
Arcillas	40 a 60	0 a 5
Limos	35 a 50	3 a 19
Arenas finas, arenas limosas	20 a 50	10 a 28
Áreas gruesa o bien clasificada	21 a 50	22 a 35
Grava	25 a 40	13 a 26
Shale intacta	1 a 10	0.5 a 5
Shale fracturada/alterada	30 a 50	
Arenisca	5 a 35	0.5 a 10
Calizas, dolomías no carstificadas	0.1 a 25	0.1 a 5
Calizas, dolomías carstificadas	5 a 50	5 a 40
Rocas ígneas y metamórficas	1 a 10	0.00005 a 0.01

Fuente: Sanders, 1988.

Tabla 5: Clasificación aproximada de materiales no consolidados en relación a su permeabilidad.

Clasificación geológica	Gravas limpias	Gravas y arenas o arenas gruesas	Arenas finas o con mezcla de limos	Limo o arcillas arenosas	Arcillas compactas
Clasificación hidrogeológica	Buen acuífero		Acuífero pobre	Acuitardos	Prácticamente impermeable

Fuente: Custodio y Llamas, 1983.

De entre las rocas sedimentarias consolidadas que encierran el 95% de las aguas subterráneas para el conjunto de la tierra (GroundWater and Wells) la más importante es la caliza, que varía en densidad, porosidad y permeabilidad, de acuerdo con el ambiente sedimentario existente en su formación y el desarrollo posterior de zonas permeables por disolución del carbonato (formación de un karst), que puede llegar a formar verdaderos “ríos subterráneos” y toda una morfología especial en los que en algunos casos no se habla de transmisividad y permeabilidad, debido a que no se cumple el régimen laminar por las grandes dimensiones de las fisuras. Sin embargo, estas rocas si no están karstificadas, suelen ser poco permeables al igual que las margas intermedias entre las calizas y las arcillas; Los conglomerados y areniscas, considerados como gravas y arenas cementadas, ven disminuida su porosidad y permeabilidad a causa del cemento que las une y da cohesión; En las rocas volcánicas es difícil establecer una clasificación de las mismas, respecto si constituyen o no buenos acuíferos, puesto que depende de las características físicas y químicas y de las propias rocas, de la erupción que la originó, del grado de alteración, edad; Finalmente, de las rocas ígneas y metamórficas (granitos, dioritas, gabros, pizarras y esquistos) las únicas posibilidades de formar buenos acuíferos residen en la zona alterada superficial, o en las regiones muy fracturadas por fallas y diaclasas que permitan una apreciable circulación de agua, de todos modos constituyen los peores acuíferos en cuanto en rendimiento en caudal. Cuando ambos tipos de rocas están poco nada alterados pueden considerarse como acuífugos. Todos los acuíferos que se han mencionado han sido clasificados con respecto a sus características litológicas. Pero existe otra clasificación que los agrupa de acuerdo con la presión hidrostática del agua encerrada en los mismos. (Durbaum, 1963)

CLASIFICACIÓN DE ACUÍFEROS:

a) Según sus características litológicas: Según las características litológicas se clasifica en: detríticos, carbonatados, aluvial y volcánicos. (Custodio y Llamas, 1976).

Acuíferos dendríticos. Están formados por masas de rocas fragmentadas, como arenas o gravas, que 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.

Acuíferos Carbonatados. Está formada por un estrato 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.

Acuíferos aluviales. Es de estrato o capa formada en ambiente fluvial y de abanico (Custodio y Llamas, 1976), 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.

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).

b) Según el tipo de porosidad: Según Custodio y Llamas, 1976; estos pueden ser; kárstico, fisurado y poroso, es decir:

Acuíferos kársticos.- También llamada unidad acuífera química o por disolución. Algunas rocas son disueltas por el agua y forman una estructura geológica típica llamada karst, capaz de almacenar gran cantidad de agua.

Acuífero poroso.- Se denomina acuífero poroso a los sedimentos granulares como arenas o areniscas, en los cuales el agua ocupa poros existentes entre los granos de arena. Se da principalmente en terrenos sedimentarios.

Acuíferos fisurados.- Son aquellos en los que el agua circula a través de las fisuras y las grietas que hay entre las rocas. Está compuesto por capas o estratos que desarrollan porosidad secundaria, es decir, por la presencia de fracturas o grietas debido a fallas, o diaclasas.

C) Según la presión hidrostática: Esta clasificación los agrupa de acuerdo con la presión hidrostática del agua encerrada en los mismos y los clasifica en libres, confinados, semiconfinados y semilibres. (Custodio y Llamas, 1976).

Acuíferos libres no confinados o freáticos: Son aquellos en los que el nivel de agua se encuentra por debajo del techo de la formación permeable. Liberan agua por desaturación, es decir, el agua que ceden es la procedente del drenaje de sus poros.

Acuíferos cautivos, confinados o a presión. Son aquellos cubiertos por una capa impermeable confinante. El nivel de agua en los acuíferos cautivos está por encima del techo de la formación acuífera. El agua que ceden procede de la expansión del agua y de la descompresión de la estructura permeable vertical, cuando se produce la depresión en el acuífero. También se les denomina acuíferos cautivos.

Acuíferos semicautivos o semiconfinados. Se pueden considerar un caso particular de los acuíferos cautivos, en los que el muro (parte inferior), techo (parte superior) o ambos no son totalmente impermeables, sino que permiten una circulación vertical del agua.

En realidad un acuífero semiconfinado puedes ser un sistema físico integrado por un acuífero superior bien alimentado, un paquete semipermeable o acuitardo y un acuífero inferior semiconfinado.

Acuífero semilibre: este acuífero es en realidad una formación casi semi confinada, en la cual la conductividad hidráulica de la capa semipermeable (grano fino) es tan grande que la componente horizontal de flujo de esta capa no puede ser despreciada.

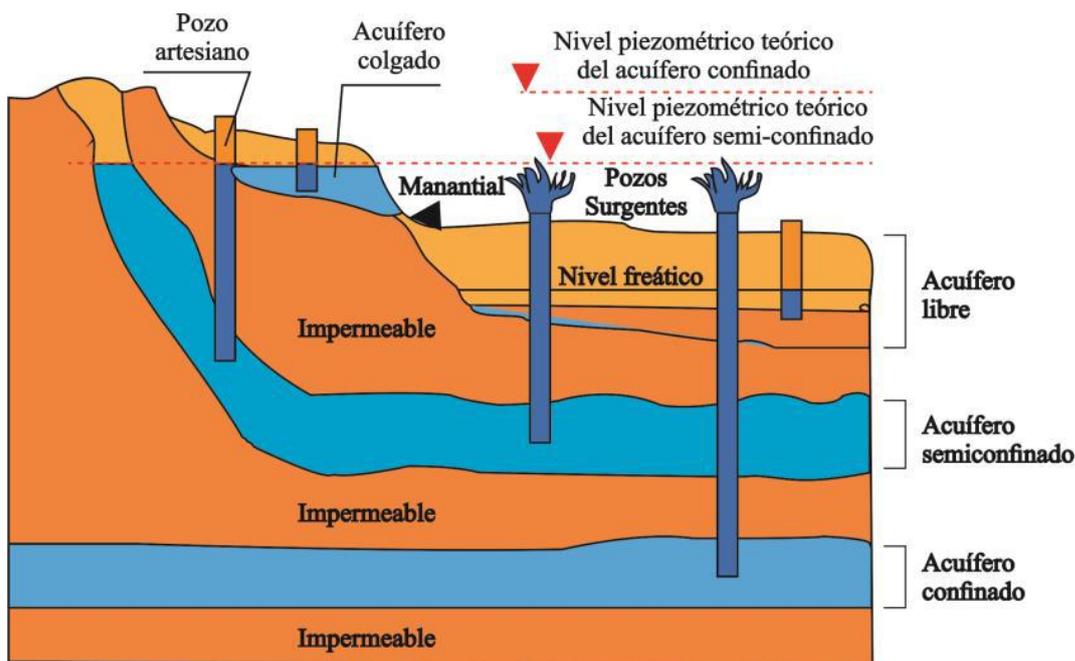


Figura 10: Tipos de acuíferos – Comportamiento hidráulico. (Odong, 2013.)

2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS.

Acuicludo. (del latín: aqua = agua; claudare = encerrar), es toda formación geológica que almacena agua, incluso hasta su saturación, pero que no la transmite y por tanto no es posible su aprovechamiento (por ejm: arcilla), (Baquero, 2007).

Acuífero. Es un conjunto de rocas o formación geológica con capacidad de almacenamiento y circulación de agua, a las surgencias o a las captaciones, es decir aquella que permite el movimiento del agua por gravedad (agua gravífica), en condiciones que puede ser económicamente explotable (por ejemplo: arenas y gravas o calizas karstificadas, (Baquero, 2007).

Acuífugo. Es toda formación geológica que ni almacena ni transmite agua (por ejm: granito no alterado), (Baquero, 2007).

Acuítardo. Es toda formación geológica capaz de almacenar cantidades apreciables de agua pero que la transmite muy lentamente, por lo que no es interesante para el emplazamiento de captaciones, si bien permite la recarga, vertical o lateral, a acuíferos que estén en contacto con ella (por ejm: arcillas limosas y limos), (Baquero, 2007).

Agua subterránea. Es el agua que se encuentra presente en los poros, grietas, conductos y cavidades del material consolidado o sin consolidar ubicado bajo la superficie terrestre. (Odong, 2007).

Ciclo hidrológico. El ciclo hidrológico es el término que se usa para describir la circulación general del agua desde el océano hasta la atmósfera, hacia el subsuelo y nuevamente hacia el océano. Las aguas subterráneas son parte integrante del ciclo hidrológico, cuyos componentes se relacionan tan íntimamente que para el correcto estudio de las aguas subterráneas, debemos profundizar en la investigación de las aguas de la atmósfera y sobre la superficie terrestre. (Baquero, 2007).

Cuenca. Sistema integrado por varias subcuencas o microcuencas. (Ordoñez, 2011).

Cuenca Hidrográfica. Es el área de terreno donde las aguas de escorrentía superficial se distribuyen en una red natural de drenaje, confluyendo luego a un colector principal. El límite o frontera hidrográfica se conoce como divisoria de aguas (Divortio Aquarium) y el punto más bajo o de total confluencia es el punto emisor. (Ortiz, 1994).

Divisoria de Aguas. Es la línea de cumbres o de máxima altura de los terrenos entre dos vertientes, que separa las aguas de las lluvias o de los deshielos. (Dávila, 2011).

Escorrentía superficial. La porción de lluvia que eventualmente llega a los cauces de los ríos y se registran a la estación hidrométrica, se denomina exceso de precipitación, precipitación efectiva o escorrentía superficial. Entonces se refiere a la cantidad de agua que en el curso de una precipitación escapa a la infiltración y la evapotranspiración. (Ortiz, 1994).

Formación. Es una secuencia de rocas, generalmente de características semejantes, en cuanto a litología, fósiles y edad. (Dávila, 2011).

Manantial. Es aquel punto o área de surgencia natural de agua, procedente de un acuífero, que actúa como aliviadero natural al “embalse subterráneo”. La surgencia puede ser difusa (en cuyo caso una buena parte puede evapotranspirarse) o concentrada (pasando a alimentar a los cauces superficiales, lagos o mares). Al ser

un punto de surgencia natural de aguas subterráneas, su captación no puede afectar a otros recursos existentes en su entorno, dado que al haber existido siempre, el nivel piezométrico y balance local debe mantenerse inactivo sea o no captado al manantial. (Baquero, 2007).

Nivel freático. Nivel superior de la zona de saturación del agua subterránea en las rocas permeables. Este nivel puede variar estacionalmente, a causa de las precipitaciones y la evaporación. (Ortiz, 1994).

Precipitación Pluvial. Es el principal vector de entrada del ciclo hidrológico y se refiere a la cantidad total de agua que cae sobre la cuenca. Se expresa en l/m² o lo que es igual, en mm de altura. Este parámetro se obtiene en base a la información registrada por las estaciones pluviométricas existentes en la cuenca. (Baquero, 2007).

Roca. Conjunto de minerales consolidados, provenientes de la solidificación del magma, consolidación y diagénesis de los materiales producto de la erosión de las rocas pre-existentes y recristalización de las rocas pre-existentes. (Dávila, 2011).

Suelo. Cobertura superficial de la corteza terrestre producto de la alteración de los minerales de las rocas pre-existentes. (Dávila, 2011).

Zonas de un acuífero. Los acuíferos reciben agua de la precipitación, aunque pueden recibirla por otras vías, en base a esto se pueden definir tres zonas: zona de alimentación o recarga, zona de circulación y zona de descarga. (Ortiz, 1994). Se detallan a continuación:

La zona de alimentación o recarga. Es aquella donde el agua de precipitación, riego superficial, se infiltra.

La zona de circulación. Es la parte comprendida entre la zona de alimentación y la zona de descarga, en donde el agua se desplaza.

La zona de descarga. Es la zona donde el agua sale del acuífero, como puede ser un manantial o la descarga al mar o a un río.

CAPÍTULO III.

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. GENERALIDADES

3.1.1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA

Se encuentra ubicada en la zona Norte de la Cordillera de los Andes del Perú a 7 Km. al este de la ciudad de Cajamarca, abarcando el distrito de Los Baños del Inca y los caseríos Liuchupucro Alto, Luichupucro Bajo, Licliconga, Carahunga 1 y 2, Chinchin Otuzco, Rosapampa, Shitaloma, Vista Alegre, La Victoria Otuzco, Alto Otuzco, Tartar Chico, Pullucana, la Retama, Shaullo Chico, Chinchin tres Cruces y Santa Ursula; entre las coordenadas Este: 780001 y Norte: 9207360. (Sistema UTM, Datum WGS84). (Ver Plano N° 01 Ubicación – Anexo 04).

Tabla 6: Coordenadas de la Zona de Estudio. Datum WGS - 84.

Puntos	Latitud	Longitud
01	9216500.00	778300.00
02	9216300.00	778300.00
03	9216500.00	777900.00
04	9216300.00	777900.00

3.1.2. UBICACIÓN POLÍTICA

Pertenece políticamente a la provincia de Cajamarca, Departamento y Región Cajamarca, Distrito de Baños del Inca, La capital está ubicada a 2667 m.s.n.m.

3.1.3. ACCESIBILIDAD

El principal acceso a la zona de estudio, es por la carretera asfaltada Cajamarca – Los Baños del Inca a 7 Km. (Ver Plano N° 02 Satelital – Anexo 04)

Tabla 7: Principales accesos a la zona de estudio

Tramo	Tiempo	Tipo de vía
Cajamarca- Los Baños del Inca	Aprox. 18 min	Afirmado
Los Baños del Inca - alrededores	Aprox. 2 horas	Caminos de herradura

3.1.4. CLIMA Y VEGETACIÓN

a) CLIMA.

El clima que presenta la zona de estudio es frío y templado, donde las precipitaciones son mayores a 1000 mm, con un rango de temperatura de -3°C a 20 °C (SENAMHI); el enfriamiento es fuerte durante las noches claras, lo que ocurre sobre todo en los meses secos, en los que aumenta las incidencias de las heladas.

La lluvia se incrementa a medida que aumenta la altura (29 mm por cada 100m). La distribución espacial de la precipitación es más compleja que la temperatura debido a la influencia del paisaje (orientación, pendiente.)

Tabla 8: Comportamiento de la Temperatura. A Weberbauer – Cajamarca.

Estación Meteorológica	Altitud msnm	Temperatura promedio mensual		Temperatura mínima absoluta	Día de ocurrencia
		Máxima	Mínima		
A. Weberbauer	2621	21.7	9.6	3.3	21-feb

Fuente: Weberbauer, 2015.

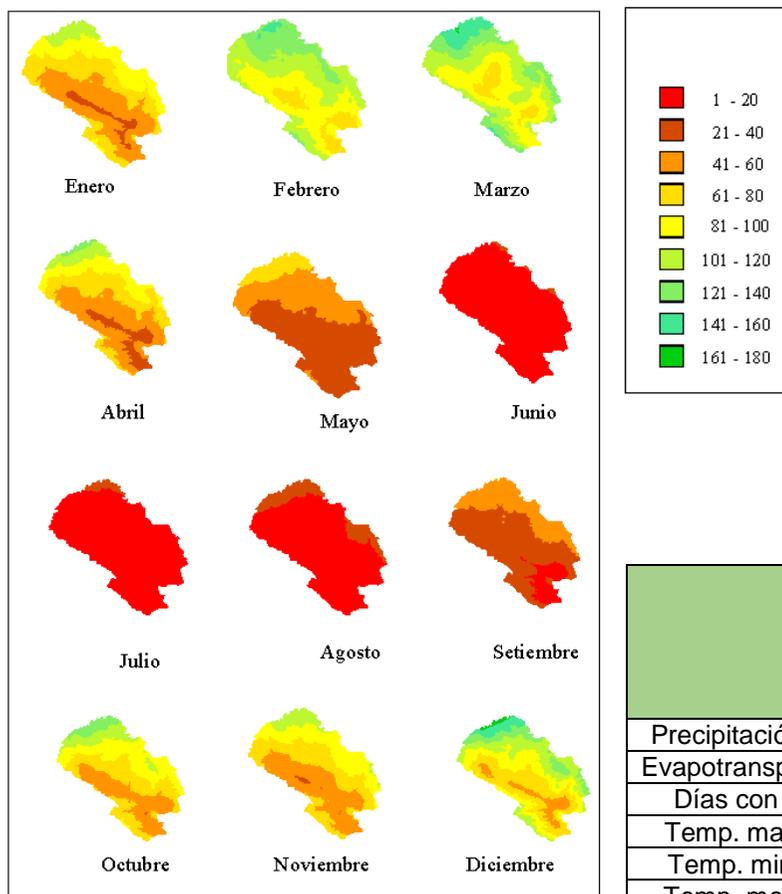


Figura 11: Mapa de precipitación mensual en la cuenca de Cajamarca, niveles de precipitación para los meses del año 2011, similitud estacional con variaciones ligeras por año. (Weberbauer, 2011).

Tabla 9: El clima en Cajamarca.

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
Precipitación [mm]	78	89	102	126	93	37	13	6	8	34	76	58
Evapotranspot [mm]	135	128	106	107	94	95	93	105	117	127	131	137
Días con lluvia	11	13	17	17	14	9	4	2	2	9	9	8
Temp. max. [°C]	22	22	21	21	21	22	22	22	22	22	22	22
Temp. min. [°C]	6	8	7	7	7	5	3	3	4	5	7	6
Temp. med. [°C]	14	14	14	14	14	14	13	13	14	14	14	14
Hum. rel.med. [%]	67	71	75	77	78	73	68	62	58	64	68	64
Rad.global [mJ/m ²]	18.3	17.3	17.4	16.4	15.8	14.4	14.9	16.5	16.9	16.8	18.1	19.9
Horas sol [n/h] [%]	43	37	36	33	38	48	50	56	50	40	41	49
Vel. del viento [m/s]	15	15	15	15	15	15	26	31	31	26	21	15

(Weberbauer, 2011).

(Weberbauer 2011).

b) VEGETACIÓN.

Con una vegetación de plantas silvestres, árboles y arbustos, eucaliptos, pinos, entre otros. El uso de la tierra se desarrolla una agricultura temporal (en época de lluvia), en donde se suelen sembrar maíz, papa, legumbres, principales en la alimentación de la población, entre otros, se encuentran también el sembrío de alfalfa y forraje, esenciales en la alimentación del ganado.



Figura 12: Vista panorámica del valle – Shaullo, se observa la vegetación. (Eucalipto, tierras de cultivo, pastos.)

3.1.5. REGIONES NATURALES

La región Cajamarca, de acuerdo a la clasificación de las regiones naturales por Javier Pulgar Vidal, posee cinco regiones naturales o microclimas que varía según la altura que son las siguientes, estando la zona de estudio en la región Quechua, cuyos detalles se señalan a continuación.

Tabla 10: Regiones Naturales.

Zona	Elevación en (msnm.)	Tipo de Clima
Yunga	500- 2,500	Templado cálido
Quechua	2,500- 3,500	Templado
Suni o Jalca	3,500- 4,100	Templado Frio
Puna	4,100- 4,800	Frio
RupaRupa o Ceja de Selva	400- 2,000	Tropical – cálido y templado - cálido

Fuente: INGEMMET, 2011

3.1.6. GEOLOGÍA.

Los afloramientos presentes en la cuenca del río Chonta – Los Baños del Inca, crono-estratigráficamente abarcan desde el Mesozoico- Cretácico Inferior, Grupo Goyllarisquizga, Formación Carhuas hasta el Cretácico Superior Formación. Celendín, formaciones que están compuestas por areniscas cuarzosas, lutitas y calizas. (Ver Plano Geológico – Anexo 04). Se detalla:

GRUPO GOYLLARISQUIZGA

a) FORMACIÓN CARHUAZ

Esta formación en el área se encuentra cubierta por depósitos cuaternarios, sin embargo existen algunos afloramientos en las quebradas, visibles debido a la erosión, consta de una alternancia de areniscas con lutitas grises, las primeras con matices rojizos, violetas y verdosos (características principales para diferenciarla en el campo). La Formación Carhuaz infrayace concordantemente a la formación Farrat.

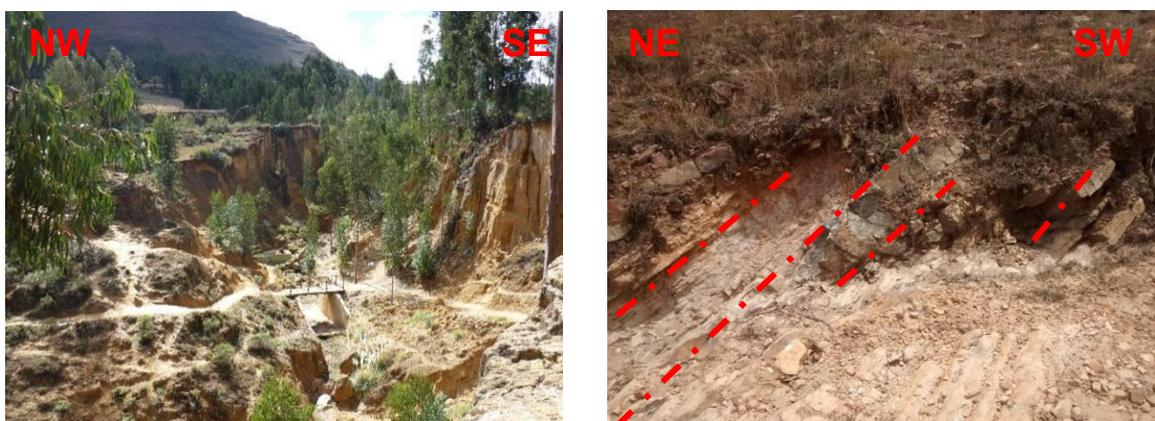


Figura 13: Derecha: Quebrada Shaullo, se evidencian afloramientos de la Formación Carhuáz; Izquierda. Areniscas con lutitas grises y matices violetas pertenecientes a la Formación Carhuáz

b) FORMACIÓN FARRAT

Esta formación representa el nivel superior de la parte clástica del Cretácico inferior y consta de areniscas blancas de grano medio a grueso, tiene un grosor promedio de 500 m. Por sus características litológicas, es común encontrar a la Formación Farrat conformando escarpas y altas cumbres agudas y largas, observables en afloramientos estratificados.



Figura 14: Vista panorámica de la Formación Farrat en el cerro Callacpuma, Flanco SE del anticlinal de Baños del Inca.

c) FORMACIÓN INCA

Esta formación infrayace concordantemente a la Formación Chúlec y suprayace con la misma relación a la Formación Farrat, con un aparente paso transicional. En varios lugares, se ha observado que gradualmente se intercalan areniscas calcáreas, lutitas ferruginosas y lechos de areniscas, dando en superficie un matiz amarillento. En el área de estudio la encontramos de coloración rojiza.



Figura 15: Areniscas Calcáreas, lutitas ferruginosas y evidencias de limonitizacion en la Formación Inca al NE del Anticlinal de Baños del Inca.

GRUPO CRISNEJAS

d) FORMACIÓN CHULEC

Esta formación consiste en una secuencia de calizas arenosas, lutitas calcáreas y margas, las que por intemperismo adquieren un color crema amarillento, su aspecto terroso amarillento es una característica para distinguirla en el campo. Generalmente los bancos de margas se presentan muy nodulosos y las calizas frescas muestran colores gris parduzcos. Se extiende suprayaciendo concordantemente a la Formación Inca e infrayaciendo con la misma relación a la Formación Pariatambo.



Figura 16: Calizas arenosas, lutitas y margas de la Formación Chulec. Ubicado al flanco Noreste del anticlinal de Baños del Inca.

e) FORMACIÓN PARIATAMBO

Consiste en una alternancia de calizas y lutitas bituminosas negruzcas, estratos calcáreos con nódulos silíceos y dolomíticos, con un característico olor fétido al fracturarlas esto por el contenido orgánico en las calizas, cuyo origen es un ambiente oxidante. Esta formación yace concordantemente sobre la Formación Chulec e infrayace con suave discordancia a la Formación Yumagual.



Figura 17: Estratos de Calizas intercalado con lutitas bituminosas de la Formación Pariatambo, en corte de carretera Baños del Inca a La Encañada

GRUPO PULLUICANA

f) FORMACIÓN YUMAGUAL

Suprayace con leve discordancia a la Formación Pariatambo e infrayace con aparente concordancia a la Formación Mujarrún y Grupo Quilquiñán, consiste en una secuencia de margas y calizas gris parduzcas en estratos más o menos uniformes, destacando estratos lutáceo margoso.

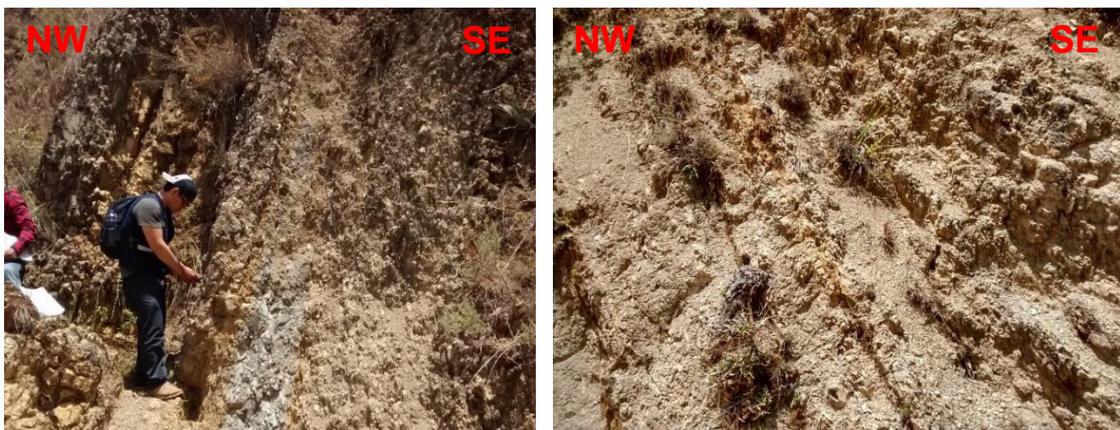


Figura 18: Secuencias de margas y calizas de la Formación Yumagual, ubicado en la Quebrada Pullucana

g) FORMACIÓN QUILQUIÑAN - MUJARRUM

Consiste en una secuencia de calizas nodulares, seguida de una intercalación de margas y lutitas amarillentas. Continúan delgados lechos de calizas nodulares con

margas de color pardo amarillento, también fosilíferas. Se encuentran estratos de calizas claras con lutitas arenosas y margas delgadas.



Figura 19: Calizas nodulares, intercaladas con margas y lutitas amarillentas, Formación Quilquiñán Mujarrún.

h) FORMACIÓN CAJAMARCA

Corresponde a una de las secuencias calcáreas del Cretácico superior que más destaca topográficamente, por su homogeneidad litológica y ocurrencia en bancos gruesos y duros, cuyos afloramientos exhiben una topografía kárstica con fuertes pendientes y en muchos casos barrancos de paredes inaccesibles. Esta unidad yace concordantemente sobre el Grupo Quilquiñán y con la misma relación subyace a la Formación Celendín.



Figura 20: Calizas de la Formación Cajamarca. Vista panorámica del cerro Coñor Loma desde el cerro San Pedro.

FORMACIÓN CELENDÍN

Esta formación está constituida por margas y lutitas de color gris amarillento, abigarradas hacia el tope, en capas cuyo grosor en la base varía entre 2 y 6 m, alcanzando hasta 8 m, en la parte superior. La Formación Celendín presenta intercalaciones de calizas margosas algo nodulosas en capas delgadas, algunas son lumaquéricas, asimismo calizas areniscosas color gris amarillento, sobre todo en la parte superior.



Figura 21: Margas y lutitas de la Formación Celendín, ubicado en el sector Alto Otuzco.

3.1.7. GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

Regionalmente, se puede notar que los movimientos tectónicos, en algunos sectores han sido de mayor intensidad que en otros. Es así que las ondulaciones suaves de algunos niveles estratigráficos pasan a ser estructuras principales, en la zona de estudio se encuentran evidencias de eventos de tipo compresivo. Estas fases de deformación están evidenciadas por pliegues, fallas y demás estructuras. La geología estructural finalmente define las zonas donde los plegamientos superaron los límites de elasticidad de las rocas y terminaron fracturando y fallando, estas zonas hidrológicamente funcionan como zonas de recarga de los acuíferos. En la zona de estudio podemos encontrar al anticlinal de Shaullo y al Sinclinal de Otuzco como principales estructuras, encontramos fracturas y fallas de nivel local y regional encontrándose estas últimas en dirección NW - SE perpendiculares a la dirección de los principales esfuerzos los cuales son NE – SW. (Ver Plano Geológico estructural – Anexos 04).

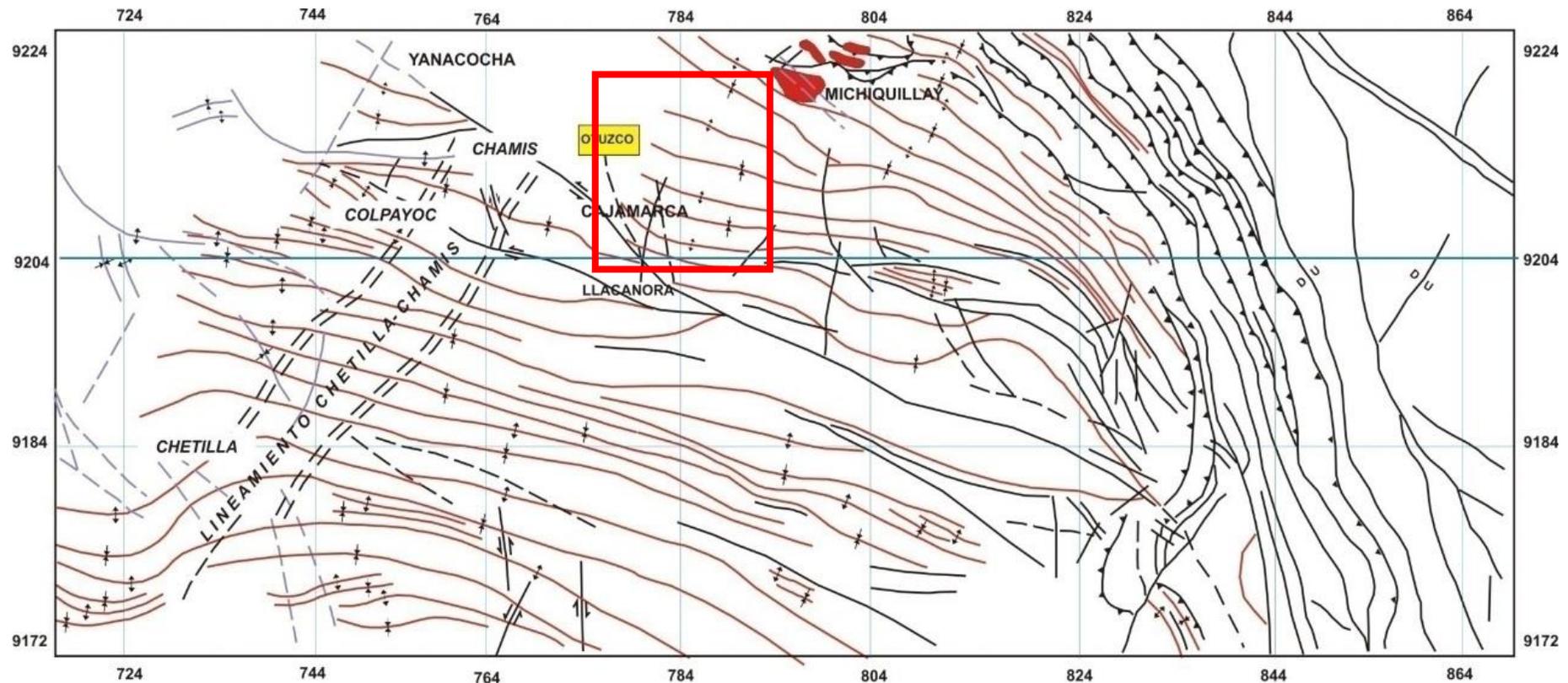


Figura 22: Mapa estructural, Principales plegamientos, orientación NW – SE (Lagos; 2011)

Los más importantes plegamientos en la zona de estudio lo conforman: a) Anticlinal Baños del Inca en cuyo núcleo se observa a la Formación Carhuáz perteneciente al Cretáceo inferior. b) El sinclinal de Otuzco que se proyecta desde la Pampa de la Culebra y es cubierta en Otuzco por los Volcánicos Huambos, este mismo es un pliegue en Abanico cuyo núcleo lo constituye la Formación Celendín del Cretáceo Superior.

SINCLINALES Y ANTICLINALES

Estas estructuras se caracterizan por tener un amplio desarrollo, las unidades principales son el anticlinal de Baños del Inca y el sinclinal tipo abanico de Otuzco los que describimos a continuación:

Los flancos del anticlinal de Los Baños del Inca están formados por estratos de areniscas cuarzosas corresponden a la Formación Farrat, en el eje se encuentran lutitas, limolitas y areniscas pertenecientes a la Formación Carhuaz, los buzamiento de ambos flancos varían entre 35° y 48° con alineamiento NW-SE. El flanco sur del anticlinal tiene una mayor pendiente (entre 65° y 70°) demostrando el carácter asimétrico de este anticlinal.

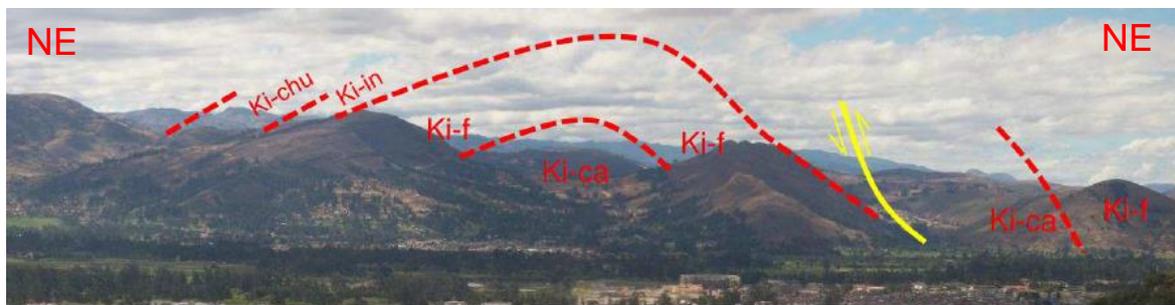


Figura 23: Interpretación de la secuencia Cretácica en Baños del Inca. (Bazán y Cerdán, 2009)

El Sinclinal Abanico de Otuzco se determinó en base a la estratigrafía de la Zona pues aparentemente se visualiza como un anticlinal, el mismo está compuesto por calizas y lutitas de color gris amarillento, perteneciente a la Formación Celendín, la zona se encuentra altamente intemperizada y dicha Formación es cortada por un afluente del río Chonta.

FALLAS

En el departamento de Cajamarca se evidencian una serie de fallas, que han sido originadas por fuerzas distensivas y compresionales efectuadas durante el levantamiento de los andes (fase Inca), siguiendo el rumbo del alineamiento andino. Estas estructuras se encuentran bien desarrolladas especialmente donde existen plegamientos, pues en algunos casos constituyen consecuencias de los efectos ocasionados por estos últimos.

El área estudiada pertenece a una zona paratectónica y como estructuras principales se presentan plegamientos intensos con la formación final de anticlinales y sinclinales que muestran una alineación NW - SE evidenciando los

esfuerzos que priman en dirección NE - SW que son los causantes de tal deformación, que representa la deformación dúctil, además se presenta deformación frágil evidenciada por la presencia de fallas normales.

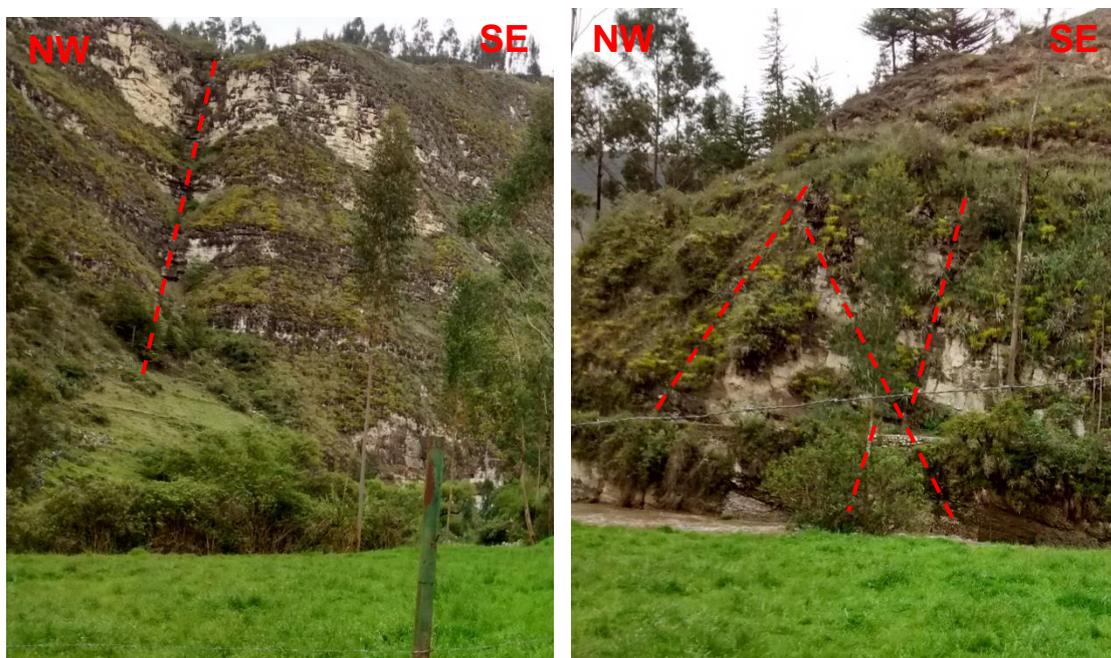


Figura 24: Evidencias de fallas normales, presentes en la Formación Yumagual, ubicado en el Sector Ligliconga.

3.1.8. GEOMORFOLOGÍA

El área de estudio se encuentra en la zona Norte de la Cordillera de los Andes del Perú, altamente influenciado al levantamiento de los Andes, el cartografiado geomorfológico de la Cuenca Chonta, se realizó teniendo en cuenta la caracterización de los siguientes aspectos: (Ver Plano Geomorfológico – Anexo 04).

Origen del relieve (por erosión o acumulación): Tipos de relieve (Laderas, escarpas, lomadas Y planicies), teniendo en cuenta su amplitud de relieve.

Para la descripción de las diferentes unidades geomorfológicas se menciona el tipo de litología principal de los afloramientos de roca y/o depósitos inconsolidados, el carácter estructural y la asociación morfogenética.

Laderas

La ladera es el declive de un monte, montaña o altura, cuya pendiente es el ángulo que forma con la horizontal, geográficamente, se define como una de las características de la morfología de la superficie terrestre o formas del relieve y es producto de los fenómenos del ciclo geográfico, consisten en unidades de relieve con propiedades morfométricas relativamente homogéneas, relativamente pequeñas de la superficie terrestre y limitadas por líneas de discontinuidad.



Figura 25: Laderas de 45° aproximadamente, este tipo de geomorfología se observa cerca al lecho de río Chonta, de Forma “V” características de los valles juveniles.

Escarpas

El escarpe o escarpa es una vertiente de roca que corta el terreno abruptamente. La pendiente es mayor a 45°, aunque sea solamente una parte de la vertiente. A veces adopta la forma de una cornisa, que corona una vertiente en una extensión más o menos larga, aunque conservando una altitud sensiblemente constante. Escarpe, de modo general, cualquier tipo de salto que interrumpe la continuidad de un paisaje. Sin embargo, el concepto específico hace referencia a los escarpes de falla, que corresponden a los saltos o pendientes visibles en las fracturas recientes de la corteza terrestre.



Figura 26: Escarpes cercanos a los lechos de ríos y quebradas, debido a la constante erosión, Quebrada de Shaullo.

Lomadas

Son cerros que presentan superficies amplias, redondeadas y con laderas suaves. En esta unidad se presentan procesos de erosión de laderas, flujos de detritos y algunos deslizamientos.



Figura 27: Lomadas formadas en las Formaciones Chulec y Pariatambo, Sector Licliconga.

Planicies

Son extensiones de terreno más o menos planas con ligeras ondulaciones, que tienen el mismo nivel en todas sus partes, donde los procesos de agradación superan a los de degradación (Dávila, 2006).

Las planicies están asociadas a depósitos aluviales, limitados en muchos casos por depósitos de piedemontes y laderas de montañas o colinas.



Figura 28: Planicies, terrenos con pendiente de 1° – 3°. Sector Shaullo Chico.

Valles: Geomorfológicamente el área de estudio se encuentra influenciada por valles juveniles en (V)



Figura 29: Vista panorámica, Valle en V, Sector Luichupucro Alto

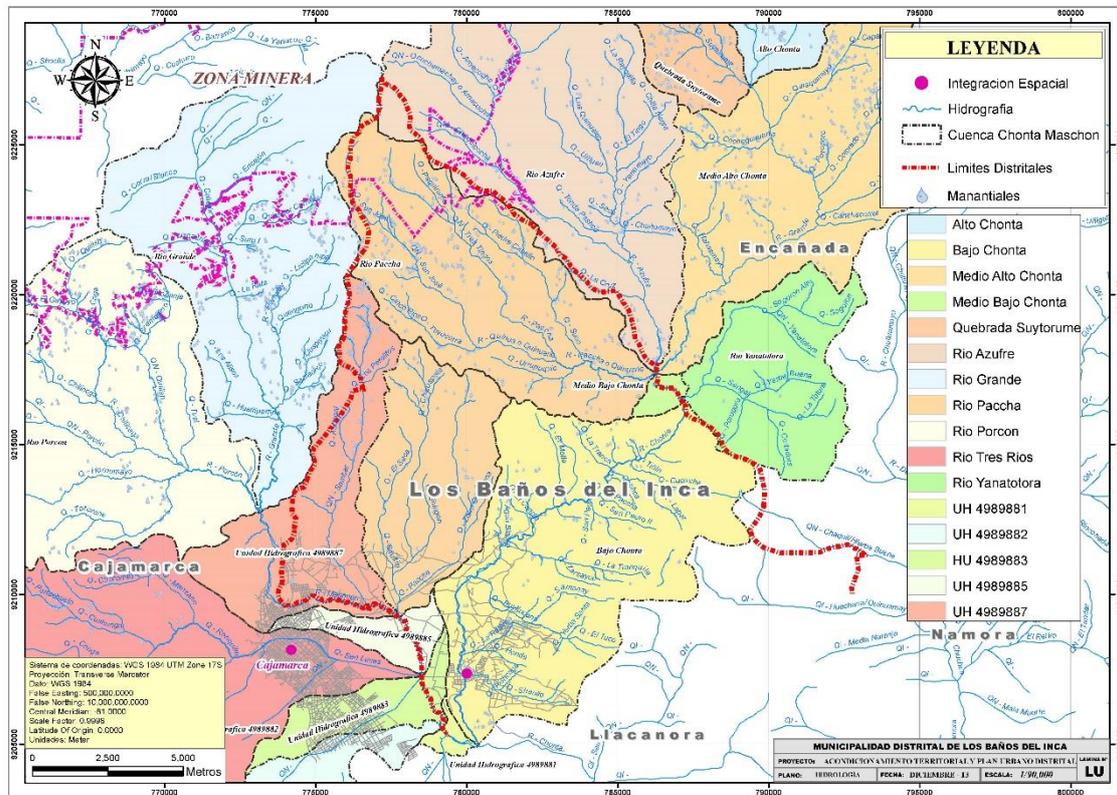
3.1.9 HIDROLOGÍA

La zona de estudio se encuentra ubicada dentro del área de influencia del Río Chonta, el mismo que se origina por la confluencia de los ríos: Río Paccha-Quinario, Río Azufre, Quebrada Saytorume, Alto Chonta y Medio Alto Chonta que al unirse estos forman la unidad hidrográfica Medio Bajo Chonta esta a su vez es interceptada por el río Yanatatora (Cuenca Sagal), formando la cuenca Bajo Chonta.

La dirección general del flujo de la cuenca es desde el lado oriental hacia la comunidad de Baños del Inca. El área total de captación de la Subcuenca del río Chonta es de aproximadamente 24500 hectáreas. Hay al menos tres subcuencas importantes: la cuenca del río Azufre con 7763 hectáreas, la cuenca del río Paccha-Quinario con 5321 hectáreas del y la cuenca del río Grande con 11417 hectáreas. El estimado de flujos anuales promedio de estas cuencas se estima en 1500, 1000 y 1750 litros por segundo, respectivamente. (Villanueva, 2014).

Plano hidrológico de la MDBI modificado

En la siguiente imagen se observa la red hidrográfica de la zona de estudio.



3.1.10. MATERIALES Y EQUIPOS

Comprende los materiales y equipos utilizados antes, durante y al finalizar los trabajos de campo:

Plano Topográfico y Geológico (Escala: 1/5,000), UTM WGS 84.

GPS navegador.

Brújula de Geólogo.

Protactor de 4 escalas.

Picota de geólogo.

Lupa 20X.

Lápiz de dureza (Rayador).

Ácido clorhídrico al 10%.

Libreta de campo.

Cámara fotográfica Canon 13 Mppx. Zoom Optico10X.

Laptop Toshiba Corei5.

Útiles de escritorio como papel, lápices, borradores y otro.

3.1.11. MÉTODOS

A continuación se describe el procedimiento, tratamiento, análisis de datos y presentación de resultados que se siguió para la elaboración del presente estudio.

a) PRIMERA ETAPA:

ETAPA DE GABINETE: Siendo esta la primera etapa del trabajo se procedió a reunir la siguiente información con la cual se iniciarían los trabajos respectivos:

Base geográfica: Imágenes satelitales y orto-fotos para la determinación de estructuras geológicas, geomorfología y topografía;

Planos topográficos: Para tener en cuenta el relieve de la zona, la accesibilidad a la zona de trabajo y realizar el cartografiado y ubicación de manantiales u otras fuentes de aguas subterráneas.

Mapas geológicos: la base geológica para posteriormente corroborar en el campo y clasificarla desde el punto de vista litológico, de esta manera implementar datos certeros a una escala adecuada;

Software: Microsoft office: Programas informáticos, aplicaciones que permitieron automatizar y perfeccionar la elaboración de la tesis (Microsoft Word 2016, Microsoft Excel 2016, Microsoft PowerPoint 2016). **Arcgis 10.3 :** Herramienta de geoprocésamiento que permite la captura, edición, análisis, tratamiento, diseño, publicación e impresión de información geográfica, utilizado para la elaboración de mapas temáticos.

ETAPA DE CAMPO: En la primera campaña de campo se realizan trabajos sistematizados, reconocimiento de la zona de estudio y lugares de acceso recolección de cierta información geológica.

b) SEGUNDA ETAPA: PROCEDIMIENTO Y TÉCNICAS DE RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN

ETAPA DE GABINETE

Delimitación del área de estudio

Se determinó la unidad de análisis, que para este estudio viene a ser la cuenca hidrográfica del río Chonta en el Distrito de Los Baños del Inca, la cuenca fue delimitada y codificada por la Autoridad Nacional de Agua (ANA, 2008), en base al sistema desarrollado por Otto Pfafstetter en 1989 y que fue adoptado como estándar internacional en 1997 por el Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS). Este es un sistema jerárquico que consiste en asignar un código ordinal a las unidades de drenaje basado en la topología de la superficie del terreno.

Recopilación de información bibliográfica

En primer lugar, se recopiló la información bibliográfica, cartográfica, fotográfica y documental existente acerca del área de estudio. Para la búsqueda y revisión bibliográfica se recurrió a la consulta de las bases de datos de bibliotecas especializadas: Instituto Geológico Minero y Metalúrgico, Instituto geográfico Nacional, Sociedad Geológica del Perú, Instituto Nacional de Recursos Naturales, Oficina Nacional de Evaluación de Recursos Naturales, Universidad Nacional de Cajamarca, Gobierno Regional entre otras.

En cuando a la información meteorológica e hidrológica, se solicitaron conjuntos de información al Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI).

ETAPA DE CAMPO

Control geológico

El mapa geológico se elabora en la etapa de gabinete, basándose en la información de las cartas geológicas y estudios previos; esta es corroborada con las campañas de campo en las cuales se delimita a menor escala los contactos entre formaciones geológicas, además de reconocimiento litológico que se realizó.

Mapeo hidrogeológico

El Cartografiado Hidrogeológico se realiza mediante campañas de campo realizadas en puntos estratégicos de tal manera de cubrir toda el área de trabajo. Se miden parámetros hidráulicos de manantiales, flujos superficiales y se hacen observaciones sobre sus condiciones.

Inventario de fuentes de agua

El inventario de fuentes de aguas superficial constituye un registro general y panorámico del comportamiento de los acuíferos, a través de sus descargas, su relación con la geología. Dentro de este contexto se dividen las fuentes de aguas subterráneas en dos: fuentes naturales (manantiales, fuentes termales, bofedales, puntos de control) y fuentes artificiales (sondajes verticales, pozos a tajo abierto, sondajes horizontales). Los parámetros y medidas considerados para el inventario de fuentes son recopilados en la ficha de inventario de fuentes en la cual considera los siguientes datos:

Tabla 11: Inventario de fuentes de agua.

Inventario de los recursos hídricos por caseríos dentro de la microcuenca del Río Chonta								
INVENTARIO DE LOS RECURSOS HÍDRICOS - CASERÍO - MANANTIALES								
CDG N° NOMBRE	CASERÍO LUGAR	TIPO DE MANANT	CAUDAL lt/seg.	FECHA MEDIC.	Coordenadas		USO ACTUAL	OBSERVACIONES
					ESTE	NORTE		

c) TERCERA ETAPA: TRATAMIENTO, ANÁLISIS DE DATOS Y PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

INFORMACIÓN GEOLÓGICA

La información geológica recopilada de la carta geológica nacional a escala 1:100000, fue procesada y trabajada a menor escala con la finalidad de reducir los márgenes de error, finalmente fue presentada en un mapa temático a escala 1/40000

INFORMACIÓN HIDROLÓGICA

a) Parámetros geomorfológicos de la cuenca (PGC)

Tratamiento: Se realizaron cálculos estadísticos en relación al área de la cuenca, perímetros, altitudes y red de drenaje.

Análisis de Datos: Análisis estadístico: Se utilizaron formulas empíricas para el cálculo de cada parámetro geomorfológico de la cuenca.

Análisis descriptivo / inferencial: Se explica los resultados obtenidos en base a parámetros geomorfológicos de la cuenca.

Presentación de resultados: Se presentan los resultados en tablas, figuras y mapas temáticos.

INFORMACIÓN HIDROGEOLÓGICA

a) Inventario de agua subterránea (manantiales)

Tratamiento: Codificación de las fuentes de agua inventariadas y/o muestreadas, tiene como base los lds otorgados por la ANA para la cuenca y sub cuencas, en base al método Pfafstetter.

Para tener un orden se ha codificado los manantiales, la codificación se explica a continuación con un ejemplo: **C – LA – 001**

La primera letra significa la inicial de la microcuenca, siendo la letra “C” del Chonta, las dos siguientes letras corresponden a las dos primeras letras del caserío, (LA, se refiere a Luichupucro Alto), los tres siguientes números corresponden a un orden correlativo de los manantiales, con éstos números se los está presentando en el plano.

Análisis de datos

Análisis estadístico: Ubicación estadística de los puntos de inventario y/o muestreo en la cuenca, para obtener información representativa.

Análisis descriptivo: Descripción del entorno geológico de la surgencia.

Presentación de resultados

Se presentaran en base de datos correctamente validada, para una interpretación y correlación de información de las surgencia. Además es representada en mapas temáticos.

b) Caracterización hidrogeológica

Tratamiento

En base al componente litológico de las formaciones geológicas apoyada con la información de parámetros hidrogeológicos (porosidad y permeabilidad), inventario de fuentes, se realiza una caracterización hidrogeológica de los diferentes tipos de afloramientos de la microcuenca del río Chonta – Baños del Inca.

Análisis de datos

Se realizó un cuadro de caracterización hidrogeológica de los diferentes tipos de formaciones teniendo en cuenta la porosidad y permeabilidad de las rocas en base a los cuadros mostrados en marco teórico.

Presentación de resultados:

Tabla de caracterización hidrogeológica:

Los datos son presentados en un cuadro que detallara la litología presente en las diferentes formaciones geológicas, así como su rangos de porosidad y permeabilidad basado en el los cuadros anteriores además se considerara las micro y macro estructuras que intervendrán en el comportamiento hidráulico de las rocas, estas características nos permitirán clasificar a las formaciones geológicas de acuerdo a las siguiente clasificación:

Tabla 12: Caracterización hidrogeológica

Unidad hidrogeológica	Clasificación	
Acuíferos	Acuífero poroso no consolidado	Acuífero poroso no consolidado
		Acuífero poroso no consolidado alto
		Acuífero poroso no consolidado medio
		Acuífero poroso no consolidado bajo
	Acuífero fisurado sedimentario	Acuífero fisurado sedimentario
		Acuífero fisurado sedimentario alto
		Acuífero fisurado sedimentario medio
		Acuífero fisurado sedimentario bajo
	Acuífero sedimentario	Acuífero sedimentario
		Acuífero sedimentario alto
		Acuífero sedimentario medio
		Acuífero sedimentario bajo
	Acuífero fisurado volcánico	Acuífero fisurado volcánico
		Acuífero fisurado volcánico alto
		Acuífero fisurado volcánico medio
		Acuífero fisurado volcánico bajo
	Acuífero volcánico sedimentario	Acuífero volcánico sedimentario
		Acuífero volcánico sedimentario alto
		Acuífero volcánico sedimentario medio
		Acuífero volcánico sedimentario bajo
	Acuífero fisurado volcánico sedimentario	Acuífero fisurado volcánico sedimentario
		Acuífero fisurado volcánico sedimentario alto
		Acuífero fisurado volcánico sedimentario medio
		Acuífero fisurado volcánico sedimentario bajo
Acuífero Kárstico	Acuífero Kárstico	
	Acuífero fisurado Kárstico	
Acuífero poroso consolidado	Acuífero poroso consolidado	
	Acuífero poroso volcánico	
	Acuífero de flujo de lava en bloques	
Acuitardo	Acuitardo	
	Acuitardo sedimentario	
	Acuitardo volcánico	
	Acuitardo metamórfico	
	Acuitardo intrusivo	
	Acuitardo volcánico sedimentario	
Acuicludo	Acuicludo	
	Acuicludo Sedimentario	
	Acuicludo Intrusivo	
	Acuicludo Metamórfico	
	Acuicludo Volcánico	
Acuífugo	Acuífugo	
	Acuífugo Sedimentario	
	Acuífugo Intrusivo	
	Acuífugo Metamórfico	
	Acuífugo Volcánico	

Fuente: (Ingemmet, 2010)

Mapa temático: La presentación espacial de la clasificación hidrogeología de las formación geológicas se realiza en base a un mapa hidrogeológico, este mapa contiene: La base geológica (litología y estructuras), red hidrográfica, distribución espacial de los tipos de acuíferos. La representación de la simbología, la leyenda y los colores del mapa hidrogeológico, se basan en la guía planteada por la Asociación Internacional de Hidrogeólogos, escrita por Struckmeier y Margat (1995), y que actualmente es utilizada por la mayoría de países en el mundo.

De acuerdo a esta guía, a continuación se explica el significado de los colores usados para elaborar el mapa hidrogeológico de la Microcuenca del río Chonta – Distrito de Los Baños del Inca.

Tabla 13: Significado de los colores usados para elaborar un mapa hidrogeológico.

	- En color azul. - Acuíferos porosos no consolidados, donde el agua subterránea se mueve a través de los poros de rocas no consolidadas (sedimentos fluviales y aluviales).
	- En color verde. - Acuíferos en los que el agua se mueve a través de una red de fracturas interconectadas en rocas sedimentarias cementadas (areniscas, cuarcitas y calizas).
	- En color morado. - Acuíferos en los que el agua se mueve a través de una red de fracturas interconectadas en rocas volcánicas compactas (andesitas, dacitas, dioritas).
	- En color marrón. - Acuitardos, rocas sedimentarias, volcánicas e intrusivas compactas y poco deformadas, con muy poco flujo de agua subterránea (Limoarcillitas y rocas intrusivas del batolito de la costa).
	- En color rojo toscano. - Acuicludos, rocas metamórficas ígneas y sedimentarias poco o nada deformadas, sin flujo de agua subterránea.

Fuente: (Struckmeier y Margat. 1995)

CAPÍTULO IV:

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1 PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

La microcuenca del Río Chonta está ubicada en la Cordillera de los Andes en el norte del Perú, el área total de la microcuenca dentro del distrito de Los Baños del Inca es de 68.57 km². El río Chonta tiene una longitud dentro del distrito de Los Baños del Inca de 41.46 km y la dirección de su recorrido es de Noreste a Suroeste, geomorfológicamente corresponde a una cuenca joven con laderas escarpadas y pendientes que oscilan entre 45° y 70° a los márgenes del río. Llanuras subhorizontales extensas al igual que lomadas. Los niveles altitudinales varían entre los 2625 y 3350 msnm. con rangos de precipitación mensual de 0.5 a 112mm. El río Chonta en su recorrido recibe el aporte de al menos 54 afluentes secundarios, generando caudales de hasta 124.00m³/seg (época de lluvia) y 0,15 m³/seg (época de estiaje).

Delimitación y Codificación Hidrográfica

El ámbito del estudio se encuentra dentro de la microcuenca del río Chonta, en el cuadro siguiente se muestra la codificación jerárquica hasta el nivel 6. Según la cual el río Chonta es afluente de la cuenca del Crisnejas, y de forma sucesiva, éste de la cuenca del Marañón y a su vez de la cuenca del Amazonas.

Tabla 14: Codificación Pfafstetter de la Microcuenca del río Chonta

Nivel	Nombre	Código
1	Región Hidrográfica del Amazonas	4
2	Intercuenca Alto Amazonas	49
3	Cuenca del río Marañón	498
4	Intercuenca Alto Marañón	4889
5	Cuenca del río Crisnejas	49898
6	Microcuenca del río Chonta	498989

Fuente: Zapata, 2007.

La cuenca del Río Chonta tiene un área de 345.13 km², y se divide en ocho unidades hidrográficas menores (cuencas e intercuencas) para el nivel 7, tal como se aprecia en el Cuadro.

Tabla 15: Niveles de las unidades hidrográficas menores, cuencas – intercuencas.

Nivel	Nombre	Código	Área (Km ²)
1	Alto Chonta	4989899	23.48
2	Quebrada Soyurume	4989898	21.17
3	Medio Alto Chonta	4989897	69.72
4	Río Azufre	4989896	77.63
5	Río Paccha – Quinuario	4989894	53.21
6	Medio Bajo Chonta	4989893	1.74
7	Río Yanatоторa - Sagal	4989892	27.57
8	Bajo Chonta	4989891	68.81
TOTAL			345.13

Fuente: Zapata, 2007.

El Área de estudio se encuentra en la unidad Bajo Chonta, correspondiente a la microcuenca del río Chonta dentro del Distrito de Los Baños del Inca.

4.1.1. MARCO GEOLÓGICO

Las características geológicas en la cuenca están ligados a los procesos geodinámicos ocurridos en la región. El Grupo Goyllarisquizga del Cretácico inferior está representado por las areniscas, calizas y lutitas de las Formaciones Carhuaz y Farrat, Inca, Chulec, Pariatambo, Yumahual, Quilquiñan Mujarrun, Cajamarca y Celendín las que se encuentran plegadas y altamente fracturadas.

Los depósitos volcánicos Paleógenos y Neógenos constituidos en su mayoría por flujos piroclásticos y de lava corresponden al Grupo Calipuy.

Finalmente se tienen los depósitos cuaternarios de origen aluvial, fluvial y lacustre; Los de origen aluvial y fluvial están conformados por gravas subangulosas y subredondeadas en un matriz areno limosa calcárea. Estos sedimentos se encuentran inconsolidados y afloran a lo largo del piso de valle y principalmente en la parte baja de la cuenca. (Ver plano geológico - Anexo 04).

4.1.2. PARÁMETROS GEOMORFOLÓGICOS DE UNA CUENCA.

Las características geomorfológicas que tiene la cuenca interactúan condicionando su comportamiento, para la recepción y distribución de las precipitaciones existentes sobre ella también se evalúa la fragilidad ambiental de la cuenca, considerando los impactos positivos y negativos de dicha intervención. El análisis y cálculo de los parámetros geomorfológicos ayudarán a estimar los valores de elementos principales que influyen en las posibles variaciones hidrometeorológicas que presenta la cuenca.

Superficie de la cuenca: Considerada como uno de los parámetros más importantes, se define como la proyección horizontal de todo el sector de drenaje, dirigido directa o indirectamente a un mismo cauce natural.

Tabla 16: Parámetros Básicos de la microcuenca – Área.

AREA TOTAL DE LA MICROCUENCA				
	Área (m ²)	Área (Km ²)	Perímetro (m)	Perímetro (Km)
Total	68565769.014	68.566	40289.970	40.290

Tabla 17: Clasificación de los Sistemas hidrológicos

TAMAÑO RELATIVO DE LOS SISTEMAS HIDROLÓGICOS		
Unid. Hidrológica	Área (km ²)	# de orden
Microcuenca	10-70	1,2,3
Subcuenca	70-700	4,5
Cuenca	más de 700	6 a más

El área de estudio comprende una extensión de 68.57Km² perteneciendo por tanto a la Unidad Hidrológica conocida como Microcuenca.

La extensión relacionada con el orden de los ríos da un criterio del grado de madurez, por lo que se determina que la microcuenca está en un rango intermedio entre joven y madura, el área de la microcuenca define cómo puede comportarse el caudal dentro de esta, ya que a mayor área mayor caudal, también da una idea de la energía del cauce principal.

Perímetro (P). El perímetro es coincidente con la línea divisoria de aguas, en la cuenca el perímetro es: 40.29 Km. es importante porque influye y delimita la generación de escorrentía superficial, además la conexión con el área puede decir algo sobre la forma de la cuenca. El ancho se define como la relación entre el área (A) y la longitud de la cuenca (L).

El ancho promedio de la microcuenca del Río Chonta es de **1.65 km** lo que indica que la relación entre el largo y el ancho estaría entre 1/2 aproximadamente teniendo así una forma oval oblonga.

b) Forma de la cuenca: La forma afecta las características de la descarga de la corriente, principalmente en eventos de flujo máximo. Para cuantificar estas características se realizó por medio de índices o coeficientes, los cuales son:

Índice de Gravelius o Coeficiente de compacidad (Kc).- Da la idea de la forma de la cuenca (Gravelius, 1914).

Se trata de explicar la influencia del perímetro y el área de una cuenca con la escorrentía. Si $K = 1$, la cuenca tendrá forma circular; si $K > 1$ se tiene una cuenca alargada, donde hay probabilidades de que ésta sea cubierta en su totalidad, lo que afecta el tipo de respuesta que se presenta en el río. En la microcuenca de río Chonta el índice de gravelius es **1.36** por lo que toma la forma de cuenca oval-redonda a oval-oblonga.

Tabla 18: forma de la microcuenca del río Chonta

Clase de forma	Índice de compacidad (Kc)	Forma de la cuenca
Clase I	0.1 a 1.25	Casi redonda a oval - redonda
Clase II	1.26 a 1.50	Oval - redonda a oval - oblonga
Clase III	1.51 a 1.75	Oval - oblonga a rectangular-oblonga

Fuente: Fuentes, 2004

Factor de Forma (Ff).- Es un factor comparativo de crecientes con otras cuencas del mismo tamaño. Relaciona el área de la cuenca y la longitud axial de la misma. Este factor está ligado a las súbitas crecientes del cauce y la tendencia de concentración de lluvias. En la microcuenca del Río Chonta se tiene un Factor de

Forma de **0.04** por lo que se tiene una cuenca ligeramente achatada, esto es importante para el análisis de las crecidas, la microcuenca del río Chonta es proclive a las crecidas al ser una microcuenca oval-redonda a oval-oblonga.

Tabla 19: Clasificación de valores de forma

Clase de valores de forma	
0.01 – 0.18	Muy poco achatada
0.18 – 0.36	Ligeramente achatada
0.36 – 0.54	Moderadamente achatada

Fuente: Fuentes, 2004

Relación de Elongación (Re).- Este valor varía entre 0.6 y 1 para una amplia variedad de climas y materiales geológicos, además está fuertemente correlacionada con el relieve de la cuenca, para la microcuenca del río Chonta la $Re = 0.6526$, de manera que valores cercanos a la unidad son típicos de regiones con relieve bajo, en cambio donde varía de 0.60 a 0.80 se trata de fuertes relieves y pendientes pronunciadas del terreno.

c) Sistema de drenaje: Este parámetro se refiere a las trayectorias o a la ocupación que guardan entre sí con el cauce principal y sus tributarios.

Orden de corrientes de agua:

Tabla 20: Grado de ramificación

CANTIDAD	DRENAJE	LONGITUD (Km)
43	1er orden	53.49
9	2do orden	15.83
1	3er orden	41.46
53	TOTAL	110.78

(Ver Orden de ríos - Anexos 04).

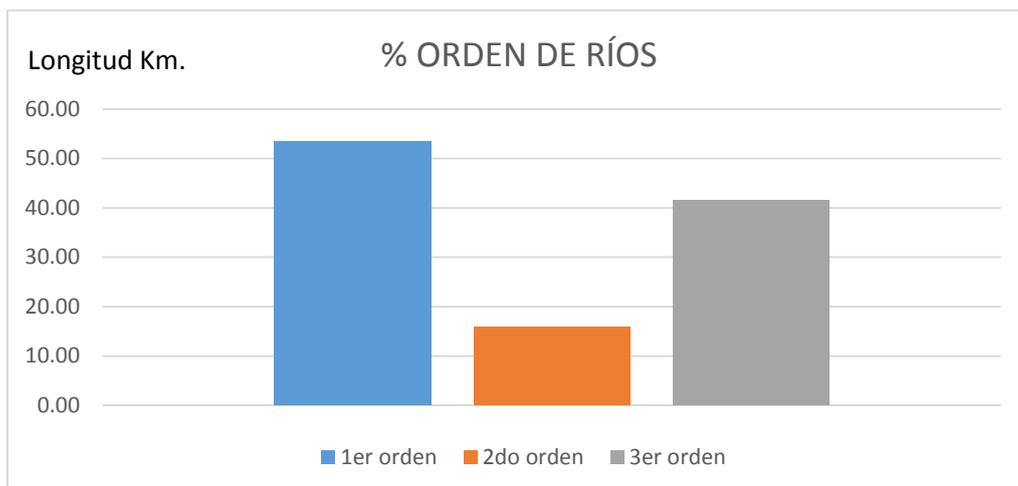


Figura 30: Porcentaje de Orden de ríos.

En la Microcuenca del río Chonta se tiene un orden de drenaje 4, cuando hablamos de Grado de ramificación claramente se observa que el valor mínimo es dos y generalmente nunca se encuentran valores cercanos a éste bajo condiciones naturales. En general se puede decir que los valores para cuencas de una misma zona son muy similares.

Normalmente valores muy altos son esperados en regiones muy montañosas y rocosas o en cuencas alargadas en la dirección del río principal o de mayor orden. Las cuencas altamente disectadas tienen un orden de cauce alto y los suelos son relativamente impermeables; entonces, la respuesta a una tormenta es rápida.

Longitud del Cauce Principal (LCP):

El río Chonta es un río de orden 04 pero ya que el análisis de la microcuenca se realiza únicamente dentro del distrito de Los Baños del Inca y los afluentes son como máximo de orden 02, el río se puede considerar de orden 03, con la longitud de 53.59 km, Se observa además que la sumatoria de los ríos de orden 03 y el cauce principal no están muy distantes.

Densidad de drenaje (Dd). Constituye otro parámetro que permite correlacionar la capacidad volumétrica de la cuenca y el volumen de almacenamiento de agua, cuando las condiciones climáticas y geológicas son homogéneas entre las demás cuencas.

En la cuenca de río Chonta tenemos una densidad de Drenaje de 1.62km/km² por lo que se tiene una densidad de drenaje moderado, por lo general se encuentran bajas densidades de drenaje en regiones de rocas resistentes o de suelos muy permeables con vegetación densa y donde el relieve es débil, en cambio, se obtienen altas densidades de drenaje en áreas de rocas débiles o de suelos impermeables, vegetación escasa y relieve montañoso. Teóricamente, las cuencas con mayor densidad de drenaje poseen una mayor capacidad para coleccionar el agua de lluvia.

Tabla 21: Densidad de Drenaje

Densidad de Drenaje (Km/Km2)	Categoría
< 1	Baja
1 a 2	Moderada
2 a 3	Alta
> 3	Muy Alta

Fuente: Delgadillo y Páez (2008).

Longitud media de la escorrentía superficial (I). Es la distancia media que el agua debería escurrir sobre las cuencas para llegar a un cauce, en la Microcuenca del río Chonta se tiene una extensión media de escurrimiento superficial de 0.15 km, este bajo valor indicaría la elevada cantidad de cursos de agua que tiene la microcuenca.

Características del relieve (CR): Estas características representan la declividad de la cuenca, se considera la variación de los terrenos con referencia al nivel del mar. Desde el Punto de vista hidrogeológico, nos permite zonificar partes de relieve que tengan condiciones para la recarga de acuíferos, almacenamiento y descarga. Para lo cual tenemos los siguientes índices:

Desnivel Altitudinal (DA): En la Microcuenca del Río Chonta observamos que el desnivel altitudinal es de 800 metros; relacionado con la variabilidad climática y ecológica que podemos encontrar en la Microcuenca no es muy variable. Correspondiente a la Sub-región Quechua, entre 2300 y los 3500 msnm, con un clima templado y seco.

Tabla 22: Desnivel altitudinal

Desnivel Altitudinal : DA (Datos SIG)		
HM	Hm	DA
3,450.00	2,650.00	800.00

El análisis de los pisos ecológicos nos permiten conocer la variabilidad climática en cada área, en el caso de la microcuenca Chonta no hay una variación muy significativa. Este parámetro es de importancia pues da un índice de la velocidad de la escorrentía y su poder de arrastre y de la erosión sobre la cuenca, 800 metros de desnivel nos indica un flujo de agua medianamente erosivo.

Curva hipsométrica. Es la representación gráfica de las elevaciones del terreno en función de las superficies correspondientes. Indica el porcentaje de área de la cuenca o bien la superficie de la cuenca en km², que existe por encima de una cota determinada.

Tabla 23: Curva Hipsométrica

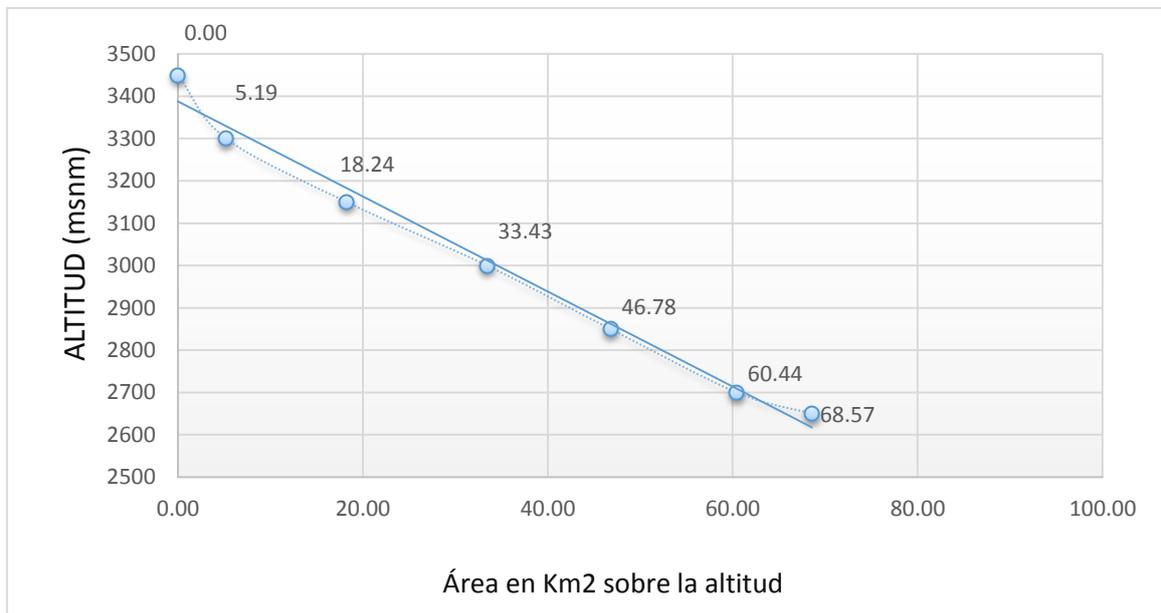


Figura 31: Curva Hipsométrica microcuenca del río Chonta

La curva hipsométrica determina la distribución altimétrica de las áreas de la Subcuenca e indica el porcentaje del área de drenaje que se encuentra por encima o por debajo de cada altitud considerada. (Ver Plano Áreas Parciales – Anexos 04).

Comparando la curva hipsométrica obtenida en el cálculo podemos observar que la microcuenca del río Chonta se encuentra en equilibrio y en una fase de madurez como lo observamos en el análisis de Áreas.

Curva de frecuencia de altitudes. Es la representación gráfica de la distribución en porcentaje de las superficies ocupadas por diferentes altitudes. Es un complemento de la curva hipsométrica que nos permite zonificar las mejores características con condiciones para el almacenamiento y circulación de aguas subterráneas de acuerdo a su frecuencia de semejante altitud.

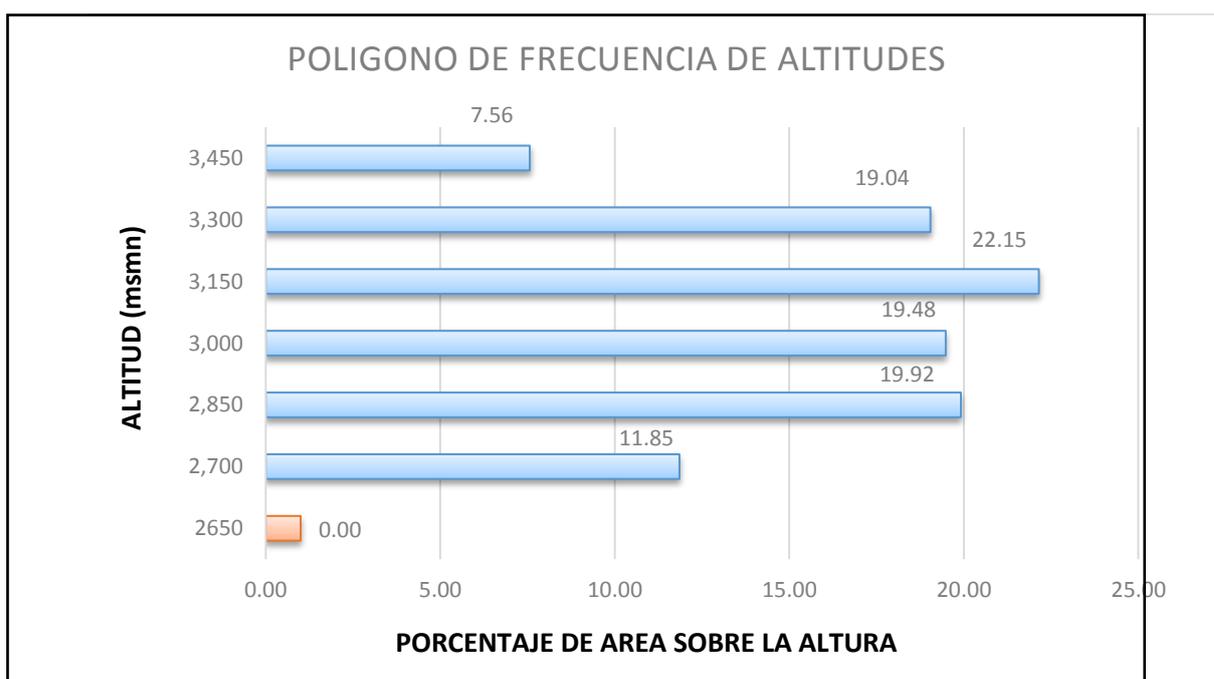


Figura 32: Curva de frecuencia de altitudes

Elevación media de la cuenca (altitud media). La elevación media de la cuenca tiene influencia fundamental en el régimen hidrológico, puesto que guarda relación con las precipitaciones que alimentan la cuenca.

Tabla 24: altura media de la microcuenca

Altura media
2989.87 msnm

La altura media en la microcuenca del río Chonta es de 2989.87 por lo que ubica a la cuenca en una zona Quechua (2300 - 3500 msnm), el clima es templado y seco), importante para conocer la vegetación de la zona que influye significativamente en el potencial de erosión que tendrán los causes. La tendencia de vegetación para estas altitudes lo conforman: Arboles de eucalipto, pinos, variedad de tipos de arbustos y forraje siempre que haya índices medios de humedad.

Pendiente de la corriente de máximo recorrido (Lmr). Se pueden definir varias pendientes del cauce principal: la pendiente media, la pendiente media ponderada y la pendiente equivalente.

Pendiente media del río. - Indica la declividad de un curso de agua entre dos puntos, que la subcuenca tiene una pendiente favorable para el tiempo de traslado del recurso hídrico desde el punto de recarga hasta el punto de desemboque, ayudará a que se acelere el aprovechamiento del agua en la población. Para la microcuenca Chonta la pendiente media del río es de 0.01

Tabla 25: Rangos aproximados de la pendiente de la cuenca

Pendiente media (%)	Terrenos
0 a 2	Llano
2 a 5	Suave
5 a 10	Accidentado medio
10 a 15	Accidentado
15 a 25	Fuertemente accidentado
25 a 50	Escarpado
> 50	Muy escarpado

Declive equivalente constante. Es de 0.3 para la microcuenca Chonta Este parámetro indica el tiempo de traslado del agua a lo largo del perfil longitudinal, da una idea del caudal y de la capacidad erosiva de la microcuenca, que en este caso tiene una mediana capacidad erosiva.

Rectángulo equivalente. Se trata de un rectángulo que tiene igual superficie, perímetro, coeficiente de compacidad y distribución hipsométrica que la cuenca.

Parámetro del rectángulo equivalente

Supone la transformación geométrica de la cuenca real en una superficie rectangular de lados L y l del mismo perímetro de tal forma que las curvas de nivel se convierten en rectas paralelas a los lados menores del rectángulo, la relación entre el L y l es de aproximadamente 1/4 .

Tabla 26: Lados del rectángulo equivalente.

L	15.76	Km
l	4.35	Km

Coeficiente de masividad (Cm). Este índice expresa la relación entre la altitud media de la cuenca y el área total de la misma. En terrenos llanos el valor es más bajo que en los terrenos abruptos.

Para la microcuenca del Río Chonta el Coeficiente de masividad es de 43.606 Comparando con la tabla se tiene una clase de masividad muy montañosa, el resultado es alto para cuencas de cumbres altas y bajo en cuencas donde predominan terrenos planos que presentan áreas similares

Tabla 27: Coeficiente de masividad.

Clases de valores de masividad	
Rangos de Km	Clases de masividad
0 – 35	Muy Montañosa
35 – 70	Montañosa
70 – 105	Moderadamente montañosa

Fuente: Domínguez, 2002

4.1.3. ANÁLISIS DE UNIDADES HIDROGEOLÓGICAS.

Los manantiales constituyen un registro panorámico de la evidencia de aguas subterráneas en el subsuelo, están ligadas a las condiciones geológicas de la cuenca como son la naturaleza de la roca y sus características litológicas.

Los parámetros hidrogeológicos están relacionados a las propiedades hidráulicas de las unidades geológicas, en particular a la porosidad eficaz, permeabilidad y transmisividad que determinan el volumen de agua subterránea contenida en los acuíferos y el caudal útil que se puede obtener de la roca almacén. La caracterización hidrogeológica de la cuenca del río Chonta ha permitido diferenciar los siguientes tipos de acuíferos. (Ver Plano Topográfico hidrológico – Anexos 04).

La primera correspondiente a los acuíferos fisurados de las formaciones Cretácicas ubicadas al SW de la cuenca y constituidas por areniscas cuarzosas altamente fracturadas y falladas.

El segundo grupo es el acuífero poroso no consolidado constituido por los sedimentos cuaternarios recientes principalmente de origen lagunar y fluvial, ubicadas en la parte baja SW de la cuenca donde actualmente se explota el agua subterránea a través de perforaciones verticales (pozos).

El tercer grupo denominado acuitardos, conformado por depósitos volcánicos del paleógeno Grupo Calipuy, además de las formaciones Cretácicas (calizas masivas y/o fracturadas y lutitas).

La dirección general del flujo de la cuenca es desde las tierras altas del lado oriental hacia la comunidad de Los Baños del Inca, los tipos de fuentes de agua superficiales inventariadas en el ámbito del estudio fueron: ríos, quebradas y manantiales los cuales se detallan a continuación:

Tabla 28: Inventario de Ríos – Microcuenca Chonta

Inventario de Ríos – Microcuenca Chonta					
Nº	Nombre	Tipo red hídrica	Caudal m ³ /seg	Orden red	Longitud Km
1	Tiñin	Q	8.5	1	1.22
2	El Molino	Q	0	1	1.02
3	Cucucho	Q	0.5	1	3.58
4	Luchopecro bajo	Q	0.25	1	1.21
5	Shuca	Q	40	1	0.79
6	Collarina (Cahuiña)	Q	3	1	0.76
7	La Chorrera	Q	1.3	1	1.04
8	El Chivo	Q	12	1	0.53
9	La Tranca	Q	38	2	1.61
10	Lapar	Q	0.3	1	2.3
11	Cashca	Q	0.1	1	1.48
12	La Paccha	Q	0	1	1.07
13	San Pedro II	Q	0	1	1.83
14	Eracapata	Q	0.34	1	0.96
15	Sacsamayo	Q	3	1	0.4
16	Pishcaga	Q	0.01	1	0.63
17	Shaullo	Q	1.3	2	3.34
18	Tingomayo	Q	2.5	1	0.78
19	Callacoma	Q	0.8	1	0.98
20	Honda	Q	0.8	1	1.7
21	La Retama	Q	4	1	2.06
22	Lla Lucma Tutulumayo	Q	6	1	0.67
23	Las Cargachas	Q	1.5	1	1.14
24	Yerba Santa	Q	1.4	1	1.04
25	Samanay	Q	2	1	3.4
26	La Paccha	Q	40	1	0.9
27	Puyllucana	Q	30	2	2.93
28	La Tranquila	Q	2	1	1.6
29	El Hualte	Q	0.66	1	0.96
30	Hualte Chico	Q	0.9	1	0.61
31	Colorada	Q	0.01	1	0.58
32	Zarsayoc	Q	0.7	1	1.95
33	Blanca	Q	0.25	1	0.4
34	Chupicaloma	Q	2.8	1	0.27
35	Agua Blanca	Q	2.9	1	1.47
36	Abanto	Q	4.5	1	1.26
37	El Candin	Q	6	1	0.52
38	El Candin	Q	12	1	1.71
39	El Molle	Q	4	1	3.5
40	San Pedro II	Q	2.5	1	0.54

Inventario de Ríos – Microcuenca Chonta					
Nº	Nombre	Tipo red hídrica	Caudal m ³ /seg	Orden red	Longitud Km
41	Los Cipreces	Q	0.2	1	0.49
42	Carahuanga	Q	2.6	1	2.62
43	Cagañan	Q	1.2	1	0.59
44	San Pedro	Q	0.4	1	0.64
45	Mashcón	R	50	5	30.26
46	Chonta	R	124	4	41.46
47	Cucuche	Q	0.5	2	1.24
48	La Tranca	Q	38	1	0.58
49	San Pedro II	Q	0	2	0.89
50	Agua Blanca	Q	2.9	2	0.34
51	La Tranquila	Q	2	2	3.4
52	El Tuco	Q	5	1	1.71
53	El Tuco	Q	5	2	1.42
54	La Retama	Q	4	2	0.66

Fuente: Datos de caudales suministrados por Junta de usuarios del Río Chonta

Se presenta al menos 54 afluentes del río Chonta, cada uno de ellos con caudales representativos, ninguno estacionario.

Tabla 29: Inventario de fuentes de agua

INVENTARIO DE MANANTIALES – MICROCUENCA CHONTA					
Código	Caserío	Nombre o ubicación	Latitud	Longitud	msnm
C-LA-001	Luichupucro Alto	Llipiac	787677	9213924	3.170
C-LA-002	Luichupucro Alto	El Puquio	788195	9213889	3.216
C-LA-003	Luichupucro Alto	El Misho	787152	9213912	3.132
C-LA-004	Luichupucro Alto	La Zarza	786990	9213921	3.125
C-LA-005	Luichupucro Alto	El Choropunta	787863	9215086	3.287
C-LA-006	Luichupucro Alto	El Granero 1	786718	9213701	3.131
C-LA-007	Luichupucro Alto	El Granero 2	786690	9213688	3.133
C-LA-008	Luichupucro Alto	Lapar	786727	9213304	3.162
C-LA-009	Luichupucro Alto	El Pishgo	787152	9213045	3.228
C-LB-010	Luichupucro Bajo	Antigua Loma 1	784865	9213509	2.938
C-LB-011	Luichupucro Bajo	El chorro chico	785719	9214195	2.942
C-LB-012	Luichupucro Bajo	El Cocuche	785690	9214231	2.946
C-LB-013	Luichupucro Bajo	Paccha	786043	9214166	2.988
C-LB-014	Luichupucro Bajo	El Aliso	787092	9214910	3.118
C-LB-015	Luichupucro Bajo	Parc. Sebastian Llanos	787089	9215194	3.089
C-LB-016	Luichupucro Bajo	El Tomate	786043	9214166	
C-LB-017	Luichupucro Bajo	Ullma	787069	9215199	3.083

INVENTARIO DE MANANTIALES – MICROCUENCA CHONTA					
Código	Caserío	Nombre o ubicación	Latitud	Longitud	msnm
C-LB-018	Luichupucro Bajo	Antigua Loma 2	786935	9214992	3.004
C-LB-019	Luichupucro Bajo	Parc. Cesar Huingo	786831	9215156	2.931
C-LB-020	Luichupucro Bajo	Parc. Carlota Ruiz	786460	9214940	2.894
C-LB-021	Luichupucro Bajo	Parc. María López	785700	9214765	2.83
C-LB-022	Luichupucro Bajo	El Tiñín	785551	9214205	2.954
C-LIC-023	Licliconga	El Champa 1	786908	9211544	3.186
C-LIC-024	Licliconga	El Champa 2	786936	9211591	3.192
C-LIC-025	Licliconga	El Champa 3	786952	9211591	3.202
C-LIC-026	Licliconga	El Lapar 1	787280	9211450	3.201
C-LIC-027	Licliconga	El Lapar 2	787286	9211465	3.206
C-LIC-028	Licliconga	El Lapar 3	787338	9211503	3.219
C-LIC-029	Licliconga	El Tomate 1	785665	9212582	3.152
C-LIC-030	Licliconga	El Tomate 2	785671	9212576	3.159
C-LIC-031	Licliconga	Iracapata 1	784950	9212693	3.088
C-LIC-032	Licliconga	Iracapata 2	784883	9212816	3.062
C-LIC-033	Licliconga	San Pedro Gavilán 1	784179	9212939	3.023
C-LIC-034	Licliconga	San Pedro Gavilán 2	784203	9212939	3.027
C-LIC-035	Licliconga	Parc. Pablo Luicho	784078	9212881	2.995
C-LIC-036	Licliconga	Parc. Raúl Luicho	783921	9212862	2.976
C-LIC-037	Licliconga	El Hualte 1	786255	9209941	3.062
C-LIC-038	Licliconga	El Hualte 2	784811	9210946	3.056
C-LIC-039	Licliconga	La Saca	785074	9211096	3.026
C-LIC-040	Licliconga	Agua Blanca 1	784496	9211414	3.013
C-LIC-041	Licliconga	Agua Blanca 2	784444	9211426	3.008
C-LIC-042	Licliconga	La Vizcacha	785674	9210747	3.114
C-LIC-043	Licliconga	Parc. Margarita Chacón	783358	9212976	2.85
C-LIC-044	Licliconga	Parc. Margarita Chacón	783353	9212984	2.848
C-C1-045	Carahuanga 1	Parc. Juan	785009	9215403	3.072
C-C1-046	Carahuanga 1	La Vizcacha	784984	9215934	3.227
C-C1-047	Carahuanga 1	La Peña	785214	9216099	3.280
C-C1-048	Carahuanga 1	Hierbasanta	785641	9216136	3.281
C-C1-049	Carahuanga 1	Ullma	785860	9215564	3.054
C-C1-050	Carahuanga 1	Sucac 1	785714	9215428	3.053
C-C1-051	Carahuanga 1	Sucac 2	785743	9215440	3.048
C-C1-052	Carahuanga 1	Sucac 3	785706	9215520	3.07
C-C1-053	Carahuanga 1	Chuñiguín	786123	9215179	2.846
C-C1-054	Carahuanga 1	Huarhuar	784199	9215795	3.191
C-C1-055	Carahuanga 1	Yerbasanta	784001	9215815	3.166
C-C1-056	Carahuanga 1	Parc. Santos Sangay	783940	9215723	3.16
C-C2-057	Carahuanga 2	Parc. Nolberto Saucedo	783112	9215672	3.167
C-C2-058	Carahuanga 2	Parc. Nolberto Saucedo	783004	9215801	3.188
C-C2-059	Carahuanga 2	Parc. Nolberto Saucedo	783160	9215847	3.187
C-C2-060	Carahuanga 2	Parc. Leoncio Saucedo	783205	9214187	2.896

INVENTARIO DE MANANTIALES – MICROCUENCA CHONTA					
Código	Caserío	Nombre o ubicación	Latitud	Longitud	msnm
C-C2-061	Carahuanga 2	Carahuanga	782959	9215839	3.189
C-CO-062	Chinchin Otuzco	Shitapuquio	782242	9214272	3.006
C-CO-063	Chinchin Otuzco	Zorro Huachana 1	781995	9214362	3.047
C-CO-064	Chinchin Otuzco	Zorro Huachana 2	781957	9214491	3.075
C-CO-065	Chinchin Otuzco	Zorro Huachana 3	781899	9214513	3.125
C-CO-066	Chinchin Otuzco	Challguayoc	781523	9214829	3.164
C-CO-067	Chinchin Otuzco	Ventanillas	782391	9215809	3.248
C-CO-068	Chinchin Otuzco	El Tandal	782341	9214624	3.085
C-CO-069	Chinchin Otuzco	Parc. Rosas Sánchez	782495	9214312	3.019
C-CO-070	Chinchin Otuzco	Parc. Rosas Sánchez	782350	9213861	2.924
C-CO-071	Chinchin Otuzco	Cajayoc	782320	9213678	2.900
C-CO-072	Chinchin Otuzco	Oshapampa Chica	782996	9215048	3.137
C-CO-073	Chinchin Otuzco	Huarhuarnuyoc Peña colorada	782934	9215842	3.198
C-CO-074	Chinchin Otuzco	Parc. Felipe Jualca	782857	9215461	3.179
C-CO-075	Chinchin Otuzco	El Candín 3	781741	9213434	2.872
C-ROS-076	Rosapampa	El Candín 1	781678	9213412	2.936
C-ROS-077	Rosapampa	El Candín 2	781715	9213449	2.888
C-ROS-078	Rosapampa	El Candín 4	781795	9213270	2.822
C-ROS-079	Rosapampa	Parc. Gaspar Murga	781925	9213005	2.799
C-SH-080	Shitaloma	Machaipongo	781423	9213485	2.958
C-SH-081	Shitaloma	Poroporo	781333	9213564	
C-SH-082	Shitaloma	Hierbasanta 1	781476	9213480	2.958
C-SH-083	Shitaloma	Parc. Lorenzo Mosqueira	781506	9213443	2.944
C-SH-084	Shitaloma	La Saca	781469	9213499	2.967
C-SH-085	Shitaloma	Hierbasanta 2	781490	9213486	2.958
C-SH-086	Shitaloma	Shitamayo	781423	9213436	2.944
C-VA-087	Vista Alegre	Puspuquero	781308	9213253	2.92
C-RO-088	Rinc. de Otuzco	Agua Blanca	782304	9212924	2.755
C-LVO-089	La Victoria Otuzco	Succhapuquio	782172	9212034	2.731
C-LVO-090	La Victoria Otuzco	Mishapuquio 1	782514	9211680	2.749
C-LVO-091	La Victoria Otuzco	Mishapuquio 2	782520	9211684	2.751
C-LVO-092	La Victoria Otuzco	La Tranquila el Sarsayoc	783224	9211532	2.824
C-AO-093	Alto Otuzco	Edonuyoc	782172	9212034	2.731
C-AO-094	Alto Otuzco	Parc. Faustina Yopla	782514	9211680	2.749
C-AO-095	Alto Otuzco	Parc. Jesús Rudas	782520	9211684	2.751
C-TC-096	Tartar Chico	Parc. Sebastiana Yopla	780282	9210804	2.699
C-PUY-097	Puylucana	Ilimana	781024	9210198	2.736
C-PUY-098	Puylucana	Puylucana	782568	9209594	2.818
C-PUY-099	Puylucana	Pampa Iracusco	782647	9209662	2.836
C-PUY-100	Puylucana	SAP Los Baños del Inca	781715	9209339	2.76
C-PUY-101	Puylucana	Retama la hiebasanta	781721	9209285	2.756
C-LR-102	La Retama	La Retama	782169	9209116	2.803

INVENTARIO DE MANANTIALES – MICROCUENCA CHONTA					
Código	Caserío	Nombre o ubicación	Latitud	Longitud	msnm
C-LR-103	La Retama	La Huachina	782328	9208815	2.882
C-LR-104	La Retama	El manantial de Sangay	781763	9209368	2.769
C-LR-105	La Retama	Las Huertas	782143	9209034	2.816
C-LR-106	La Retama	Las Huayllas	782227	9208952	2.837
C-SC-107	Shaullo Chico	La Huaylla 1	783249	9207010	2.833
C-SC-108	Shaullo Chico	La Huaylla 2	783267	9206990	2.831
C-SC-109	Shaullo Chico	SN	783210	9207143	2.845
C-SC-110	Shaullo Chico	Parc. Margarita Aguilar	783520	9207579	2.937
C-SC-111	Shaullo Chico	Todelo Puquio	782553	9207560	2.835
C-CTC-112	Chinchin Tres Cruces	Parc. Carlos Roncal	783711	9208439	2.983
C-CTC-113	Chinchin Tres Cruces	SAP			
C-SC-114	Santa Úrsula	Chilín	787457	9208227	3.024
C-SC-115	Santa Úrsula	Hierba Santa	787357	9207891	2.989
C-SC-116	Santa Úrsula	Santa Úrsula	787765	9207944	3.077

Esta clasificación ayudó a evaluar las unidades hidrogeológicas presentes en la cuenca. El objetivo de la clasificación de los manantiales, es el de caracterizar las diferentes formaciones geológicas desde el punto de vista hidrogeológico donde se tiene la evidencia de la surgencia de aguas subterráneas, el cual permite evaluar las áreas de mayor interés para su explotación.

Determinación de parámetros hidrogeológicos

Los parámetros hidrogeológicos fundamentales tomados para realizar la caracterización hidrogeológica de la microcuenca del río Chonta han sido la permeabilidad (m/día) y porosidad (%).

La permeabilidad y porosidad de los diferentes tipos de litología fueron obtenidas de los siguientes cuadros.

Tabla 30: Valores estimados de la conductividad hidráulica (metros /día).

		Domenico	Smith & W	Freeze	Fetter	Sanders
Sedimentos	Grava	25 a 2500	100 a 10 ⁵	100 a 10 ⁶	10 a 1000	
	Grava con Arena					
	Arena gruesa	0.1 a 500	0.01 a 1000	1 a 1000	1 a 100	1 a 100
	Arena media	0.1 a 50				
	Arena fina	0.02 a 20			0.01 a 1	0.01 a 1
	Arena arcillosa			0.01 a 100	0.001 a 1	
	Slit, loess	10 ⁻⁴ a 2	10 ⁻⁴ a 1	10 ⁻⁴ a 1	0.001 a 1	10 ⁻⁴ a 1
	Arcilla	10 ⁻⁶ a 4*10 ⁻⁴	10 ⁻⁷ a 10 ⁻³		10 ⁻⁶ a 10 ⁻³	10 ⁻⁶ a 10 ⁻³
Arcilla marina inalterada	10 ⁻⁷ a 2*10 ⁻⁴		10 ⁻¹¹ a 10 ⁻⁷			
Rocas Sedimentarias	Calizas carstificadas	0.1 a 2000	0.05 a 0.5	0.1 a 1000		0.1 a 10 ⁷
	Calizas, dolomías	10 ⁻⁴ a 0.5	0.001 a 0.5	10 ⁻⁴ a 1		10 ⁻⁴ a 1
	Areniscas	3*10 ⁻⁵ a 0.5	10 ⁻⁵ a 1	10 ⁻⁵ a 1		
	Argilitas (siltstone)	10 ⁻⁶ a 0.001				
	Pizarra sedimentarias (Shale) intactas	10 ⁻⁸ a 2*10 ⁻⁴	10 ⁻⁸ a 10 ⁻⁴	10 ⁻⁴ a 10 ⁻⁸		10 ⁻⁴ a 10 ⁻⁸
	Pizarras sedimentarias (Shale) fracturadas/alteradas		10 ⁻⁴ a 1			
Rocas Cristalinas	Basalto inalterado, sin fracturar		10 ⁻⁶ a 10 ⁻³			10 ⁻⁶ a 10 ⁻³
	Basalto fracturado/vesicular cuaternario		10 a 1000			0.1 a 106
	Escorias basálticas		0.001 a 1000			
	Basalto permeable	0.03 a 2000		0.02 a 1000		
	Rocas ígneas y metamórficas sin fracturar	10 ⁻⁹ a 10 ⁻⁵	10 ⁻⁹ a 10 ⁻⁵	10 ⁻⁹ a 10 ⁻⁵		10 ⁻⁹ a 10 ⁻⁵
	Rocas ígneas y metamórficas fracturadas	0.001 a 25	10 ⁻⁵ a 1	0.0005 a 20		10 ⁻⁵ a 1
	Granito alterado	0.3 a 5				
Gabro alterado	0.05 a 0.3					

Fuente: Sanders, 1998.

En base a todos los estudios mencionados anteriormente, se elaboró el siguiente cuadro, en el cual se encuentra sintetizado las características hidrológicas de las diferentes formaciones geológicas presentes en la microcuenca.

Tabla 31: Valores de permeabilidad – K (m/día) y porosidad eficaz – m (%) para las formaciones geológicas de la microcuenca del río Chonta.

Formación geológica	Litología	Control estructural	Contacto	Observaciones	Permeabilidad (k) M/día	Porosidad (m) %
Carhuáz	Consta de una alternancia de areniscas cuarzosas con lutitas grises, las primeras con matices rojizos, violetas y verdosos (características principales para diferenciarla en el campo).	Esta formación en el área se encuentra cubierta por depósitos cuaternarios, sin embargo existen algunos afloramientos en las quebradas, visibles debido a la erosión, los afloramientos se observan altamente fracturados, forman además el núcleo del anticlinal de Shaullo.	La formación Carhuáz yace con suave discordancia sobre la formación Santa e infrayace concordantemente a la formación Farrat.	Espesor aprox. de 500 m. Según base de datos de Ingemmet Fracturadas/ Fracturas semiabiertas	Areniscas cuarzosas: $1.6 \cdot 10^{-4}$ Lutitas: $4 \cdot 10^{-3}$	Areniscas cuarzosas: 14 Lutitas: 20
Farrat	Esta formación representa el nivel superior de la parte clástica del Cretáceo inferior y consta de areniscas blancas de grano medio a grueso	Por sus características litológicas, es común encontrar a la formación Farrat conformando escarpas y altas cumbres agudas y largas, observables por la zona, constituyen los flancos del anticlinal de Los Baños del Inca	La formación Farrat suprayace con aparente concordancia a la formación Carhuáz y Subyace, con la misma relación, a la formación Inca, dando la impresión en muchos lugares de tratarse de un paso gradual.	Tiene un grosor promedio de 500 m. Según base de datos de Ingemmet	Areniscas: $1.6 \cdot 10^{-4}$	Areniscas: 14

Formación geológica	Litología	Control estructural	Contacto	Observaciones	Permeabilidad (k) M/día	Porosidad (m) %
Inca	En varios lugares, se ha observado que gradualmente se intercalan areniscas calcáreas, lutitas ferruginosas, dando en superficie un matiz amarillento.	Ubicada al noreste del anticlinal de Shaullo sigue el alineamiento de las demás estructuras presentes en el área	Infrayace concordantemente a la formación Chúlec y suprayace con la misma relación a la formación Farrat	Tiene un grosor promedio de 150 m. Según base de datos de Ingemmet	Areniscas calcáreas: media Calizas arenosas: Baja Lutitas: $4 \cdot 10^{-6}$	Areniscas calcáreas: 16 Lutitas: 20
Chúlec	Litológicamente, consta de una secuencia bastante fosilífera de calizas arenosas, lutitas calcáreas y margas, las que por intemperismo adquieren un color crema-amarillento.	Generalmente, los bancos de margas se presentan muy nodulosos y las calizas frescas muestran colores gris-parduzcos algo azulados.	Se encuentra suprayaciendo concordantemente a la formación Inca e infrayaciendo con la misma relación a la formación Pariatambo	La potencia de esta formación varia, para Cajamarca se encuentra entre 200 y 250 metros. Según base de datos de Ingemmet	Calizas > 10^{-4} Lutitas: $4 \cdot 10^{-3}$ Margas: Baja	Calizas: 4 - 5 Lutitas: 20 Margas: 37 - 50
Pariatambo	En el área consiste de una alternancia de lutitas con lechos delgados de calizas bituminosas negruzcas, estratos calcáreos con nódulos silíceos	Mantiene el alineamiento estructural con las estructuras adyacentes	La formación Pariatambo yace concordantemente sobre la formación Chúlec e infrayace, con suave discordancia a la formación Yumagual	Generalmente, su espesor oscila entre los 150 a 200 m. Según base de datos de Ingemmet	Calizas > 10^{-4} Lutitas: $4 \cdot 10^{-3}$	Calizas: 4 - 5 Lutitas: 20

Formación geológica	Litología	Control estructural	Contacto	Observaciones	Permeabilidad (k) M/día	Porosidad (m) %
Yumagual	La formación Yumagual consiste en una secuencia de margas y calizas gris parduzcas en bancos más o menos uniformes	Mantiene el alineamiento estructural con las estructuras adyacentes	Suprayace con leve discordancia a la formación Pariatambo e infrayace con aparente concordancia a la Formación Quilquiñán Mujarrún	Tiene un grosor aproximado de 700 m. Según base de datos de Ingemmet	Calizas > 10 ⁻⁴ Lutitas: 4*10 ⁻³ Margas: Baja	Calizas: 4 - 5 Lutitas: 20 Margas: 37 - 50
Quilquiñán Mujarrum	La base consiste en una gruesa secuencia de calizas nodulares, margas y lutitas amarillentas, Continúan delgados lechos de calizas nodulares con margas Finalmente, bancos de calizas claras con lutitas arenosas y margas	Mantiene el alineamiento estructural con las estructuras adyacentes	La parte inferior de la secuencia descansa concordantemente sobre la formación Yumagual, mientras que su parte superior infrayace con discordancia paralela a la formación Cajamarca.	Tiene un grosor promedio de 500 m. Según base de datos de Ingemmet	Calizas > 10 ⁻⁴ Lutitas: 4*10 ⁻³ Margas: Baja Areniscas Cuarzosas: 1.6*10 ⁻⁴	Calizas: 4 - 5 Lutitas: 20 Margas: 37 – 50 Areniscas Cuarzosas: 14

Formación geológica	Litología	Control estructural	Contacto	Observaciones	Permeabilidad (k) M/día	Porosidad (m) %
Cajamarca	Consiste generalmente de calizas gris oscuras o azuladas y macizas, con delgados lechos de lutitas y margas de los mismos colores.	corresponde a una de las secuencias calcáreas del Cretáceo superior que más destaca topográficamente, por su homogeneidad litológica y ocurrencia en bancos gruesos y duros, cuyos afloramientos exhiben una topografía kárstica con fuertes pendientes y en muchos casos barrancos de paredes inaccesibles	La Formación Cajamarca yace concordantemente sobre la Formación Quilquiñan Mujarrum infrayace, de la misma manera a la formación Celendín.	Su grosor varía entre los 600 m. y 700 m.	Calizas: $6 \cdot 10^{-3}$	Calizas: 10
Celendín	Consiste en una intercalación de lutitas, margas y calizas delgadas de color claro, amarillento o crema por intemperismo; generalmente es bastante fosilífera.	La formación Celendín aflora en la zona central de la cuenca Chonta, se le encuentra formando el núcleo del sinclinal de Otuzco.	Constituye la última secuencia calcárea del Cretáceo superior. Suprayace concordantemente a la formación Cajamarca e infrayace a los depósitos continentales de la Formación Chota en aparente gradación o cierta discordancia, según los lugares.	Sus afloramientos muestran un grosor variable, aproximadamente de 200 m.	Calizas > 10^{-4} Lutitas: $4 \cdot 10^{-3}$ Margas: Baja	Calizas: 4 - 5 Lutitas: 20 Margas: 37 – 50

Formación geológica	Litología	Control estructural	Contacto	Observaciones	Permeabilidad (k) M/día	Porosidad (m) %
Depósitos recientes	Consiste principalmente en: Conglomerados Gravas, arenas, limos y arcillas.	Se encuentran depositados horizontalmente sobre las formaciones presentes			Conglomerados: media por conexión entre poros. Gravas: 25 a 2500 Arenas: 0.1 a 50 Limos: 8.4×10^{-5} a 1.6	Conglomerados: Baja Gravas: 25 a 40 Arenas: 21 a 50 Limos: 34 a 50

4.1.4. CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA

Para conocer las propiedades hidrogeológicas de rocas y suelos dentro de la cuenca, se ha realizado una caracterización hidrogeológica, tomando como base: la geología detallada por litología, los puntos de surgencia de aguas subterráneas, y las condiciones de descarga de las aguas subterráneas que provienen de los acuíferos. Estos parámetros han permitido establecer un mapa hidrogeológico, zonificando las rocas y suelos con características de almacenamiento y circulación de aguas subterráneas, en la microcuenca del río Chonta, se pueden observar las siguientes unidades hidrogeológicas (Ver Plano Caracterización hidrogeológica – Anexos 04). Así tenemos:

a) Acuíferos

Los acuíferos presentes gran parte de la microcuenca, de acuerdo a su litología, extensión y productividad en dos Grupos:

Los acuíferos fisurados sedimentarios: Presente en rocas heterogéneas, funciona como reservorio por la presencia de fracturas interconectadas entre sí y con la superficie que permiten alimentar el acuífero

Acuíferos porosos no consolidados: acuíferos presentes en rocas detríticas no consolidadas, porosas y detríticas. Están compuestas por rocas sedimentarias relativamente jóvenes (cuaternario reciente, fluvial, coluvial y lacustre), la microcuenca del río Chonta contiene gravas, arenas y limos, los cuales facilitan la circulación del agua subterránea.

b) Acuitardos

Los Acuitardos comprenden generalmente rocas sedimentarias intensamente cementadas, aunque existen formaciones de baja permeabilidad o impermeables en terrenos volcánicos y volcánico-sedimentarios (Acuitardo). Algunos materiales se encuentran fracturados solo en la superficie, producto del intemperismo y el tectonismo de la zona. En estos materiales la única forma de circulación del agua subterránea es a través de fallas y/o fracturas regionales.

Tabla 32: Caracterización hidrogeológica de las formaciones presentes en la microcuenca del río Chonta – Baños del Inca.

Formación	Descripción de la unidad geológica / espesor	Clasificación hidrogeológica
Carhuáz	Secuencias de areniscas rojas verdosas y lutitas grises	Acuitardo
Farrat	Areniscas blancas de grano medio a grueso	Acuífero en rocas fracturadas
Inca	Areniscas calcáreas, lutitas ferruginosas y estratos de areniscas	Acuitardo
Chúlec	Calizas arenosas fosilíferas, lutitas calcáreas y margas marron beige	Acuitardo
Pariatambo	Lutitas con calizas negras bituminosas de estratificación delgada, en alguno sitios con nódulos	Acuitardo
Yumagual	Secuencias de margas y calizas grises con intercalación fosilíferas locales y nódulos de caliza	Acuitardo
Puylucana	Secuencia de margas y calizas grises con intercalaciones fosilíferas locales y nódulos de caliza	Acuitardo
Quilquiñan-Mujarrun	Calizas nodulares masivas con intercalaciones de margas y lutitas amarillas, sobre ellas secuencias de calizas nodulares y margas en capas delgadas y en la parte superior bancos de calizas claras con lutitas margas y con abundantes fósiles	Acuitardo
Cajamarca	Masivas calizas gris azulinas con intercalaciones finas de lutitas y margas del mismo color, crean bancos de morfología acentuada y flancos con fenómenos Kársticos	Acuíferos en rocas fracturadas y Kársticas (no comprobadas, requiere sondeo vertical, se infiere debido a morfología Kárstica y hundimientos)
Celendín	Secuencia de lutitas, margas e intercalaciones finas de calizas claras	Acuitardo

CONTRASTACIÓN DE LA HIPÓTESIS

Las características hidrogeológicas de las rocas en la microcuenca Chonta, Baños del Inca, (rocas sedimentarias Cretácicas y Depósitos Cuaternarios) muestran que las propiedades hidráulicas de las unidades geológicas, son principalmente la porosidad eficaz, permeabilidad y transmisibilidad las mismas que son favorables para formar acuíferos y acuíardos, los que se encuentran interconectados por medio de fracturas por las cuales se infiltra el agua.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

El cartografiado geológico e hidrogeológico, concluyen que la geología comprende rocas sedimentarias del Cretácico: Grupo Goyllarisquizga (Formaciones: Carhuaz, Farrat, Inca), Grupo Crisnejas (Formaciones: Chulec, Pariatambo), Grupo Pulluicana (Formaciones: Yumagual, Quilquiñam-Mujarrum, Cajamarca, Celendín); Por cartografiado hidrogeológico se identificaron tres tipos de acuíferos: Acuitardo: Formaciones: Carhuáz, Inca, Chulec, Pariatambo, Yumagual, Quilquiñam Mujarrun, Celendín; Acuíferos en rocas fracturas: Formación Farrat; Acuíferos en rocas fracturas y Kársticas Formación Cajamarca.

Los parámetros geomorfológicos de la microcuenca del río Chonta en el Distrito de Baños del Inca son: Área: 68.56 km², perímetro: 40.29 km, longitud del cauce principal: 41.46 km, desnivel altitudinal: 800 m, densidad de drenaje: 1.62 Km/Km², Drenaje de primer orden: 43 con 53.49km, Drenaje de segundo orden: 09 con 15.83km, drenaje de tercer orden: 01 con 41.46km, Ancho Promedio de la Microcuenca: 1.65 Km, Factor de forma: 0.04, Índice de Gravelius: 1.36, Altitud Media de la microcuenca: 2989.87 msnm. Rectángulo equivalente: L: 15.76 Km. y l: 4.35 Km, Pendiente Media del Río: 0.05 m /Km, Declive constante: 0.3, Coeficiente de Masividad: 43.606 m /Km². Índice Gravelius de 1.36. Densidad de drenaje 1.62 Km/Km².

Los rasgos fisiográficos (geomorfología) que presenta la Microcuenca Chonta se caracteriza por presentar una topografía variada de acuerdo a sus características litológicas y estructurales, la red de drenaje es dendrítico del tipo subparalelo.

Se inventariaron 116 manantiales, en un área de 68.56 km², los que se manifiestan de siguiente manera en las Formaciones Farrat: 05 con caudales permanentes, Inca: 00, Chulec: 02, Pariatambo: 10, Yumagual: 28, Quilquiñam-Mujarrum: 13, Cajamarca: 16 con caudales permanentes, Celendín: 02 y Volcánico: 40

La relación entre zonas de recarga están estrechamente ligados a las propiedades hidráulicas de las unidades geológicas, principalmente a la porosidad eficaz, permeabilidad y transmisibilidad que determinan el volumen de agua contenida en las rocas.

5.2. RECOMENDACIONES

Realizar sondeos eléctricos verticales para un estudio más detallado de la Microcuenca del río Chonta.

Realizar el inventario y/o muestreo teniendo en cuenta los sistemas de acuíferos, los caudales de surgencia, y las propiedades fisicoquímicas de ellos a fin de conocer la procedencia y los impactos que están sufriendo antes de emerger en un manantial.

Realizar el monitoreo constante de los afluentes que permitirá obtener información de la fluctuación de niveles de recarga.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aparicio, R. 2011. Geohidrología, Mantos Acuíferos, Physical Geology Minesota University.
- Autoridad Nacional del Agua, 2012. Delimitación y codificación de unidades hidrográficas del Perú. Perú MINAGRI
- Baquero, J. 2007. Restauración hidrológica, Universidad Nacional de Colombia Sede Palmira, Valle del Cauca.
- Barrera, D. 2009 Perímetro de una cuenca hídrica: su tratamiento objetivo en la definición de índices geomorfológicos. Departamento de Ciencias de la Atmósfera y los Océanos, Universidad de Buenos Aires / CONICET (Ecuación de Taylor y Schwarz, Horton y Strahler, Índice de Gravelius).
- Bazán, P. y Cerdán, J. 2009. Caracterización morfoestructural del Anticlinal Baños del Inca - Cajamarca
- Benavides, J. y Dávila, D. 1956. Geología de Cajamarca: Sociedad geológica del Perú. Tomo 30. Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (INGEMMET).
- Campos, A. 1998. Procesos del Ciclo Hidrológico- Universidad autónoma de San Luis Potosí.
- Carlotto, V. y Peña, F. 2012. Estudio de hidrogeología regional del proyecto Conga y alrededores del Departamento de Cajamarca; escala 1:50,000. (INGEMMET)
- Custodio, E. y Llamas, M. 2001 Hidrología subterránea, vol. 1 – 2ª Ed. Ediciones Omega, Barcelona.
- Chuquiruna, W. 2009. Caracterización estratigráfica y estructural de la Subcuenca Chonta – Los Baños del Inca. Tesis Universidad Nacional de Cajamarca – Perú.
- Domínguez, M. 2002. Análisis de cuencas sedimentarias – Cap. VIII Como desarrollar una curva hipsométrica. UPV
- Durtbaum, J. 1963. Three centuries of scientific hydrology, Unesco – WMC/OMM -

- Fattorelli, A. y Fernández, P. 2011. Diseño Hidrológico – Associazione Italiana di Idronomia. (Ley de Darcy.)
- Faustino, J. 2012. El manual de manejo de cuencas, World Vision.
- Fuentes, J. 2004. Análisis morfométricos de cuencas: caso de estudio del parque nacional Pico de Tancítar. Dirección General de Investigación de Ordenamiento Ecológico y Conservación de Ecosistemas.
- Genovez, I. y Carmona, M. 2008. Génesis geológica e hidrogeológica de la surgencia de aguas termales en Los Baños de Fortuna- - Instituto del Agua. Universidad de Murcia.
- Gonzales, S. 2004. Apuntes de Hidrología 2do Curso de Ing. Técnica en obras públicas. Universidad del País Vasco. Escuela Universitaria Politécnica de Donostia.
- Gregory, 1985. Hidrología aplicada a las pequeñas obras hidráulicas. SAGARPA Agricultura y desarrollo.
- Moreno, R. y Blanquer, J. 2000. Estudio del comportamiento hídrico de una cuenca hidrológica Morfología de las cuencas - Conceptos básicos de hidrología y geomorfología.
- Noel, J. 2003. Evaluación y ordenamiento de los recursos hídricos de la cuenca del río San Juan. INRENA – Intendencia de Recursos Hídricos, Chíncha-San Juan
- Llamas, M. 1983. Hidrogeología Subterránea – Tomo I. Universidad de ciencias únicas Barcelona.
- Odong, 2007. Conceptos fundamentales de hidrogeología – Clasificación de las formaciones geológicas según su comportamiento hidrogeológico. Dpto. Geología Universidad Salamanca España.
- Ordoñez, J. 2008. Evaluación Y Caracterización Hidrológica En La Región Cajamarca. Gobierno Regional Cajamarca.
- Ordoñez, J. 2012 Cuencas Hidrológicas – Sociedad geográfica de Lima, Foro Peruano para el Agua, Global Water Partnership, SENAMHI.

- Ortiz, 2004. Evaluación hidrológica en revista Hidro-red, Red latinoamericana de micro Hidroenergía. Lima – Perú.
- Peña, F. 2015. Modelo Hidrogeológico de Las Fuentes Termales de Baños De Inca Cajamarca, INGEMMET.
- Peralta, N. 2011. Estudio Hidrológico de la Región Cajamarca, Exploración del departamento de Cajamarca, análisis básico del potencial de recursos hídrico, Gobierno Regional de Cajamarca.
- Potenciano, A. y Garzón, G 2005. Parámetros geomorfológicos y regresión múltiple en el comportamiento hidrológico de caudales en las cuencas altas de los ríos Tajo y Guadiana.
- Price, D. 2003. La hidrología como predictor del comportamiento del precio de energía
- Reyes, J. 1990. Geología de los Cuadrángulos de Cajamarca, San Marcos y Cajabamba (Boletín Serie A - N°31). Cajamarca y alrededores a escala 1:100,000. (INGEMMET)
- Ruiz, R. 2008. Manual de procedimientos de delimitación y codificación de unidades hidrográficas.
- Sanders, 1988. Procesos del ciclo hidrológico, Basic Probability and Distributions, Statistical Tests and Estimations
- Sánchez, F. 2014. Conceptos fundamentales de la Hidrogeología – Dpto. Geología Univ. Salamanca – España.
- SENAMHI, 2015. Boletín hidrometeorológico regional SENAMHI Cajamarca – La Libertad.
- Torres, E. 2003. Apuntes sobre hidrología urbana. Pontificia Universidad Javeriana. Colección Biblioteca del Profesional.
- Vásquez, C. 2010 - 2011 Estudio hidrológico de la región Cajamarca. Gobierno Regional de Cajamarca.
- Villanueva, A. 2012. Plan regulador urbano Distrital – Baños del Inca. Unidad de Desarrollo Urbano y Catastro. MDBI.

- Villodas, R. 2008 Hidrología, Guía de estudio para cátedras hidrología I y II Unidad 04: las cuencas. Universidad Nacional de Cuyo – Facultad de ingeniería.
- Walling, 1985. Principios de Hidrogeografía. Estudio Del Ciclo Hidrológico. Serie de textos universitarios.
- Zavala, B. y Rosado M. 2011. Riesgo geológico en la región Cajamarca Boletín N 44. Serie C, Geodinámica e ingeniería geológica, Región Cajamarca.
- Zapata, A. 2007. Inventario participativo de fuentes de agua superficial de la cuenca del río Chonta. Administración Técnica del Distrito de Riego en Cajamarca. INRENA

ANEXOS

	Pág.
01. Estaciones estructurales.	84
02. Álbum fotográfico.	85
03. Datos generales de la cuenca hidrogeológica – información detallada de manantiales	90
04. Planos.	104

ANEXO 01 - ESTACIONES ESTRUCTURALES

ESTACION 1

ROSAPAMPA (N9210000, E778000)

DIP DIR	DIP
290	60
300	60
310	70
140	60
130	50
80	60
160	70
70	60
40	60
240	60
60	50
40	50
130	60
330	60
290	60
300	60
310	70
140	60
130	50
80	60
160	70
70	60
40	60
240	60
60	50
40	50
130	60
330	60

ESTACION 2

SHAULLO CHICO (N9220132, E780460.)

DIP DIR	DIP
30	80
50	70
220	50
250	50
210	60
230	50
190	70
40	40
250	60
330	40

40	80
240	70
230	70
330	50
210	60
40	60
10	70
359	40
170	80
300	60
50	80
230	80
40	60
350	70
30	80
50	70
220	50
250	50
210	60
230	50
190	70

ESTACION 3

LICLICONGA (N9217048, E781056)

DIP DIR	DIP
210	70
220	60
30	60
200	80
70	50
50	60
150	80
350	60
10	50
350	50
150	80
40	60
30	60
60	80
40	50

ANEXO 02 - ÁLBUM FOTOGRÁFICO.



Figura 33: Vista panorámica del valle del Distrito de Baños del Inca – Cerro Callacpuma



Figura 34: Detalle de las dimensiones de los estratos de la Formación Farrat.

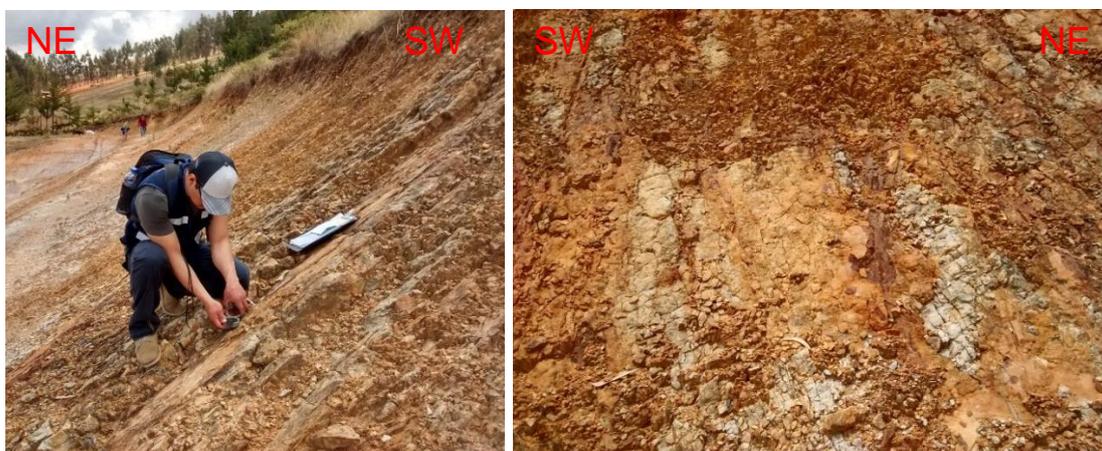


Figura 35: Afloramientos de la Formación Inca se observa la característica coloración rojiza.



Figura 36: Detalle de la Formación Chulec, altos niveles de intemperismo, flanco NE del anticlinal de Baños del Inca.



Figura 37: Calizas grises de la Formación Cajamarca, ubicado a los alrededores de Ligliconga.



Figura 38: Vista panorámica de lomadas, NW del caserío Lucrupucro Alto



Figura 39: vista panorámica de la topografía en el sector Luichupucro Alto.



Figura 40: Predominan en toda el área de estudio Valles en forma de V, Sector Rosapampa.



Figura 41: Punto más alto de la cuenca del río Chonta dentro del distrito de Baños del inca



Figura 42: Fuentes representativas inventariadas. 1. Manantial La Peña en La Carahuanga (C-C1-047) 2. Manantial El Tandal en Chinchin Otuzco (C-CO-068) 3. Manantial La Saca en caserío Shiltaloma (C-SH-084) 4. Manantial La Retama en La Retama (C-LR-102)



Figura 43: Fuentes representativas inventariadas. **1.** Manantial Pampa Iracusco en Puyucana (C-PUY-098) **2.** Manantial Parc. Carlos Ronca en Chinchin Tres Cruces (C-CTC-112) **3.** Manantial SN en caserío Shaullo Chico (C-SC-109) **4.** Manantial SAP en Chinchin Tres Cruces (C-CTC-113).