CARACTERIZACIÓN HIDROLÓGICA E HIDROGEOLÓGICA PARA EL EIA DE LA CENTRALES HIDROELÉCTRICAS DE LLUTA Y LLUCLLA

Indice

I. INTRODUCCION

1.1 Antecedentes
1.2 Objetivo
1.3 Alcance

II. CARACTERIZACION CLIMATICA

2.1 Estaciones Meteorológicas
2.2 Temperatura
2.3 Precipitación
2.4 Evaporación

III. CARACTERIZACION HIDROLOGICA

3.1 Hidrografía del área de estudio
3.2 Parámetros Morfológicos
3.3 Pisos Ecológicos
3.4 Coeficientes de escurrimiento
3.5 Descargas medias mensuales
3.6 Análisis de Descargas Máximas

IV. CARACTERIZACION HIDROGEOLOGICA

4.1 Geomorfología
4.2 Geología Regional
4.3 Estratigrafía
4.4 Geología Estructural
4.5 Geodinámica

V. HIDROGEOLOGIA

5.1 Unidades Acuíferas
5.2 Localización de acuíferos y su extensión
5.3 Caracterización de las áreas de recarga y descarga
5.4 Recarga Total en el Acuífero Fracturado
5.5 Recarga en el Acuífero Detrítico
5.6 Dirección del Flujo Subterráneo
5.7 Variación de Reservas Acuíferas
5.8 Variación del nivel piezométrico
5.9 Impacto sobre la descarga subterránea
5.10 Mitigación del impacto a Q. Lluta

Lista de Cuadros

Nº 2-1 Temperatura Media Anual (º C)
Nº 2-2 Temperaturas Medias Mensuales Estación de Referencia Chivay (Arequipa)
Nº 2-3 Precipitación Promedio Anual – Estaciones de Referencia (mm)
Nº 2-4 Precipitación Media Mensual – Estación Lluta (mm)
Nº 2-5 Evaporación Promedio Anual
Nº 3-1 Parámetros Geomorfológicos
Nº 3-2 Coeficiente de Polinomio para Precipitación Efectiva
Nº 3-3 Descargas Generadas en Quebrada Lluta
Nº 3-4 Precipitación Máxima en 24 horas
Nº 3-5 Distribución de Probabilidad de Excedencia
Nº 3-6 Características de Cuenca y Tiempo de Concentración
Nº 4-1 Unidades Geomorfológicas del Ámbito de Estudio
Nº 5-1 Unidades Geológicas atravesadas por las obras hidráulicas (túnel y canal) del Proyecto
Nº 5-2 Distribución de la Recarga en las microcuencas atravesadas por el Túnel Proyectado
Nº 5-3 Recarga al acuífero fracturado por debajo del Túnel Proyectado
Nº 5-4 Recarga al acuífero fracturado desde microcuencas no impactadas por el Túnel Proyectado

Lista de Láminas

Nº 1 Mapa Hidrográfico
Nº 2 Mapa de Isotermas
Nº 3 Mapa de Isoyetas
Nº 4 Mapa Geomorfológico
Nº 5 Mapa Geológico
Nº 6 Mapa de Áreas de Drenaje

CARACTERIZACIÓN HIDROLÓGICA E HIDROGEOLÓGICA PARA EL EIA DE LA CENTRALES HIDROELÉCTRICAS DE LLUTA Y LLUCLLA

I. INTRODUCCION

1.1 Antecedentes

La empresa Lahmeyer Agua y Energía S.A. viene desarrollando los estudios de pre inversión y obtención de la viabilidad técnica económica de las centrales hidroeléctricas de Lluta y Lluclla y sistema de evacuación de energía.

Dentro de estos estudios se considera el desarrollo del Estudio de Impacto Ambiental (EIA) del proyecto, el presente informe está referido a la caracterización de la hidrología e hidrogeología para el referido EIA, así como de sus probables impactos y medidas de mitigación correspondientes.

1.2 Objetivo

El presente estudio tiene como objetivo la caracterización hidrológica e hidrogeológica del proyecto de centrales hidroeléctricas de Lluta y Lluclla. Los objetivos específicos del estudio son:

- Caracterización climática e hidrológica del área de influencia del proyecto.
- Caracterización hidrogeológica del área de influencia del proyecto.
- Elaboración de la documentación básica para el conocimiento de los impactos al flujo subterráneo en las quebradas y/o cuencas a estudiar.
- Identificación de zonas de impacto o de alteración que pudieran generarse en relación al proyecto.

1.3 Alcance

La presente propuesta se desarrollará en el área del proyecto de las centrales hidroeléctricas Lluta y Lluclla, subcuenca del río Lluta.

II. CARACTERIZACION CLIMATICA

2.1 Estaciones Meteorológicas

La información básica para la caracterización del clima y la meteorología del área del estudio, así como del ámbito de influencia directa e indirecta del proyecto, proviene de registros de estaciones climáticas y pluviométricas a cargo del SENAMHI. Ver Cuadro 2-1

Asimismo se ha obtenido información del Proyecto de Inversión Pública – Nivel Prefactibilidad- Central Hidroeléctrica Lluta – Lluclla. Empresa de Generación Eléctrica de Arequipa S.A. – EGASA.

2.2 Temperatura

En las estaciones ubicadas en zonas de puna, sobre los 4,500 y 4,400 msnm, como Pañe e Imata, la temperatura media mensual fluctúa entre 6 °C para los meses lluviosos de Diciembre a Marzo, y -1 °C para los meses de estiaje cuando la nubosidad es menor. La vegetación existente es típica de la zona de Puna, y está formada por pasto y arbustos de altura, como el Ichu y la Queñua.

En las estaciones ubicadas en altitudes alrededor de 2,500 msnm, como Arequipa, las fluctuaciones de la temperatura mensual son menores, desde 14.6 °C en agosto hasta 17.7 °C en diciembre, con una media anual de 16.3 °C y una variación de 3.1 °C. En la ciudad de Arequipa las variaciones en casos extremos fluctúan entre 29 °C (máximo absoluto) y 4 °C (mínimo absoluto).

La regresión existente muestra que en las zonas con altitudes sobre los 3,500 msnm la temperatura media anual desciende a razón de 1.0 °C por cada 100 m. Para altitudes menores esta variación es mayor. Los promedios de Temperatura anuales se presentan en el Cuadro Nº 2-1.

Cuadro 2-1 Temperatura Media Anual (ºC):

Nº	Nombre	Coordenadas	Altitud	Temperatura Media	
		Lat S.	Long. O	(msnm)	º C
1	El Pañe	15°25’	71°04’	4,524	3.1
2	Imata	15°50’	71°05’	4,495	2.8
3	Pampa Huta	15°29’	70°41’	4,350	3.7
4	Caylloma	15°11	71°46’	4,320	4.8
5	Lagunillas	15°46’	70°40’	4,200	6
6	Angostura	15°11’	71°39’	4,155	5.8
7	El Fraile	16°09’	71°11’	4,015	4.7
8	Sibayo	15°29’	71°27’	3,810	7.8
9	Aguada Blanca	16°15’	71°20’	3,725	7.7
10	Corpac	16°21’	71°33’	2,525	15.7
11	Characato	16°28’	71°29’	2,451	14.2
12	La Pampilla	16°24’	71°31’	2,350	16.3
13	Vítor	16°25’	71°49’	1,552	17.9
14	Pampa Majes	16°21’	72°10’	1,440	18.7
15	La Joya	16°44’	71°52’	1,255	18.4
16	Chivay	15°38’	71°38’	3,651	9.8

El área de estudio, no cuenta con registros de temperatura, debido a esta limitante se extrapoló mediante datos de temperatura media anual y altitud de cada estación, determinando que el mejor modelo de transferencia de información a la zona de estudio, presenta la siguiente ecuación matemática:

$$T = 26.4857 - 0.00506451*H$$

Donde:

T= Temperatura Media Anual, en mm.
H= Altitud, en m.s.n.m.
Coeficiente de Correlación = 0.9691
R-cuadrado = 93.92 porcentaje

El estadístico R-cuadrado indica que el modelo explica un 93.92% de la variable Temperatura. El coeficiente de correlación es igual a 0.9691 indica una relación relativamente fuerte entre las variables temperatura y altitud.

Aplicando la fórmula para la altitud media de la cuenca de Lluta (3975 msnm), obtenemos una temperatura media anual de 6.35 º C.

En base a esta información se han proyectado las isotermas para la zona de estudio, las cuales se pueden observar en la Lámina Nº 3.

Para establecer la distribución mensual de las temperaturas medias, a se ha utilizado la información de la Estación Chivay, ver el Cuadro Nº 2-2.

Cuadro Nº 2-2 Temperaturas Medias Mensuales (º C) de la Estación de Referencia Chivay (Arequipa)

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	PROM.
1965	11.3	-	-	10.3	9.9	8	7.2	8	9.1	10.7	10.9	11.7	-
1966	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1967	11.5	10.9	10.4	10.5	9.8	7.3	6.8	8.2	10	10.9	10.3	11.2	9.8
1968	10.5	9.9	10.5	8.8	8.3	7.2	7.2	7.9	9.5	10.6	10.3	11.1	9.3
1969	11.1	10.8	11.4	11	9.5	8	7.9	8.5	10.2	11	11.2	11.4	10.2
1970	10.3	10.8	10.7	10.4	8.9	8.4	7	8.7	9.6	10.3	10.6	10.9	9.7
1971	9.9	10.2	10.7	9.8	7.7	6.6	6.8	8.2	9.7	9.4	9.9	11.2	9.2
1972	10.1	10.1	10.3	9.4	7.8	6.6	7.8	-	9.7	10.4	11.2	11.5	-
1973	12.1	11.6	11.6	11.2	9.2	7.7	7	8	9.7	10.6	10.9	10.1	10
1974	10	10	9.7	10.1	8.2	6.9	8.5	6.8	9.6	9.9	11	10.7	9.3
1975	10.5	10.4	10.4	10	8.7	7.5	6.4	7.9	10.6	10.1	10.6	10.7	9.5
1976	10.5	10.4	10.4	9.3	9	8.1	8	8.2	8.4	10.5	10.8	11.7	9.6
1977	11	10.8	11.3	10.5	8.4	7.3	8.1	9.3	10.4	11.3	11.6	12	10.2
1978	10.9	11.9	11.3	10.8	9.1	8.3	7.3	9.3	9.7	10.8	11.8	12	10.3
1979	10.8	11.6	11	10.2	9.2	9.3	7.9	8.9	10.6	11.5	11.6	11.4	10.3
1980	11.6	11.4	11.9	10.2	9.1	8.4	7.8	8.4	9.4	12	12	11.4	10.3
1981	11.3	11.3	9.7	8.3	7.7	6.2	7.3	6.8	8.3	9.8	11.1	11.5	9.1
1982	10.8	11.2	11.1	10.5	8.6	7.7	8.6	9.7	10.3	11.8	12.4	12.3	10.4
1983	13.4	12.9	13.3	12.2	10	8.9	9.1	10	10.1	10.7	11.6	11.6	11.1
1984	10.1	10.1	10.6	10.3	9.2	7.4	7.1	7.6	9.1	10.7	9.4	9.4	9.2
1985	9.2	10.9	10.9	10.4	9.4	7.5	6.4	9.1	10.6	11.3	11.1	9	9.6
1986	10	9.6	10.1	10.4	7.5	6.9	6	8.3	10.3	9.9	11.5	11.7	9.3
1987	10.4	10.7	9.9	10.1	8.4	6.9	6.6	8.4	9.5	10.4	12.1	12.3	9.6
1988	11.4	13.5	11.1	10.7	9.2	7	8.2	8.7	-	-	11.3	11	-
PROMEDIO	10.8	11	10.8	10.2	8.8	7.6	7.4	8.4	9.7	10.7	11.1	11.2	9.8
MAX	13.4	13.5	13.3	12.2	10	9.3	9.1	10	10.6	12	12.4	12.3	11.1
MIN	9.2	9.6	9.7	8.3	7.5	6.2	6	6.8	8.3	9.4	9.4	9	9.1
DEV. STD.	0.9	1	0.8	0.8	0.7	0.8	0.8	0.8	0.6	0.7	0.7	0.8	0.5

2.3 Precipitación

Análisis Espacial de la Precipitación

La precipitación constituye uno de los parámetros climáticos más importantes de la zona en estudio, del análisis desarrollado se puede observar que la precipitación tiene una relación aceptable entre la altitud y su lámina de agua precipitada.

Debido a la presencia de la cadena montañosa de los Andes y de la corriente fría de Humboldt en el Océano Pacífico, la precipitación en la zona alta, ubicada entre 15 ° y 17 ° de latitud Sur, es distinta a la que debería esperarse para un clima subtropical, es decir altas precipitaciones.

En la Sierra existe una época marcada de lluvias entre Diciembre y Abril, época en la cual también se alcanzan las máximas temperaturas, mientras en el resto del año la precipitación es baja, siendo nula en los meses de Junio a Agosto, cuando se alcanza también las menores temperaturas.

Por lo que se refiere a la distribución mensual de la precipitación, se verifica una concentración del 60-80% de la precipitación anual en los meses de diciembre a marzo; en general, el porcentaje es mayor en altitudes menores, lo cual determina también una mayor fluctuación de las descargas durante el año en cuencas de menor altitud.
Los promedios de precipitaciones anuales se presentan en el Cuadro Nº 2-3.

Cuadro 2-3 Precipitación Promedio Anual (mm)

Estación	Altitud (msnm)	Precipitación Promedio Anual (mm)	Ubicación Geográfica		
			Longitud	Latitud	Altitud
Huambo	3352	250.11	72° 07'	15° 44'	3352
Madrigal	3256	349.99	71º 49'	15° 37'	3256
Cabanaconde	3230	370.36	71° 58'	15° 36'	3230
Lluta	2800	168.28	72° 01'	16° 01'	2800
Caylloma	4420	781.8	71°46’	15° 11	4,320

En base a esta información se ha proyectado las isoyetas para la zona de estudio, las cuales se pueden observar en la Lámina Nº 4.

La ecuación de transferencia de información pluviométrica a la zona de estudio es la siguiente:

$$P = -905.699 + 0.378065*H$$

Donde:

P= Precipitación Total Anual, en mm.
H= Altitud, en m.s.n.m.

Coeficiente de Correlación = 0.96234
R-cuadrado = 92.6098 porcentaje

El estadístico R-cuadrado indica que el modelo explica un 92.6098% de la variabilidad Precipitación. El coeficiente de correlación es igual a 0.96234, indicando una relación relativamente fuerte entre las variables.

Aplicando la fórmula para la altitud media de la cuenca de Lluta (3975 msnm), obtenemos una precipitación media anual de 597 mm.

Para establecer la distribución de la Precipitación Media Mensual, a continuación se está presentando información de la Estación Lluta, ver el Cuadro Nº 2-4.

Cuadro Nº 2-4 Precipitación Media Mensual de la Estación Lluta (mm)

AÑO	MES												ANUAL
	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic	
1964	10.00	9.00	19.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	7.00	10.00	45.00	100.00
1965	27.00	7.00	3.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	26.50	4.00	0.00	0.00	67.80
1966	0.00	12.00	3.00	0.00	8.20	0.00	0.00	0.00	0.00	8.00	7.00	0.00	38.20
1967	36.00	132.00	149.00	64.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	13.00	394.30
1968	124.90	23.90	60.40	0.00	6.70	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	8.30	5.80	230.00
1969	47.00	25.60	0.00	1.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.50	17.50	93.80
1970	42.10	52.80	12.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	107.20
1971	28.60	39.50	45.00	39.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	20.90	173.50
1972	93.90	73.90	107.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	16.70	0.00	18.10	309.70
PROMEDIO	45.50	41.74	44.34	11.67	1.66	0.00	0.00	0.00	2.94	3.97	3.09	13.37	168.28
MINIMO	0.00	7.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	38.20
MAXIMO	124.90	132.00	149.00	64.30	8.20	0.00	0.00	0.00	26.50	16.70	10.00	45.00	394.30

Cuadro Nº 2-5 Precipitación Media Mensual Proyectada en la Cuenca de Lluta (mm)

Cuenca	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic	Prom.
Lluta	161.42	148.08	157.3	41.401	5.8891	0	0	0	10.43	14.084	10.962	47.432	597

2.4 Evaporación

Existe correlación entre la evaporación media anual medida en tanque y la altitud, de la cual se deduce que en la zona la evaporación disminuye al aumentar la altura sobre el nivel del mar. Para altitudes entre 4,000 msnm y 4,600 msnm la evaporación anual en tanque fluctúa entre 1,600 mm y 1,300 mm anuales respectivamente.
En las zonas intermedias, que están representadas por la estación La Pampilla, la evaporación anual alcanza 1,825 mm, con una mínima media diaria de 3.1 mm en febrero y una máxima media diaria de 6.2 mm en julio. En general, el patrón de variación es más acentuado respecto de las zonas de menor altitud.

Las evaporaciones promedios anuales de algunas estaciones representativas de la región se presentan en el Cuadro Nº 2-5.

Cuadro 2-5 Evaporación Promedio Anual (mm)

Estación	Altitud (msnm)	Evaporación Promedio Anual (mm)
Pañe	4525	1386
Condoroma Reservorio	4250	1606
Angostura	4220	1566
Chivay	3651	1460
Sibayo	3847	1710

III. CARACTERIZACION HIDROLOGICA

La información meteorológica empleada para la caracterización hidrológica de las microcuencas del área de estudio, así como del ámbito de influencia directa e indirecta de la referida área proviene de registros de las estaciones operadas por el SENAMHI.

3.1 Hidrografía del área de estudio

El río Sihuas se forma al confluir los ríos Lluta y Lihualla. Tiene como fuentes de alimentación los deshielos de los Nevados Ampato y Sabancaya y parte del Hualca Hualca y Ananto, y las precipitaciones pluviales de las partes altas de la cuenca. Hasta su confluencia con el río Vítor, tiene una cuenca de 1,774 km2; su cuenca húmeda, hasta la cota 3,000 msnm, es de 765 km2.

Entre los 3,000 y 3,700 msnm se presenta agricultura tradicional en los sectores de Querque, Lluta, Taya y Huanca. El cauce de los ríos Lluta y Sihuas, son actualmente utilizados por el Proyecto Majes para conducir las aguas que son trasvasadas del río Colca al río Sihuas, y que, en su tramo final, son entregadas por el Túnel Terminal a la Quebrada Huasamayo. Estas aguas son captadas en la bocatoma de Pitay y conducidas a la Pampa de Majes. A esta altura, y por debajo de la cota 1,800 msnm, se presenta agricultura tradicional de valle en Santa Isabel y San Juan de Siguas.

El río Siguas forma con el río Vítor, el río Quilca, en una corta longitud, puesto que después de 25 km desemboca al mar encontrándose seco la mayor parte del año. El río Vítor a su vez, se forma por los ríos Yura y Chili.

En un año normal, tanto el río Vítor como el río Siguas, no transportan agua en el lugar de su confluencia, ya que sus aguas son captadas y totalmente utilizadas para fines de irrigación.

Las centrales hidroeléctricas del Proyecto Majes, se instalaran en la cuenca del río Siguas, de manera que el pueblo de Lluclla se considera perteneciente a la zona del Proyecto. La cuenca comprende en este lugar aproximadamente 1,400 km2, de los cuales aproximadamente 75% contribuyen a la descarga.

Una parte de la cuenca del río Siguas, pertenece a la zona de Puna con una altura de más de 4,000 m.s.n.m. y una superficie plana. Su límite con la cuenca del Colca está formado por una cadena de montañas y glaciares, de la cual forma parte el nevado

Ampato con una altura 6,288 m.s.n.m. Estos glaciares contribuyen a la descarga durante la época de sequía, lo cual es sumamente ventajoso para la agricultura.

El resto de la cuenca del rio Siguas, está constituida por una densa red de profundas quebradas, donde ocurre una fuerte erosión debido a las escasas precipitaciones (200 mm), a la escasa vegetación y a la fuerte pendiente del terreno, esto vale sobre todo para la quebrada Huasamayo, a lo largo de la cual se desarrolla el Proyecto de las Centrales Hidroeléctricas de Majes. En la Lámina Nº 1 se observa la zona de estudio.

3.2 Parámetros Morfológicos

Como parte de la investigación hidrológica, se ha obtenido los principales parámetros morfológicos de las microcuencas en estudio, como: Área, Perímetro. Longitud del curso del río, Cota Mayor, Cota Menor, Pendiente, Altitud Media, Índice de Compacidad, Factor de Forma.

El índice de compacidad viene a ser la relación que existe entre el perímetro de la cuenca y el perímetro de una circunferencia de área igual a la de la cuenca. Este índice indica que cuanto más irregular es la cuenca, mayor será su coeficiente de compacidad. Para una cuenca perfectamente circular, su valor será igual a 1. Para una cuenca ovalada, los escurrimientos recorren cauces secundarios hasta llegar a uno principal, por lo que la duración del escurrimiento es superior. Para una cuenca alargada como la de Siguas el agua discurre en general por un solo cauce y por consiguiente el tiempo de concentración es mucho mayor. Como se ve este índice es de interés porque proporciona el tiempo que tarda en llegar el agua desde los límites de una cuenca hasta la salida de la misma.

El factor de forma, expresa la relación entre el ancho promedio y la longitud de la cuenca, medida esta última desde el punto mas alejado hasta la descarga. El ancho promedio se obtiene, a su vez, dividiendo la superficie de la cuenca entre su longitud. Para cuencas muy anchas o con salidas hacia los lados, el factor de forma puede resultar mayor que la unidad.

En el Cuadro 3-1 se puede observar los valores de estos parámetros calculados para la zona de estudio.

Cuadro 3-1 Parámetros Geomorfológicos

Cuenca		Lluta
Área	km2	569.54
Perímetro	km	137.21
PCírculo	km	84.60
Índice de Compacidad		1.62
Long Río	km	55.88
Ancho Medio	km	10.19
Factor de Forma		0.18
Altitud Mínima	msnm	2000.00
Altitud Máxima	msnm	5950.00
Pendiente del Cauce	%	4.83

3.3 Pisos Ecológicos

- *NS, Nival Subtropical*

Ocupa los orígenes de la subcuenca al Este. Se extiende encima de los 5000 m snm, con temperaturas medias debajo de los 0°C, y precipitaciones entre 500 mm/año a 1000 mm/año. La vegetación posible de hallar son pequeños líquenes que crecen sobre las rocas.

- *Tmh-AS, Tundra muy Húmeda – Alpino Subtropical*

Son las estribaciones superiores de la subcuenca al Este. Se extiende sobre los 4300 m snm y 5000 m snm, es una "provincia" superhúmeda por presentar precipitaciones entre 2 a 4 veces la evaporación, la temperatura media anual es similar a 3.3 °C. La vegetación se caracteriza por la presencia de pastos naturales muy dispersos, existen muchas áreas desprovistas o desnudas.

- *Th-AS, Tundra Hummed – Alpino subtropical*

Se extiende desde los 4300 m snm y 5000 m snm, se clasifica como provincial de humedad Húmedo, la biotemperatura varía de 1.5°C a 3.0°C. La vegetación es rala y pobre, con áreas desnudas, pedregosas y rocosas.

- *md- SaS, Matorral Desértico – Subalpino Subtropical*

Se ubica entre los 4000 m snm y 4200 m snm, la biotemperatura varía entre 3°C y 6°C, la precipitación anual varía entre 125 mm/año a 250 mm/año. La vegetación dominante son gramíneas, cactáceas y almohadillas.

- *ph-SaS, Páramo Húmedo – Subalpino Subtropical*

Se extiende desde los 4000 m snm a 4300 m snm, las biotemperaturas varían entre 3 °C y 7°C, las precipitaciones entre 480 mm/año y 660 mm/año, se considera como una provincia húmeda. La vegetación característica son las gramíneas (ichu), los que conforman los pastos naturales o pajonales de puna, también, es característico arbustos como el quinual.

- *md-MS, Matorral Desértico – Montano Subtropical*

Se distribuye entre los 3000 m snm y 3500 m snm, la biotemperatura media es de 10.6°C, la precipitación varía entre los 261 mm/año a 172 mm/año. La vegetación lo constituyen los arbustos y cactáceas, además de gramíneas.

- *md-MBS, Matorral Desértico – Montano Bajo Subtropical*

Se ubica entre los 2000 m snm y 2900 m snm, la biotemperatura media varia entre 13.5°C y 11°C, la precipitación entre los 222 mm/año y 120 mm/año, la vegetación existente es escasa, en la época de lluvias se presentan gramíneas temporales.

- *dp-MBS, Desierto Perárido – Montano Bajo Subtropical*

Se extiende sobre los 2000 m snm y 2400 m snm, la biotemperatura media varía entre 16.4 °C y 10.6°C, la precipitación es escasa entre 63 mm/año a 102 mm/año. La vegetación son hierbas efímeras anuales, arbustos y cactáceas.

3.4 Coeficientes de escurrimiento

El coeficiente de escurrimiento es la relación entre la lámina de agua precipitada sobre una superficie y la lámina de agua que escurre superficialmente, (ambas expresadas en mm). Este valor varía mucho en función del tipo de las formaciones ecológicas de

la microcuenca, que por sus características hidroclimáticas le corresponde zonas de escurrimiento hídrico diferentes.

En la zona de estudio se ha estimado un coeficiente de escurrimiento, de acuerdo a sus características ecológicas, en 0.40.

3.5 Descargas medias mensuales

Para determinar las descargas medias mensuales del rio Lluta en la sección de aforos, se ha utilizado el modelo de generación de caudales, propuesto por la Misión Técnica Alemana en 1980 para el Ex-Programa Nacional de Pequeñas y Medianas Irrigaciones (Ministerio de Agricultura).

Los principales elementos que intervienen en el modelo son los siguientes:

- Área de la unidad hidrográfica en km2 :
- Precipitación total mensual
- Coeficiente de escurrimiento medio
- Retención de la unidad hidrográfica (R)

  La retención, es la lámina de lluvia retenida por la unidad hidrográfica y que luego contribuye al abastecimiento en la época de estiaje, la que se inicia en el mes de abril y termina en el mes de Septiembre. Esta lámina se ha calculado a partir de los acuíferos superficiales de acuerdo a la pendiente, nevados y lagunas que retienen una determinada lámina de agua.

- Coeficiente de Agotamiento (a)

  Se obtiene a partir de las ecuaciones del modelo, en función del área y características de la zona. Para este caso le corresponde un agotamiento reducido por su alta retención, arriba de los 100 mm/año y vegetación mezclada. Este coeficiente interviene en el cálculo de los caudales en la época de estiaje.

  Para el cálculo del coeficiente de agotamiento se ha utilizado las formulas obtenidas por la Misión Técnica Alemana en 1980, que sobre la base de los datos disponibles y aforos ejecutados en diferentes cuencas de investigación se calcularon los coeficientes de agotamiento (a) que se muestran a continuación:

  Se puede constatar que existe una relación estocástica entre el logaritmo del área de la cuenca y su coeficiente de agotamiento cuando se agrupan los valores respectivos, se pueden distinguir cuatro grupos de cuencas.

  - agotamiento muy alto por temperatura elevada, falta de almacenamiento natural o temporada seca extendida $a = 0.00252\ LN(A) + 0.034$

  - agotamiento alto por almacenamiento insuficiente o cobertura vegetal poco desarrollada por el clima (puna)
    $a = 0.00252\ LN(A + 0.030$

  - agotamiento mediano, cobertura vegetal regular hasta bien desarrollado
    $a = 0.00252\ LN(A + 0.026$

- agotamiento reducido por almacenamiento favorable lagunas o nevados muy extendidos
  a =0.00252 LN(A + 0.0233

Esta última ecuación es la que se aplica al caso de la cuenca en estudio. Donde A, es el área de la cuenca expresada en km.

Generación de Descargas

La generación sintética de caudales permite a través de un proceso estocástico obtener un amplio espectro de posibles series de caudales hidrológicos, los cuales tienen una probabilidad de ocurrencia en el futuro.
Para la generación de Caudales se ha seguido los siguientes pasos:

Con el registro de precipitación total mensual se calcula la precipitación promedio mensual y su respectiva precipitación efectiva con la expresión:

$$PE = a + a1\ P + a2\ P2 + a3\ P3 + a4\ P4 + a5\ P5$$

Donde:

PEt = Precipitación efectiva mensual (mm)
P = Precipitación promedio mensual (mm)
a ...a5 = Coeficientes del polinomio

En el Cuadro 3-2 se presentan los valores correspondientes a las curvas para la precipitación efectiva.

Cuadro 3-2 Coeficientes del Polinomio para el Cálculo Precipitación Efectiva

COEFICIENTES	CURVA I	CURVA II	CURVA III
a0	-0.018000	-0.021000	-0.028000
a1	-0.018500	0.135800	0.275600
a2	0.001105	-0.002296	-0.004103
a3	-1204 E-8	4349 E-8	5543 E-8
a4	-1440 E-9	-890 E-9	1240 E-9
a5	-2850 E-12	-879 E-13	-1420 E-11

E : Exponente a la base 10 . FUENTE: Generación de Caudales para la Sierra del Perú. Misión Técnica Alemana 1980. Ex-Programa Nacional de Pequeñas y Medianas Irrigaciones

- Se calcula el gasto de la retención a partir del mes de Abril hasta el mes de Septiembre, determinándose primero los coeficientes del gasto mediante la fórmula siguiente:

  Bi = B i B = e-at

Donde:

Bi = Coeficiente del gasto
B = Coeficiente del gasto correspondiente al primer mes de agotamiento.
i = 1 a 6
a = Coeficiente de agotamiento
t = Número de días del mes

El gasto de la retención (Gi) se calcula con la expresión:

$$Gi = Bi * R / \Sigma Bi$$

- Se calcula el abastecimiento de la retención con la expresión :

$$Ai = ai*R \qquad ai = PE\ i / PEtotal$$

Donde:

Ai = abastecimiento del mes i.
ai = coeficientes de abastecimiento.
R = retención de la unidad hidrográfica.
i = mes del año, de 1 a 12.
PEi = precipitación efectiva del mes i.
PE total = precipitación efectiva total de la unidad hidrográfica

- Generación de caudales mensuales (CMi) para el año promedio con la ecuación siguiente:

$$CMi = PEi + Gi - Ai$$

En el Cuadro 3-3, se observan las descargas generadas para Lluta en confluencia con río Siguas.

Cuadro 3-3 Descargas Generadas en Quebrada LLuta (m3/s)

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
1964	4.771	4.515	8.771	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.199	1.830	7.156	2.35
1965	12.880	3.511	1.524	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	4.869	0.685	0.000	0.001	1.96
1966	0.001	6.019	1.385	0.000	1.541	0.000	0.000	0.000	0.000	1.371	1.281	0.000	0.97
1967	17.173	66.206	68.778	10.245	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	2.067	13.71
1968	59.580	11.990	27.883	0.001	1.259	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.519	0.923	8.60
1969	22.422	12.841	0.001	0.191	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.458	2.783	3.22
1970	20.084	26.483	5.678	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	4.35
1971	13.644	19.813	20.772	6.294	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	3.324	5.32
1972	44.793	37.066	49.438	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	2.861	0.000	2.879	11.42
Media	21.71	20.94	20.47	1.86	0.31	0.00	0.00	0.00	0.54	0.68	0.57	2.13	5.77
DesvStd	19.01	20.26	24.30	3.77	0.62	0.00	0.00	0.00	1.62	0.99	0.76	2.31	4.48
Min	0.00	3.51	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.97
Max	59.58	66.21	68.78	10.25	1.54	0.00	0.00	0.00	4.87	2.86	1.83	7.16	13.71

3.6 Análisis de Descargas Máximas

El área de estudio, no cuenta con registros de precipitación máxima en 24 horas, debido a esa limitante se analizó la precipitación máxima en 24 horas de las estaciones, Yanaquihua (1978/2007), Chichas (1978/2007) y Salamanca (1978/2007), debido a que cuentan con una serie de 30 años. A continuación se presentan las precipitaciones máximas en 24 horas para dichas estaciones.

Cuadro Nº 3-4 Precipitaciones máximas en 24 horas (mm)

Año	Estación Salamanca	Estación Chichas	Estación Yanaquihua
1978	15.3	7.0	9.3
1979	17.7	5.8	15.1
1980	10.8	9.8	13.5
1981	34.2	15.0	21.6
1982	14.8	6.8	12.1
1983	12.9	6.0	38.0
1984	49.0	13.8	41.0
1985	14.7	22.9	14.0
1986	21.8	23.5	53.0
1987	25.0	21.0	68.5
1988	28.9	22.2	11.5
1989	17.6	27.5	43.1
1990	23.1	12.9	22.3
1991	19.5	12.0	11.9
1992	6.8	2.3	0.3
1993	15.6	12.5	13.8
1994	29.5	26.1	27.9
1995	22.6	22.2	44.1
1996	13.3	19.5	11.3
1997	32.7	14.2	63.9
1998	24.7	29.6	39.4
1999	31.7	23.0	22.2
2000	21.4	19.8	17.1
2001	26.2	17.4	30.1
2002	18.5	22.6	26.2
2003	21.0	8.7	6.7
2004	22.6	18.9	13.4
2005	12.9	10.7	12.1
2006	20.8	18.3	13.6
2007	18.2	10.6	10.6

Para la distribución de frecuencias se utilizaron los modelos Log Normal y Normal, que fueron los que presentaron mejor ajuste.

Las precipitaciones máximas para diferentes periodos de retorno están contenidas en el siguiente cuadro:

Cuadro Nº 3-5 Distribución de Probabilidad de Excedencia

Periodo de Retorno en años	Probabilidad de No Excedencia (%)	Probabilidad de Excedencia (%)	Precipitación Máxima en 24 Horas (mm)		
			Estación Salamanca	Estación Chichas	Estación Yanaquihua
2	50.0	50.0	20.1	16.1	21.6
3	66.7	33.3	23.8	19.2	29.0
5	80.0	20.0	27.7	22.2	37.1
10	90.0	10.0	32.6	25.3	47.0
25	96.0	4.0	38.6	28.7	59.1
50	98.0	2.0	43.1	30.9	68.0
100	99.0	1.0	47.4	32.9	76.7
200	99.5	0.5	51.8	34.7	85.5
500	99.8	0.2	57.6	36.9	97.0

- Tiempo de Concentración

El tiempo de concentración "Tc", es el tiempo que demora el agua en su viaje desde el punto más distante de una cuenca hasta el punto de interés. Se ha determinado según el método del Hidrograma Unitario Sintético, que considera como características físicas principales de las microcuencas a la longitud y pendiente del curso principal.

Utilizando el concepto de tiempo de retraso como un índice del tiempo de concentración de la escorrentía de las microcuencas, se ha obtenido el tiempo de concentración.

La fórmula empírica que estima el tiempo de concentración es la siguiente:

$$tp = Ct * (L * Lc * S^{-1/2})^n$$
$$Ct = 0.6 * S^{-1/2}$$
$$n = 0.38$$

donde :

tp = tiempo de concentración, (horas).
Ct = coeficiente, dependiente de la orografía.
L = longitud del curso principal (millas).
Lc = distancia del centro de gravedad al curso principal (millas).
S = pendiente (decimal).

En el Cuadro 3-6 se presentan estas características y sus respectivos tiempos de concentración

CUADRO 3-6
Características Físicas de Cuenca y Tiempo de Concentración

Parámetros	Unidad	Cuenca
Físicos		**Lluta**
Area	Km2	569.54
L	km	55.80
Lc	km	29.37
L	millas	34.88
Lc	milas	18.36
Cota más Alta	m	5950.00
Cota más Baja	m	2000.00
TConcentración	Horas	27.91

- Descargas Máximas con diferentes periodos de retorno

Para la conversión de la lluvia en escorrentía hemos empleado el Método Racional Modificado (Témez, 1990), pero con modificaciones posteriores (Témez, 1991). La metodología de Témez se basa en el método racional, aplicable a pequeñas cuencas, pero con una serie de modificaciones que amplían su rango de validez hasta los 3000 km2.

El método racional modificado utiliza la siguiente fórmula:

$$Q \quad \frac{C\ I\ A}{3{,}6} K$$

Donde:

Qmax = descarga máxima para una frecuencia dada, (m3/seg.).
C = coeficiente de escurrimiento.
I = Intensidad Máxima (I = P/Tc)
P = Precipitación máxima para una frecuencia determinada, ocurrida en el tiempo de concentración de cada zona, (mm).
Tc = Tiempo de concentración en horas
A = Área de drenaje en km2
K = Coeficiente de Uniformidad
3.6 = Factor de conversión

Para calcular K, utilizamos la siguiente formula:

$$K = 1 + \frac{T_C^{1,25}}{T_C^{1,25} + 14}$$

K es función del tiempo de concentración, y tiene en cuenta el error introducido en la hipótesis de uniformidad temporal de la precipitación a medida que crece el tamaño de la cuenca.

Aplicando la fórmula del método racional modificado de acuerdo a las características de las microcuencas en estudio, se obtienen los caudales para diversos periodos de retorno conforme se presentan en el Cuadro 3-7.

CUADRO 3-7
Caudales Máximos Cuenca Quebrada Lluta (m^3/s)

Periodo Retorno (años)	Precipitación Máxima (mm)	Descargas Máximas (m3/s)
2.00	20.10	33.96
3.00	23.80	40.22
5.00	27.70	46.81
10.00	32.60	55.08
25.00	38.60	65.22
50.00	43.10	72.83
100.00	47.40	80.09

IV. CARACTERIZACION HIDROGEOLOGICA

4.1 Geomorfología

La Geomorfología está caracterizada por el desarrollo de zonas de influencia glaciar en la cuenca alta del río Siguas para pasar al valle, donde su cauce va con pendiente moderada con estrechamientos rodeado de cerros de mediana altitud, donde sus laderas tienen cobertura deluvial, fluvioglaciar, coluvial y aluvial, con pendiente moderada a fuerte, el modelado mayormente es por la acción de la erosión fluvial y fuerte meteorización.

La geodinámica del valle del río Siguas es de moderada intensidad, donde la mayor erosión está dada en las quebradas afluentes con arrastres de material coluvial y deluvial, se nota también zonas de asentamientos, derrumbes y deslizamientos asociados a tramos donde se encuentran rocas lutitas muy alteradas, conos deyectivos al final de las quebradas de grandes avenidas aluviales. En las laderas se nota una acción de meteorización intensa que genera desprendimientos de rocas con grandes depósitos coluviales.

Las características Geomorfológicas presentes en la zona de las obras de la CH. Lluta 1, CH. Lluta 2 y la CH. Lluclla, señala que el sector que interesa al proyecto queda ubicado en la unidad denominada regionalmente estribaciones andinas.

Esta unidad incluye el desarrollo de pampas de reducida extensión, originadas algunas de ellas por degradación de rocas de edad terciaria y otras por acumulación de materiales fluvioglaciares en pequeñas depresiones. Las primeras pueden representar relictos de una antigua superficie de erosión, correlacionable con la "Superficie Puna" descrita por Mc Laughlin (1924) en el centro del Perú. Las mas extensa de estas pampas esta representada por la pampa Querque, lugar que interesa el tramo inicial del túnel de la CH Lluta1.

Dentro de este panorama se pueden distinguir las siguientes Unidades geomorfológicas y trece sub unidades geomorfológicas en tres macro escenarios geoestructurales:

1. Valles Fluvio Aluviales
2. Repisa Continental Costera
3. Montañas Andinas

Los tres macro escenarios son cortados por el cañón del río Siguas-Lluta; como se observa en el Mapa Geomorfológico

CUADRO 4-1
Unidades Geomorfológicas del Ámbito de Estudio

Unidad	Subunidad	Símbolo	Descripción
Valles Fluvio Aluviales	Fondos erosiónales con Ríos	FER	Lechos con ríos permanentes, con incisión, socavamiento y transporte intenso de sedimentos.
	Fondos erosiónales con escorrentía estacional	FEE	Lechos secos con escurrimiento temporal de fuerte pendiente y transporte de sedimentos.
	Fondos erosiónales con escorrentía excepcional	FEX	Lechos secos con ocurrencia de huaycos fuertes excepcionales, con poder destructivo.
	Valle encañonado	VE	Valle con laderas escarpadas, fondo estrecho con derrumbes inestabilidad, difícil acceso.
Repisa Continental Costera	Colinas bajas	CB	Medios de gravas desérticas, sin vegetación.
Montañas Andinas	Cadena montañosa metamórfica baja	CMM	Montañas bajas de rocas metamórficas blandas y fracturadas, con cobertura de matorrales.
	Montañas sedimentarias medias	MSM	Montañas de cuarcitas y calizas, estables con matorrales y pajonales.
	Montañas sedimentarias altas	MSA	Montañas de calizas y capas rojas, inestables, con bosques, matorrales y pajonales.
	Plataformas altoandina	PA	Meseta escalonadas con pampas y laderas suaves. Cobertura de matorrales y pajonales.
	Áreas hidromórficas	AH	Depresiones en proceso de colmatación biofangosa, con afloramientos de puquiales permanentes y colonización de vegetación hidrofítica de alta montaña.
	Glaciar	G	Picos nevados con masas glaciares en regresión y tendencia a la extinción, sobre los 5,000 msnm.

Elaboración: Lahmeyer Agua y Energía S.A., Abril del 2,009.

En este escenario se han desarrollado ambientes morfológicos bien diferenciados, que se describen a continuación:

1) Valles Fluvio-Aluviales

En función de la morfología del fondo de los valles, las condiciones de erosión pluvial y fluvial; se diferencian cinco clases de valles o sub unidades fluviales.

a) Fondos Erosionales con Ríos

Están representados por los fondos de valles de los ríos Siguas, Lluta, Tarucani y otros menores de la margen izquierda. Este medio se encuentra encajado en un cañón

estrecho, en su mayor parte; el tramo aguas abajo de Lluclla, se encuentra encajado entre terrazas agrícolas, con lecho de acumulación-transporte aluviónico activo.

Es destacable que las fuentes de estos ríos son los glaciares, afloramientos hidrogeológicos y las lluvias; que tienen como núcleo-fuente el volcán-Nevado Ampato-Sabancaya.

En el eje fluvial Huasamayo-Luta-Siguas, el régimen fluvial y la erosión han sido modificados por la derivación de las aguas de la cuenca del río Colca, realizada por el Proyecto Majes, desde hace tres décadas; constituyéndose en el eje de arranque y transporte intenso de sedimentos todo el año.

El régimen de lluvias estacionales normales y la ocurrencia de precipitaciones excepcionales determinan condiciones de alta erosión y transporte de sedimentos, que llegan a ser desastrosos en el valle Siguas, aguas abajo de Lluclla.
En años extremos como el ocurrido en 1,989 (sin el fenómeno El Niño), el caudal del río llegó a 350 ó 400 m^3/seg, que fue destructor; algo similar ha ocurrido el 09 de febrero de 1,998; que produjo el relleno de la toma Pitay y destrucción de tierras y cultivos en el valle de Siguas.

b) Fondos Erosionales Fluvioaluviales

La incisión profunda actual sobre los macizos montañosos ha formado valles estrechos profundos y de fuerte pendiente; con fondos formados por el lecho de escorrentía fluvial temporal (estaciones lluviosas); se caracterizan por la erosión activa, con escorrentía aluviónica en forma de huaycos.

Por el régimen pluvial y escorrentía se diferencian dos situaciones de actividad hídrica y erosiva:

- Lechos de fondo de valle encajados en los ambientes montañosos altoandinos, ubicados sobre los 3,500 m.s.n.m. en la parte Norte del área de estudio. En estos, las precipitaciones pluviales son anuales, la escorrentía fluvial es periódica y de ciclo anual. En el valle Petaqueros se ubica el embalse proyectado del mismo nombre; que resulta relativamente estable y de baja acumulación de sedimentos.

- Lechos de fondo de valle encajados en el macizo metamórfico blando y fracturado, entre los 2,200 y 3,500 m.s.n.m, ubicados en la parte central del área de estudio; con escorrentías excepcionales fuertes; en forma de huaycos en lechos secos, con transporte masivo de sedimentos que resultan destructores; como el caso ocurrido el 09 de febrero de 1,998, por la quebrada Cacharma; que afectó el canal Majes y destruyó tierras agrícolas. Este proceso tambien ocurrió en las quebradas Piedra Redonda y Vacucharra.

c) Valle Encañonado Siguas-Lluta

El proceso de insición fluvial rápido, afectado por el río Siguas-Lluta y los afluentes de la margen izquierda, asociado al levantamiento orogénico-volcánico andino y los procesos de glaciación y deglaciación; han dado lugar a la formación de un valle estrecho y profundo de forma típica de cañón incisional. A lo largo del río presenta dos secciones típicas:

- Sección de acantilados alto montañosos en "V" de fuerte pendiente, rocoso e inaccesible. Se extiende desde Lluclla hacia arriba siguiendo el río Siguas-Lluta-Tarucani-Seraj, bifurcándose por los ríos Lihualla y La Mina. Esta morfología del valle es la que favorece el potencial hidroeléctrico que se aprovecharía en el proyecto.

- Sección de acantilados en "U", con escarpes bajos en rocas sedimentarias separados por un fondo lecho fluvial amplio y terrazas de 500 a 800 m. de ancho, ocupadas por cultivos y caseríos frecuentes.

Este ambiente se extiende desde Lluclla aguas abajo, hasta Tambillo; tramo en el que ocurre destrucción de tierras e infraestructura, por crecidas excepcionales del río Siguas.

Con el reservorio de compensación esta situación se controlaría para años normales; pero para años excepcionales lluviosos, el problema podría agravarse.

2) Repisa Continental Costera

Está constituida por el escenario morfológico mas bajo del área de estudio; formada por acumulación aluvial cuaternario-terciario y la posterior erosión y modelamiento, que ha dado lugar a tres sub unidades geomorfológicas.

a) Fondos de Valles Aluviales Someros

Se han formado por erosión pluvial concentrada en la planicie de colmatación, disectandola y dando lugar a que bradas o valles someros de fondos amplios y planos de moderada pendiente.

Actualmente son medios secos y desérticos, casi sin cobertura vegetal; muy ocasionalmente hay escurrimiento en forma de huayco que se extinguen a lo largo de la quebrada.

b) Planicies de Colmatación Aluvial

La extensa acumulación fluvio-aluvial en la zona entre las estribaciones de los andes y la Cordillera Costanera, ha dado lugar a las planicies o pampas extensas que caracterizan al desierto costanero del sur del Perú.

Están formadas por gravas y arenas inconsolidadas con acción de arenas cólicas. Prácticamente no tienen cobertura vegetal. Por la ausencia de lluvias y la intensa insolación casi todo el año y más de ocho horas diarias.

c) Colinas Bajas Desérticas

La erosión concentrada sobre la planicie aluvial de mayor caudal sobre la acumulación aluvial en la zona adyacente a las montañas, han dado lugar a la formación de colinas bajas áridas y prácticamente sin cobertura vegetal por las condiciones climáticas desérticas.

3) Ambiente Montañoso Andino

El escenario morfológico montañoso domina la mayor parte del área de estudio, donde se distribuye el esquema del proyecto hidroeléctrico. Comprende el flanco occidental de la cordillera occidental de los andes, de 2,200 a 4,670 m.s.n.m.; entre la repisa continental y el pie de las montañas volcánico-glaciarias Ampato (6,258 m.s.n.m.) y Sabancaya (5,976 m.s.n.m).

La composición litológica y la configuración geoestructural expuestas al desgaste e incisión hídrica pluvial y fluvial, asociadas a los ciclos de glaciación y deglaciación con reactivación volcánica; han dado lugar a tres escalones montañosos ascendentes de sur a norte; de 2,200 a 3,400, de 3,400 a 4,000 y de 4,000 a 4,670 m.s.n.m.; los que condicionan el potencial hidroeléctrico del alto Siguas se han diferenciado cinco ambientes montañosos.

a) Cadena Montañosa Metamórfica Baja

Está formada por el afloramiento emergente del basamento metamórfico del Suroeste del Perú; se eleva de 2,200 3,400 m.s.n.m.; formando el primer escalón montañoso sobre la repisa continental; cortada por el cañón del valle Siguas-Lluta.
Morfológicamente es muy irregular por la incisión pluvial intensa y profunda sobre el sustrato metamórfico blando y fracturado, con un eje –cima formado por los cerros - Tablacruz-Patilla, con orientación sureste a noreste; desde donde descienden espolones paralelos hacia el sur separados por los fondos de valles erosionales.

La elevación rápida de esta cadena montañosa, ha dado lugar a la presencia de zonas ecológicas con cobertura de materiales y pajonales de importancia biológica y socioeconómica. En la cota 2,400 m.s.n.m. aproximadamente, existe el cambio del material desértico (abajo) y el material (arriba).

Morfodinámicamente, este ambiente es inestable por el intemperismo profundo que favorece la erosión y la formación de huaycos con alta carga de sedimentos.

El esquema del proyecto hidroeléctrico correspondiente a la Central Hidroeléctrica Lluclla, se encuentra en esta unidad geomorfológica.

b) Montañas Sedimentarias Medias

Comprende el segundo escalón montañoso entre 3,400 – 4,000 m.s.n.m. formado por cadenas de cerros alargados con orientación Este-Oeste; cortados por el cañón Siguas-Lluta. Las montañas están compuestas por cuarcitas y calizas, de buena estabilidad y control estructural; con modelado escarpado y profundos valles con control estructural.

Ecológicamente es de importancia biológica y socioeconómica, con materiales, pajonales y bosques de queñuales.

c) Montañas Ssedimentarias Altas

Forman el escenario morfológico mas alto del área estudiada, entre 4,000 y 4,670 m.s.n.m.; formado por cadenas estructurales de calizas con orientación Sureste a Noroeste.

Ecológicamente es de alta importancia, por la alta concentración de bosques de queñuales, materiales de tola y los pajonales altoandinos, típico para la fauna altoandina (camélidos, venados, etc.).

d) Cono Volcánico Reciente

En el área estudiada se encuentra un pequeño cono volcánico reciente que es parte del conjunto de conos volcánicos que se extienden hacia el norte del área y al Oeste del volcán Ampato.

Estos volcanes evidencian la influencia volcánica que existe en la parte norte del área, algo alargada de la ubicación de las obras del proyecto.

e) Plataforma Altoandina

En la zona norte del área se encuentra ambientes plano-ondulados, correspondientes al aplanamiento altoandino, sobre el cual se elevan los conos volcánicos Ampato y otros.

Se diferencian tres niveles de plataformas asociadas al control geoestructural sedimentario y volcánico. El nivel bajo se encuentra en Pampa Rabona a 3,200 m.s.n.m.; el nivel intermediario de 3,600 a 3,800 m.s.n.m. en las Quebradas Uchán, Uchapampa y Querque; y el nivel superior de 4,200 a 4,400 m.s.n.m. en Pampa Mocopata.

El enlace en el túnel terminal con el canal y túnel de aducción del esquema de la Central Hidroeléctrica Lluta I, se ubica en plataforma intermedia.

4.2 Geología Regional

La Geología Regional de las áreas aledañas a la zona en que se emplazan las Obras de la Central Hidroeléctrica Lluta y Lluclla está caracterizada por encontrarse depósitos cuaternarios, rocas de cuerpos intrusivos de granodioritas, dioritas y metamórficos de tipo gneis, y unidades litoestratigráficas comprendidas por edades que van del Jurasico hasta el Cuaternario.

El área del Proyecto se caracteriza por la presencia de rocas sedimentarias e intrusiones que han generado áreas de contacto con aureolas de metamorfismo.
Las estructuras presentes a nivel regional tienen una orientación EW y NW que atraviesan la cuenca del río Siguas que están cortando rocas sedimentarias e intrusivas, siendo el valle de orientación SE-SW.

4.3 Estratigrafía

La litoestratigrafía de la zona del Proyecto, está caracterizada por la presencia de las siguientes unidades:

Grupo Yura (JsKi-yu) Este grupo aflora entre la quebrada Escalerilla por el sur y la quebrada Tintayquisima por el norte formando una faja de rumbo Este-Oeste. La litología esta compuesta esencialmente por una intercalación de capas de protocuarcitas, lutitas, algunos lentes de calizas y ocasionalmente lechos muy delgados de carbón que se presentan en los horizontes lutáceos.

Se subdivide en cinco formaciones: Labra, Gramadal, Hualhuani, Cachios y Puente., que se describen a continuación:

- Form. Labra (JKi-la) consiste de areniscas gris claras, con variaciones a tonalitas rosadas, que meteorizan en tintes amarillentos, se encuentra interestratidicada con paquetes de limonitas grises brunáceas.
- Form. Gramadal (Ki-gr) de naturaleza predominantemente calcárea y condiciones arrecifales, que contrastan con las formaciones Labra y Hualhuani. Se compone de calizas gris brunáceas en bancos medianos alternados con lutitas violáceas.
- Form. Hualhuani (Ki-hu) consiste en capas gruesas de areniscas blancas de grano fino a medio, que meteorizan a tonalitas amarillentas o rojizas.
- Form. Cachios (Js-ca) consiste pricipalmente de lutitas negras carbonosas, con estratificación delgada, que se hallan alternando con estratos de areniscas gris claras, en parte cuarcíticas.
- Form. Puente (Js-pu) consiste en areniscas y cuarcitas gris oscuras, y por imtemperismo gris verdosas, también las lutitas son en mayor proporción gris oscuras, intercalándose con algunos estratos de areniscas arcillosas.

Formación Murco (Ki-mu) Se le encuentra aflorando con una dirección NO, entre los miembros Hualhuani y Arcurquina, cubierta en tramos por el grupo tacaza, se extiende hasta la zona del túnel de Lluta 2, también aparece en partes del tramo de Lluta 1. Litológicamente formada por lutitas abigarradas con estratificación laminar y fácilmente deleznables, las cuales se intercalan con capas de areniscas y algunos estratos calcáreos, en la zona del túnel de LLuta 1, se compone principalmente de areniscas cuarzosas blanco a pardo amarillentas y lutitas fracturadas.

Formación Arcurquina (Ki-ar)Se conoce con este nombre a una gruesa secuencia de rocas calcáreas que afloran al norte de los clásticos del grupo Yura. La formación Arcurquina sobreyace concordantemente o infrayace en algunos sectores por falla (sobreescurriemiento) a las rocas anteriormente descritas, mientras que infrayace con discordancia erosional a la formación Huanta.

Litológicamente consisten de calizas y margas de colores amarillentos a cremas se presentan en capas delgadas, fracturadas y ligeramente brechadas.
Estructuralmente forman una serie de pliegues apretados, recumbentes y volteados afectados por numerosas fallas. Topográficamente la formación arcurquina forma cerros prominentes que destacan en la región. En lo referente a fenómenos karstificación cabe indicar que nos ha observado ninguna evolución epicarstica. La parte intermedio del túnel Lluta I, Central Lluta interesa a estas rocas.

Formación Chilcane (Ks-chi) Esta constituida por una secuencia de capas de limonitas rojas yesiferas, que descansa en concordancia sobre la formación Arcurquina, en la zona de la Mina aparecen venas de yeso y capas laminadas de sal; se considera que la solución de yeso y su remolvilización a causado un rol tectonico importante en la región.

Formación Seraj (Ks-se) Superyace en discordancia erosional a la formación Arcurquina e infrayace con aparente discordancia angular a la formación Huanca.
La formación Seraj consta de dos miembros, el inferior que empieza con areniscas rojas de grano grueso, con cambios laterales de microconglomerados, luego continua con areniscas finas de matices que varían entre rojo y verde claro, areniscas calcáreas violáceas y calizas brechosas. La parte superior predominantemente continental y de litología areniscosa, compuesto por intercalaciones de arenisca y limonitas rojas en

capas delgadas y compactas, alternantes con algunos bancos de areniscas duras gris blanquecinas.

Formación Huanca (Ti-hu) Se conoce con este nombre a una intercalación de conglomerados y areniscas de grano grueso, de colores que varían entre el violeta y el rojizo. La unidad sobreyace a la formación Arcurquina e infrayace a la formación orcopampa del grupo Tacaza.

Estas rocas se encuentran en el sector del área en estudio interesando al conjunto de obras que se desarrollaran desde el Túnel Terminal del Proyecto de irrigación Majes hasta la progresiva 5024km. del túnel de aducción Lluta I.

Formación Uchurca (Ti-u).- Esta unidad litoestratigráfica se compone de una secuencia de conglomerados y areniscas, las que se encuentran medianamente fracturadas, alteradas, de regular a buena dureza.

Grupo Tacaza (Tm-t) Este grupo consiste de bancos gruesos de conglomerados de andesitas afaniticas o porfídicas, teniendo como matriz arenisca tufácea, alternando con una arenisca tufácea deleznable y algunas capas de limos, comprende también de una unidad integrada por tufos brechoides de color pardo grisáceo. Si bien esta unidad no se encuentra en el área del proyecto, la tenemos la parte sureste de la cuenca.

Formación Moquegua (Ts-mo) En el sector meridional del área se expone una gruesa secuencia de rocas clásticas continentales conocidas con el nombre de formación Moquegua.
Litológicamente consiste de areniscas de grano medio a grueso con intercalaciones de capas delgadas de lutitas y lechos de conglomerados. Superficialmente la unidad presenta un color pardo amarillento ligeramente rojizo. Esta formación sobreyace a rocas intrusitas e infrayacen a coberturas detríticas de edad reciente.

Estas rocas conjuntamente con los gneis del complejo metamórfico constituyen el basamento de la zona interesada con el reservorio de compensación Lluclla.

Grupo Barroso (TQBa y TBa) Esta unidad esta constituida por un conjunto de andesitas y rocas piroclásticas que forman los conos volcánicos más antiguos del área, los cuales destacan conspicuamente en la altiplanicie (cerros Chuquihua y Mauras).

Litológicamente, se compone de derrames lávicos de andesita, variando a daciticas con tonalidades claras a oscuras. Se presentan en bancos gruesos, se presentan en bancos gruesos, en en algunos casos alternan con depósitos aluviales. La textura de la roca es porfiritica con fenos bien desarrollados de plagioclasa y biotita con abundante cuarzo cuando la composición es dacitica.

Esta unidad descansa con discordancia erosional sobre los sedimentos lacustres y las diferentes unidades volcánicas ya descritas, e infrayace a los materiales no consolidados del Cuaternario reciente. Por lo tanto se estima que pertenece al intervalo Terciario superior – cuaternario inferior.

Grupo Ampato (Q-A) Este grupo volcánico y vulcanoclastico es reconocido solo en el cuadrángulo de Chivay, en la zona de estudio la tenemos en la parte noreste de la cuenca donde se ubica el proyecto; tenemos presentes la formación Jatumpampa y flujos de traquiandesitas y dacitas con tobas.
Formación Jatumpampa. Esta compuesta por una alternancia de tobas de ceniza cristalina y tufitas muy gruesas y gravosas formando capas que no exceden los 50cm.

Flujo de traquiandecitas y dacitas con tobas son flujos de la lava que estan separados por bloques de toba hasta de un metro de diámetro, yacen en un matriz de tobas liticas-lapilliticas.

Grupo Andagua (Qr-an) Estas rocas son los productos de la actividad volcánica más reciente en la región y se encuentran rellenando depresiones también recientes.

Litológicamente consiste de lavas básicas a intermedias de textura afanítica, unas veces traquítica y otras vesicular, dispuestas en capas de más de 3 m. de espesor, con intercalaciones de aglomerados volcánicos de coloración rojo ladrillo. La potencia de los derrames es menor a medida que se alejan del centro de emisión, mientras que las capas de los aglomerados se tornan más gruesas.

En superficie, se pueden ver claramente las líneas de flujo bastante definidas, dispuestas en forma concéntrica, en buen estado de conservación, aunque presentan intenso fracturamiento en las partes externas, semejando cordones de escombros. Así también, se puede observar que las lavas han seguido una sola dirección durante las sucesivas emisiones.

Las rocas de esta unidad no tienen indicios de estar afectadas por fenómenos de intemperismo y/o erosión.

Esta unidad esta definida por edad del Cuaternario reciente.

Depósitos Clásticos Recientes

Se han diferenciado cuatro tipos de acumulaciones clásticas en función de sus orígenes, que en orden de magnitud son:

- *Deslizamientos* (Qr-dez), son los de menor extensión y distribución, ubicándose en las partes bajas de los acantilados en forma de escombreras. Están constituidos por bloques de más de 1.0 m de diámetro y otros de menor dimensión hacia las partes superiores del depósito; carecen de material ligante, por lo cual no tienen estabilidad.

- *Depósitos aluviales* (Qp-al), se encuentran formando las terrazas de los ríos Lluta y Sihuas, además de otras menores, rellenando las depresiones comprendidas entre los diferentes afloramientos rocosos. Están compuestos por gravas, arenas, limos y algo de arcillas, que forman una mezcla en la cual se presentan incluidos fragmentos angulosos heterométricos.

- *Depósitos fluvioglaciares* (Q-fg), se genera por el retrabado de los depósitos morrénicos, por la acción de las aguas derivadas de los deshielos o de las fuertes lluvias. Se caracteriza por presentar bajo contenido de finos, siendo sus constituyentes principales fragmentos subángulosos, gravas y arenas limosas. Se encuentran asociados a los depósitos morrénicos y aluviales, constituyendo los terrenos bajos y llanos adyacentes a estos.

Rocas Intrusivas

Complejo Basal de la Costa (Pe-g) Se describe con este nombre a un conjunto de rocas metamórficas, de complejas relaciones estructurales, asociadas con intrusiones graníticas alcalinas, básicas, ultrabásicas e intrusiones menores tipo hipabisales.

Este complejo de rocas representa raíces de orógenos antiguos cuya sedimentación y fases de magmatismo ocurrieron durante el Precambriano.

Los aspectos de campo que presentan estas masas rocosas indican haber sufrido metamorfismo regional el cual ha impreso las características en que ellas se observan actualmente. Litológicamente, con predominio de gneis.
Este conjunto metamórfico constituye las rocas mas antiguas que afloran en la región y conforman el basamento sobre el cual se ha depositado toda la secuencia estratigráfica reconocida en el área del proyecto, é interesan a las siguientes obras ha implantarse: Pulmón, casa de maquinas y Túnel de Descarga de la central Lluclla.

Otros Como se ha mencionado, el complejo Metamórfico se halla cortado por rocas ígneas de dos generaciones principales, una de ellas consiste en una asociación de masas plutónicas y la otra esta representada por hipabísales.

Las rocas que conforman el conjunto de plutonitas consisten mayormente de tonalitas (T-to), granodioritas (KTi-gd) y dioritas (T-di). Los contactos intrabatolíticos no son muy claros, mostrando el aspo gradual de una a otra roca, sin embargo la textura y composición mineralogica de cada una de ellas permite diferenciarlas en el campo. En menor proporción tenemos, los cuerpos porfiroides (T-po) homogéneos, en dimensiones limitadas, son de mineralogía similar a las brechas.
Los cuerpos hipabísales están constituidos por diques, sills, etc. de aplitas, andesitas y venas de cuarzo, este último representa la fase final del magmatismo; Finalmente cabe agregar que las intrusiones menores cortan tanto a los cuerpos metamórficos como a los plutones.

4.4 Geología Estructural

Dentro del área estudiada se han reconocido 4 zonas geológicas de diferentes características estructurales. Sin embargo, cabe indicar que el rumbo general de estas siguen un lineamiento uniforme en dirección Este Oeste, diferente al rumbo que caracteriza a la estructura andina, SE-NO esta anomalía puede asociarse a accidentes tectónicos locales.

Las zonas reconocidas son:

- Estructura Precambriana
- Estructura Mesozoica
- Estructura Terciaria Continental
- Estructura Cuaternarias

Estructura Precambriana
La estructura desarrollada durante el Precambriano se caracteriza por su complejidad, habiendo impreso entre las rocas que la conforman complicadas relaciones estructurales, dejando solo distinguir el bandeamiento y fisuramiento de la masa rocosa. Sin embargo, las relaciones estructurales con las demás formaciones es claro y definido, las cuales están dadas bien sea por fallas o contactos discordantes.

Estructura Mesozoica

La estructura desarrollada durante el Mesozoico interesa tanto a las rocas clásticas del grupo Yura como a los calcáreos de la formación Arcurquina. Estas rocas debido a sus propiedades físicas han reaccionado como material plástico ante los esfuerzos orogenéticos, razón por lo que han actuado independientemente unos de otros, formando estructuras amplias, constituidas por anticlinales vergentes al sur.

Estructuras Terciario Continental

La estructura Terciario Continental involucra a la formación Huanta y Moquegua del Terciario inferior y Medio respectivamente. La formación Huanta forma un sinclinal asimétrico y fallado mientras que la formación Moquegua presenta un débil plegamiento.

Estructura Cuaternaria

Característica importante entre el terciario tardío y Cuaternario temprano lo constituye el levantamiento de la cordillera de los Andes que origina sólo el fallamiento en bloques de las rocas prexistentes. Ver Plano Geológico (Lámina Nº 2).

4.5 Geodinámica

El área del proyecto de la C.H Lluta 1, CH. Lluta 2 y CH. Lluclla se caracteriza por presentar zonas diferenciadas de erosión fluvial, meteorización y arrastres de aluvionicos de quebradas afluentes. En el cauce del río Siguas se encuentran zonas de erosión de laderas y rupturas generadas por asentamientos, deslizamientos y derrumbes.

El cauce presenta pendientes moderadas a fuerte inclinación, donde se aprecia que parte de sus afluentes tienen acumulaciones de terrazas con gran acumulación de material aluvionico, asimismo se observa taludes con zonas de rotura y deslizamiento de materiales, taludes con erosión intensa de la cobertura coluvial y diluvial por las fuertes precipitaciones pluviales.

En parte del cauce del río Siguas se observa rocas sueltas de 0.20 a 0.80 m. arrastrados por la quebradas afluentes, cuyo material es producto de derrumbes de las laderas.

Existen zonas críticas circundados por terrenos de cultivo donde ocurren asentamientos y/o deslizamientos aguas abajo de Lluta, en su margen izquierda del valle del río Siguas.

V. HIDROGEOLOGIA

5.1 Unidades Acuíferas

Los túneles proyectados atraviesan la estructura de 19 microcuencas (Ver Lámina Nº 5), cortando a su paso un conjunto de unidades litoestratigráficas que en presencia del flujo subterráneo se comportan como acuíferos o acuitardos.

En el área de estudio se ha diferenciado 10 unidades litoestratigráficas (ver Perfil Longitudinal – Lámina Nº 5), todas con un grado de fracturamiento que va de medio a medio alto (ver Cuadro 5-1).

Cuadro 5-1 Unidades Geológicas atravesadas por las obras hidráulicas (Túnel y Canal) del Proyecto

	Unidad Litoestratigrafía	Leyenda	Longitud atravesada (km)	Roca Predominante	Fracturamiento	Potencial de Infiltración
1	Formación Huanca	Ti-h	4.2	conglomerados clastos sedimentarias	Medio	medio
2	Formación Arcurquina	Ki-ar	2.1	secuancia calcarea	Medio	medio
3	Formación Murco	F-mv	3.5	areniscas lutitas cuarcitas	medio-alta	alto
4	Formación Hualhuani	Ki-h	1.2	cuarcitas	Medio	medio
5	Formación Gramadal	Ki-g	0.6	calzas alteradas	Medio	medio
6	Formación Labra	Ki-l	2.2	cuarcitas, areniscas, lutitas	medio-alta	alta
7	Formación Cachios	JsKi-C	0.8	lutitas fracturadas	Medio	medio
8	Complejo Basal Gneis	Pe-g	8.8	gneis	Medio	medio
9	Complejo Basal Esquistos	e-e	2.7	micaceas	Medio	medio
10	Intrusivos Granodioritas	Kti-gd	6.8	intrisivos granodiorita	Medio	medio

Si se tiene en cuenta que la precipitación pluvial frecuentemente se ubica entre los 300 y 500 mm/año (zona medianamente seca), es muy probable que algunos días en el año la precipitación diaria supere a la evaporación y en consecuencia se produciría escorrentía e infiltración a través de las fracturas constituyendo la recarga del acuífero.

5.2 Localización de Acuíferos y su extensión

En el área e influencia del proyecto se presentan dos tipos de acuíferos, uno en roca fracturada, que corresponde al macizo rocoso que será atravesada por el túnel proyectado, y el otro que corresponde a material detrítico, específicamente corresponde al relleno aluvial ubicado debajo del lecho de Quebrada Lluta, dado a la estrechez de la quebrada no existe un valle aluvial.

El acuífero en roca fracturada está constituido por formaciones cuyas rocas predominantes son conglomerados, cuarcitas, calizas alteradas, etc.; las mismas que presentan un grado de fracturación de medio a alto, favorable al flujo subterráneo. El referido acuífero, relacionado con el área de influencia del proyecto, se ubica en la vertiente occidental de Quebrada Lluta, desde la toma de captación en la microcuenca Nº 3 hasta la microcuenca N° 21.

En la Lámina Nº 05 se presenta la ubicación del acuífero en roca fracturada, involucra tanto las áreas sobre el eje del túnel como aquellas áreas ubicadas por debajo de dicho eje, donde destacan las microcuencas 1A, 2A, 3A, 4A, e involucra también a las microcuencas de las quebradas que no serán atravesadas por el túnel proyectado (Micocuencas A, B y C), pero que su recarga alimentaría también a la Quebrada Lluta.

En relación al acuífero detrítico o acuífero fluvio-aluvial, este acuífero de extensión limitada está restringido prácticamente al valle de la mencionada quebrada, cuyo ancho no es superior a los 50 m y potencia no mayor de 30 m. En la Lámina Nº 05 se distingue este acuífero desde la toma de captación hasta la proyectada central hidroeléctrica de Lluclla.

5.3 Caracterización de las áreas de recarga y descarga

Los dos tipos de acuífero presentan diferencias en su recarga, el acuífero en roca fracturada depende directamente de la lluvia, y como bien se señaló en el párrafo 5.2, alrededor del 10% de la lluvia anual se transformaría en infiltración a través del medio rocoso.

La superficie total del macizo rocoso, que constituye la matriz del acuífero fracturado que involucra a las microcuencas de la vertiente occidental de Quebrada Lluta, tiene una extensión de 16,285 ha (162.35 km2), repartidas 19.8% (3,224 ha) por encima del eje del túnel proyectado y la diferencia se reparte 47.47% (7,708 ha) para el área debajo del eje del túnel y 32.66% (5,303 ha) para las microcuencas que no son atravesadas por el túnel (Lámina Nº 05)

El acuífero detrítico tiene una extensión de 185 ha. (1.85 km2), calculada sobre la base de 37 km de longitud de lecho y 50 m de ancho promedio.

5.3.1 Recarga del acuífero fracturado correspondiente a las microcuencas ubicadas sobre el eje del túnel

A fin de efectuar un cálculo aproximado de la recarga, que sería interceptada por el túnel proyectado, se cartografió las áreas de las microcuencas que se ubican por encima del eje correspondiente (Lámina Nº 08), se determinó sus correspondientes áreas, luego a cada una se le asignó su correspondiente precipitación media anual, calculada a partir del modelo precipitación-altitud y, teniendo en cuenta el tipo de unidad litoestratigráfica y grado de fracturamiento, información que corresponde a la geología, se asignó un porcentaje de infiltración con respecto a la precipitación media anual, en este caso se adoptó el porcentaje de 10%, que corresponde a un grado de fracturamiento medio y a una cuenca con fuerte déficit pluviométrico. Los resultados obtenidos señalan en conjunto un caudal de recarga (infiltración) de 34 l/s, La distribución de este caudal entre cada una de las microcuencas participantes se presenta en el Cuadro 5-2.

Cuadro 5-2 Distribución de la Recarga en las Microcuencas atravesadas por los Túneles del Proyecto

Microcuenca	Nombre	Unidad Litoestratigráfica	Superficie (Ha)	Altitud Media (msnm)	Precipitación Media Anual (mm)	Volumen Medio Anual (m3)	Vol. Anual Infiltración (10 %) (m3)	Caudal Medio (l/s)
3	s/n	Ti-h	10.36	3700.00	493.14	51,089.46	5,108.95	0.16
4	s/n	Ti-h	41.25	3800.00	530.95	219,016.05	21,901.61	0.69
5	s/n	Ti-h	134.36	3800.00	530.95	713,381.73	71,338.17	2.26
6	s/n	Ki-ar	7.43	3800.00	530.95	39,449.44	3,944.94	0.12
7	Tintayquisma	Ki-ar	950.55	3800.00	530.95	5,046,926.21	504,692.62	15.97
8	s/n	Ki-l	51.60	3000.00	228.50	117,903.94	11,790.39	0.37
9	s/n	JsKi-c	45.60	2900.00	190.69	86,954.41	8,695.44	0.28
10	s/n	Ki-mu	70.00	3050.00	247.40	173,179.48	17,317.95	0.55
11	Hualmayoc	Ki-mu, Pe-g	574.90	3200.00	304.11	1,748,322.64	174,832.26	5.53
12	s/n	Ki-mu	31.00	3050.00	247.40	76,693.77	7,669.38	0.24
13	Escalerrilla	Pe-g, Ki-mu	153.00	3100.00	266.30	407,442.83	40,744.28	1.29
14	s/n	Pe-g	177.40	3050.00	247.40	438,886.27	43,888.63	1.39
15	s/n	Pe-g	13.50	3200.00	304.11	41,054.72	4,105.47	0.13
16	s/n	Pe-g	128.70	3200.00	304.11	391,388.28	39,138.83	1.24
17	s/n	Kti-gd	90.10	3250.00	323.01	291,034.04	29,103.40	0.92
18	s/n	Kti-gd	33.60	3200.00	304.11	102,180.62	10,218.06	0.32
19	s/n	Kti-gd, Pe-g	163.70	3200.00	304.11	497,826.43	49,782.64	1.58
20	s/n	Kti-gd, Pe-g	133.10	2850.00	171.79	228,647.50	22,864.75	0.72
21	s/n	Pe-g	67.68	2800.00	152.88	103,471.21	10,347.12	0.33
TOTAL						10,774,849.02	1,077,484.90	34.10

5.3.2 Recarga al acuífero fracturado proveniente de las áreas por debajo del túnel proyectado

Las áreas ubicadas por debajo del túnel proyectado, por su extensión (8,054.40 ha) constituyen el 47.47% del macizo rocoso donde se desarrolla el acuífero fracturado (Lámina Nº 5). Por consiguiente, pese a que recibe menor precipitación pluvial, por su extensión original una recarga al acuífero fracturado de 61.2 l/s (Cuadro 5.3).

Cuadro 5.3: Recarga al acuífero fracturado correspondiente a las áreas por debajo del túnel proyectado

Microcuenca	Nombre	Superficie (Ha)	Altitud Media (msnm)	Precipitación Media Anual (mm)	Volumen Medio Anual (m3)	Vol. Anual Infiltración (10%) (m3)	Caudal Medio (l/s)
1A	s/n	3,531.14	3,450.00	398.63	14,076183.00	1,407,618.30	44.6
2A	s/n	295.11	2,800.00	152.88	451,164.17	45,116.42	1.43
3A	s/n	3,140.68	2,750.00	133.97	4,207,569.00	420,756.90	13.32
4A	s/n	1,087.47	2,800.00	152.88	1,662,524.14	166,252.41	5.26
Total		8,054.40			19,361,162.13	1,936,116.21	64.61

5.3.3 Recarga al acuífero fracturado proveniente de las microcuencas no impactadas por el túnel proyectado

Las microcuencas no impactadas por el túnel proyectado, suman en conjunto una extensión de 5,218.25 ha (Lámina Nº 5), y por su localización a niveles superiores a los 3,400 m. de altitud reciben una precipitación pluvial que va de los 380 mm. a los 550 mm., lo cual es considerado como una magnitud relativamente importante para el área de estudio. Efectuando los cálculos para un porcentaje de infiltración equivalente al 10% de la lluvia se tiene un caudal medio de 75.5 l/s, constituyéndose en el área de mayor recarga al acuífero fracturado (Cuadro 5.4).

Cuadro 5.4: Recarga del acuífero fracturado desde microcuencas no impactadas por el túnel proyectado

Microcuenca	Nombre	Superficie (Ha)	Altitud Media (msnm)	Precipitación Media Anual (mm)	Volumen Medio Anual (m3)	Vol. Anual Infiltración (10%) (m3)	Caudal Medio (l/s)
A	Tarucani	1,858.20	3,850	549.58	10,212,295.56	1,021,229.56	32.32
B	s/n	678.37	3,750	512.04	3,473,525.75	347,352.57	10.99
C	Petaqueros	2,681.68	3,400	379.72	10,182,875.30	1,018,287.53	32.22
Total		5,218.25			23,868,696.60	2,386,869.66	75.53

5.4 Recarga total en el acuífero fracturado

La recarga total atribuida al acuífero en roca fracturada alcanzaría, de acuerdo a los cálculos, a 174.24 l/s; de los cuales el 19.5 % (34.1 l/s) correspondería a las áreas ubicadas por encima del eje del túnel, el 37.08% (64.61 l/s) a las áreas ubicadas bajo el eje del túnel y el 43.34% (75.5 l/s) a las microcuencas Tarucaya, microcuenca s/n,Petaqueros y Ulpay, no atravesadas por el túnel.

En cuanto a la descarga, según el concepto de balance hídrico y bajo condiciones naturales, esta debe ser igual a la recarga (174.24 l/s), y naturalmente el nivel de base de de esta descarga lo constituye la Quebrada Lluta. Sin embargo, bajo la hipótesis de que se construya el túnel, la descarga sería afectada en 34.1 l/s, es decir la descarga total hacia Quebrada Lluta será de sólo de 140.14 l/s.

5.5 Recarga en el acuífero detrítico.

La recarga atribuida al acuífero detrítico, ubicado debajo del lecho de quebrada Lluta, ha sido calculada en 150 l/s, de los cuales 137 l/s provendrían desde el acuífero fracturado y la diferencia 12 l/s se atribuye a la microcuenca de la quebrada en su origen. Conviene señalar que la recarga total al acuífero detrítico puede ser sensiblemente mayor al caudal mencionado debido al aporte del acuífero fracturado de la vertiente oriental de la cuenca.

5.6 Dirección del flujo subterráneo

El flujo subterráneo en su recorrido se orientan hacia las quebradas laterales, éstas a su vez (según Lámina Nº 09) orienta sus flujos subterráneos siguiendo la dirección de sus lechos, los cuales son perpendiculares a Q. LLuta.

5.7 Variación del nivel piezométrico

No se tiene un conocimiento preciso acerca de la ubicación del nivel piezométrico en el acuífero fracturado, sin embargo se estima que dicho nivel está por encima de los ejes de los túneles y que por consiguiente de llegar a materializarse el proyecto, el nivel piezométrico descenderá hasta ubicarse en el nivel que corresponde a los ejes de los túneles.

En lo que se refiere al acuífero detrítico, el nivel piezométrico (nivel freático) coincide con las cotas topográficas del lecho de la quebrada Lluta.

5.8 Variación de Reservas acuíferas

La variación de reservas acuíferas depende del comportamiento de la recarga y descarga. Para el caso de acuíferos en roca fracturada, donde la recarga está estrechamente relacionada a la pluviosidad, estos pueden presentar grandes variaciones en sus reservas, dependiendo la magnitud de la lluvia. Así, durante un año seco, la recarga será restringida, y durante un año muy seco probablemente no ocurrirá recarga. Al contrario durante un año húmedo la recarga se incrementará notablemente y más aún si el año se comporta como muy húmedo.
Para el caso específico del acuífero en roca fracturada, cuya descarga será alterada por la introducción del túnel, este experimentará un cambio significativo en sus reservas de agua.

5.9 Impactos sobre la descarga subterránea

El túnel actuará como eje de drenaje, en consecuencia una parte de la recarga en el acuífero fracturado pasaría a incrementar el caudal del túnel, por consiguiente la descarga subterránea hacia los niveles por debajo del eje del túnel se vería disminuida en 34.1 l/s.

En consecuencia el impacto neto sobre la descarga subterránea hacia Q. Lluta alcanzaría 34.1 l/s, caudal que vendría a constituirse en el impacto hidrogeológico del proyecto hacia Quebrada Lluta.

5.10 Mitigación del Impacto a Quebrada Lluta

A fin de equilibrar el probable impacto a Q. Lluta, el proyecto deberá contemplar la dotación de al menos 34.1 l/s a la referida quebrada, el cual podría significar un aprovisionamiento de aproximadamente 80 l/s durante el periodo de estiaje (Mayo a Octubre).