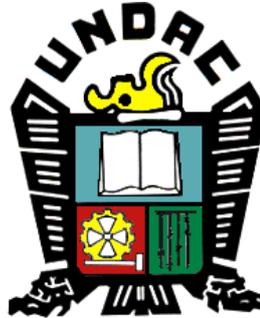


**UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**



**TESIS**

**Estudio hidrológico e hidrogeológico de la microcuenca  
Hércules de la Compañía Minera Lincuna S.A. – Huaraz**

**Para optar el título profesional de:**

**Ingeniero Ambiental**

**Autor: Bach. Marita Eddy QUINTANA HUARICAPCHA**

**Asesor: Ing. Anderson MARCELO MANRIQUE**

**Cerro de Pasco – Perú - 2021**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**



**TESIS**

**Estudio hidrológico e hidrogeológico de la microcuenca  
Hércules de la Compañía Minera Lincuna S.A. –Huaraz**

**Sustentada y aprobada ante los miembros del jurado:**

---

Mg. Julio Antonio ASTO LIÑAN  
PRESIDENTE

---

Mg. Eleuterio Andrés ZAVALETA SANCHEZ  
MIEMBRO

---

Mg. Luis Alberto PACHECO PEÑA  
MIEMBRO

## **DEDICATORIA**

A nuestro padre todo poderoso por su amor y su voluntad que me concede cumplir con todos mis sueños.

A mis seres queridos sobre todo a mis padres por darme motivos de seguir esforzándome día a día.

## **RECONOCIMIENTO**

A mis maestros de la universidad, por guiarme en desarrollo del presente trabajo de investigación.

A mi asesor Ing. Anderson MARCELO MANRIQUE, por brindarme consejos en cada punto de mejora en el presente trabajo de investigación.

A mis jurados a los Mg: Julio Antonio ASTO LIÑAN, mg. Eleuterio Andrés ZAVALETA SANCHEZ y mg. Luis Alberto PACHECO PEÑA por el aprecio de mi trabajo de investigación reconociendo y orientándome, que la investigación continuara a través de la vida profesional.

## RESUMEN

La contaminación ambiental, muestra grandes impactos al medio ambiente, para ello las diferentes formas de averiguarlo permite enfocarnos en un objetivo de que al efectuar el estudio hidrológico e hidrogeológico para determinar la cantidad y calidad de agua en la microcuenca Hércules de la Minera Lincuna S.A. establece una gran diversidad de métodos para ejecutarlo.

Durante esta ejecución aplicarán los métodos deductivo, inductivo, evaluativo, análisis y síntesis, donde la presente tesis se sitúa en la descripción y explicación de los datos recolectados de la geología del lugar.

Del Mapeo de la hidrológico e hidrogeológico y el análisis estadístico, que fue establecida por muestras del área geográfico de la microcuenca Hércules que es establecido por 7.31 km<sup>2</sup> perteneciente a la cuenta de Huarmey en donde se establece la compañía minera Lincuna S.A.

De hechos del resultado a los objetivos planteados fue mediante el método de LUTZ SCHOL se calcularon caudales de generación de las cantidades de agua entre 0.06 y 49.21 l/s para los meses de Julio y febrero, respectivamente.

Y de la calidad del agua en los puntos de monitoreo CAg-2 y IM-01, comparadas con los decretos supremos de los estándares de calidad ambiental y los límites máximos permisibles mencionamos que la concentración de los metales que superan los límites permisibles son el Zinc, Arsénico, sulfatos, entre otros, los cuales provienen del lixiviado de las rocas volcánicas.

**Palabras clave:** Estudio hidrología, Estudio hidrogeología, Microcuenca Hércules, método lutz schol y calidad del agua.

## ABSTRACT

The concern about why environmental pollution shows great impacts on history, for this the different ways of finding out allow us to focus on an objective that when carrying out the hydrological and hydrogeological study to determine the quantity and quality of water in the Hercules micro-basin de la Minera Lincuna SA establishes a great diversity of methods to execute it.

During this execution they will apply the deductive, inductive, evaluative, analysis and synthesis methods, where this thesis is in the description, explanation and correlation of the data collected with the geology of the place.

From the Mapping of the hydrological and hydrogeological and the statistical analysis, which was established by samples of the geographical area of the Hercules micro-basin that is established by 7.31 km<sup>2</sup> belonging to the Huarmey account where the mining company Lincuna S.A. is established.

Resulting in the objectives set, it was through the LUTZ SCHOL method that generation flows were calculated for the amounts of water between 0.06 and 49.21 l / s for the months of July and February, respectively.

And of the water quality in the monitoring points CAg-2 and IM-01, compared with the supreme decrees of the environmental quality standards and the maximum permissible limits, we mention that the concentration of the metals that exceed the permissible limits are Zinc , Arsenic, sulfates, among others, which come from the leachate of volcanic rocks.

**Keywords:** Hydrology study, Hydrogeology study, Hercules micro-basin, lutz schol method and water quality.

## INTRODUCCIÓN

Involucrándonos en las actividades de la minería que causan las contaminaciones ambientales principalmente de las contaminaciones del agua, parte de esta investigación es realizar estudios de la hidrología y la hidrogeología para describir y explicar el porqué de la cantidad de agua y la calidad de agua en la microcuenca Hércules.

La minera Lincuna SA realizó los diferentes métodos para realizar los estudios de la hidrología y la hidrogeología justificando en la estructura de la investigación:

**CAPITULO I:** Identificación y determinación del Problema, Delimitación del problema, Formulación del problema, Formulación de objetivos, Justificación y Limitaciones de la Investigación.

**CAPITULO II:** Antecedentes del Estudio, Bases Teóricas Científicas, Definición de Términos Básicos, Formulación de Hipótesis, Identificación de variables y definición operacional de variables e indicadores.

**CAPITULO III:** Tipo de Investigación, Métodos de Investigación, Diseño de Investigación Población y Muestra, Técnicas de Instrumentos de Recolección de Datos, Técnicas de procesamiento y análisis de datos, Tratamiento estadístico y Orientación ética.

**CAPITULO IV:** Descripción del trabajo de campo, Presentación análisis e interpretación de los Resultados, Prueba de Hipótesis, Discusión de resultados.

Finalmente, las Conclusiones, Recomendaciones, Bibliografía y anexos

## ÍNDICE

DEDICATORIA	
RECONOCIMIENTO	
RESUMEN	
ABSTRACT	
INTRODUCCIÓN	
ÍNDICE	
ÍNDICE CUADROS	
ÍNDICE DE FIGURAS	

### CAPÍTULO I

#### PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1.	Identificación y determinación del problema .....	1
1.2.	Delimitación de la investigación.....	2
1.3.	Formulación del problema.....	2
1.3.1.	Problema principal.....	2
1.3.2.	Problemas específicos .....	3
1.4.	Formulación de objetivos .....	3
1.4.1.	Objetivo general .....	3
1.4.2.	Objetivos específicos .....	3
1.5.	Justificación de la investigación .....	3
1.6.	Limitaciones de la investigación .....	4

### CAPÍTULO II

#### MARCO TEORICO

2.1.	Antecedentes de estudio .....	5
2.1.1.	Antecedentes internacionales.....	5
2.1.2.	Antecedentes Nacionales .....	10
2.2.	Bases teóricas-científicas.....	13
2.3.	Definición de términos básicos.....	18
2.4.	Formulación de la hipótesis .....	22
2.4.1.	Hipótesis general .....	22
2.4.2.	Hipótesis específicas.....	22
2.5.	Identificación de variables.....	22

2.6.	Definición operacional de variables e indicadores .....	23
------	---------------------------------------------------------	----

### **CAPITULO III**

#### **METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN**

3.1.	Tipo de investigación .....	24
3.2.	Método de investigación .....	24
3.3.	Diseño de investigación.....	25
3.4.	Población y muestra.....	25
3.4.1.	Población.....	25
3.4.2.	Muestra .....	26
3.5.	Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	26
3.6.	Técnicas de procesamiento y análisis de datos. ....	26
3.7.	Tratamiento estadístico .....	27
3.8.	Selección, validación y confiabilidad de los instrumentos de investigación.....	27
3.9.	Orientación ética .....	27

### **CAPITULO IV**

#### **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

4.1.	Descripción del trabajo de campo.....	28
4.1.1.	Ubicación del Proyecto.....	28
4.1.2.	Accesibilidad .....	28
4.1.3.	Caracterización fisiográfica y morfológica.....	29
4.2.	Presentación, análisis e interpretación de resultados.....	32
4.2.1.	Estudio hidrológico.....	32
4.2.2.	Estudios hidrogeológicos .....	72
4.3.	Prueba de hipótesis.....	82
4.4.	Discusión de resultados .....	83

**CONCLUSIONES**

**RECOMENDACIONES**

**BIBLIOGRAFÍA**

**ANEXOS**

## ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro N° 1 Definición operacional de variables e indicadores.....	23
Cuadro N° 2 Parámetros de forma de la Microcuenca Hércules.....	29
Cuadro N° 3 Relación de estaciones cercanas de la microcuenca hércules .....	33
Cuadro N° 4 Análisis de valores dudosos de la Estación 1 .....	36
Cuadro N° 5 Análisis de valores dudosos de la Estación 2 .....	37
Cuadro N° 6 Análisis de valores dudosos de la Estación 3 .....	38
Cuadro N° 7 Parámetros de Análisis para evaluar la homogeneidad de la zona de estudio.....	42
Cuadro N° 8 Prueba de análisis de consistencia en la media y la desviación estándar.....	43
Cuadro N° 9 Prueba Cusum para análisis de cambio en la media/mediana.....	44
Cuadro N° 10 Prueba de puntos cambiantes para análisis de independencia lineal.....	44
Cuadro N° 11 Prueba Mann-Kendall para análisis de tendencia.....	45
Cuadro N° 12 Precipitación Anual para años promedio, húmedos y secos.....	47
Cuadro N° 13 Precipitación mensual para años promedio, húmedos y secos.....	47
Cuadro N° 14 Temperatura media mensual en la Microcuenca Hércules (°C).....	48
Cuadro N° 15 Evapotranspiración mensual en la Microcuenca Hércules (mm/mes).....	49
Cuadro N° 16 Coeficiente de escurrimiento .....	51
Cuadro N° 17 Precipitación efectiva según el Bureau of Reclamation .....	52
Cuadro N° 18 Precipitación efectiva según el Bureau of Reclamation .....	54
Cuadro N° 19 Precipitación efectiva mensual – Microcuenca Hércules .....	54
Cuadro N° 20 Resultados del Gasto de la retención mensual (mm/mes) – Microcuenca Hércules.....	56
Cuadro N° 21 Resultados del Abastecimiento de la retención mensual (mm/mes) – Microcuenca Hércules.....	56
Cuadro N° 22 Resultados de la generación de caudales mensuales – Microcuenca Hércules.....	57
Cuadro N° 23 Precipitación máxima para diversos años de retorno.....	59
Cuadro N° 24 Tiempo de retardo .....	63
Cuadro N° 25 Resumen de los caudales máximos para cada periodo de retorno .....	65
Cuadro N° 26 Balance hídrico para años Promedio .....	71
Cuadro N° 27 Balance hídrico para años Húmedos .....	72
Cuadro N° 28 Balance hídrico para años Secos.....	72
Cuadro N° 29 Logueos de las perforaciones exploratorias en la zona Hércules.....	75
Cuadro N° 30 Inventario de fuentes de agua subterránea.....	78
Cuadro N° 31 Profundidad del nivel de agua subterráneo y carga hidráulica.....	79
Cuadro N° 32 Propiedades hidrodinámicas.....	80

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N° 1. Representación del ciclo hidrológico .....	15
Figura N° 2 Curva Hipsométrica de la Microcuenca Hércules.....	30
Figura N° 3. Polígono de frecuencia de la Microcuenca Hércules .....	31
Figura N° 4 Perfil Longitudinal del Cauce Principal – Microcuenca Hércules .....	32
Figura N° 5 Gráfico Box Plot de los datos de precipitación acumulada de la “Estación 1” .....	34
Figura N° 6 Gráfico Box Plot de los datos de precipitación acumulada de la “Estación 2” .....	35
Figura N° 7 Gráfico Box Plot de los datos de precipitación acumulada de la “Estación 3” .....	35
Figura N° 8 Índice anual del vector y de estaciones .....	41
Figura N° 9 Análisis de doble masa de las estaciones ubicadas en la zona de estudio.....	42
Figura N° 10 Variación mensual de la temperatura promedio en el área de estudio.....	48
Figura N° 11 Variación mensual de Evapotranspiración en el área de estudio ....	49
Figura N° 12 Porción de precipitación efectiva según el Bureau of reclamation .	54
Figura N° 13 Hietograma para un periodo de retención de 10 años .....	60
Figura N° 14 Hietograma para un periodo de retención de 25 años .....	61
Figura N° 15 Hietograma para un periodo de retención de 50 años .....	61
Figura N° 16 Hietograma para un periodo de retención de 100 años.....	61
Figura N° 17 Hietograma para un periodo de retención de 200 años.....	62
Figura N° 18 Hietograma para un periodo de retención de 500 años.....	62
Figura N° 19 Modelo de cuenca de la Quebrada Hércules en el Software HEC-HMS .....	64
Figura N° 20 Hidrograma de avenida del modelo de Precipitación – Escorrentía, PR=10 Años.....	65
Figura N° 21 Resultado de la simulación del modelo de Precipitación – Escorrentía, PR=10 Años.....	66
Figura N° 22 Hidrograma de avenida del modelo de Precipitación – Escorrentía, PR= 25 Años.....	67
Figura N° 23 Resultado de la simulación del modelo de Precipitación – Escorrentía, PR= 25 Años.....	67
Figura N° 24 Hidrograma de avenida del modelo de Precipitación – Escorrentía, PR= 50 Años.....	68
Figura N° 25 Resultado de la simulación del modelo de Precipitación – Escorrentía, PR= 50 Años.....	68
Figura N° 26 Hidrograma de avenida del modelo de Precipitación – Escorrentía, PR= 100 Años .....	68
Figura N° 27 Resultado de la simulación del modelo de Precipitación – Escorrentía, PR= 100 Años .....	69
Figura N° 28 Hidrograma de avenida del modelo de Precipitación – Escorrentía, PR= 200 Años .....	69
Figura N° 29 Resultado de la simulación del modelo de Precipitación – Escorrentía, PR= 200 Años .....	70
Figura N° 30 Hidrograma de avenida del modelo de Precipitación – Escorrentía, PR= 500 Años .....	70

<b>Figura N° 31 Resultado de la simulación del modelo de Precipitación – Escorrentía, PR= 500 Años .....</b>	<b>71</b>
------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----------

## **CAPÍTULO I.**

### **PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN**

#### **1.1. Identificación y determinación del problema**

Las actividades mineras se involucran en la contaminación de aguas tanto superficial y subterráneo presentando un ambiente poco saludable para los seres vivos.

Durante la historia peruana, la minería fue uno de los principales en la contaminación del medio ambiente, dando por hecho que en nuestros días un control exigente de estas actividades por el estado.

De esta forma mencionamos que en la actualidad la compañía minera Lincuna S.A. en vigente explotación se ve proyectada a seguir ampliando las zonas de producción, orientadas al desarrollo de sus actividades mediante la ampliación de zonas de exploración y explotación, por lo cual es necesario conocer la cantidad y calidad de agua superficial y subterránea de la microcuenca Hércules siendo una de ellas que abastece dicha producción en las labores del proyecto; Bajo un enfoque social, económico y operativo, la microcuenca se define como una pequeña unidad geográfica donde vive una cantidad de familias que utiliza y maneja los recursos disponibles, principalmente suelo, agua y vegetación

(GCP/RLS/008/SPA Pag.2). Con fin de salvaguardar y proteger sus equipos, cuidar el medio ambiente y optimizar sus procesos a un bajo costo; con el objetivo de mantener los proyectos sostenidos en el tiempo.

Teniendo en consideración el medio ambiente, Acorde con los alcances del estudio, es necesario realizar la caracterización hidrogeológica de la unidad de producción, con las investigaciones geológicas recientes con ayuda de los reportes de exploraciones geológicas, la localización de las fuentes de agua principalmente en las estructuras geológicas, la estimación de las propiedades hidrodinámicas de los medios fracturados las cuales almacenan y transportan agua en forma localizadas, la morfología de las aguas subterráneas en forma local, la hidro geoquímica tanto de las aguas de interior mina y las aguas subterráneas que filtran en superficie, y finalmente la interrelación de las intensidades de lluvia con el medio acuífero.

Siendo necesarios que estas sean apropiadamente reconocidas y tomadas en cuenta para desarrollar; estrategias de direcciones preferenciales para su explotación, como podemos apreciar estos factores se pueden controlar, con una supervisión constante y un continuo monitoreo. Ante estas condiciones, se vio la necesidad de realizar un estudio hidrológico e hidrogeológico de la microcuenca Hércules de Minera Lincuna S.A.C.

## **1.2. Delimitación de la investigación.**

Es estudio hidrológico e hidrogeológico involucra en la determinación de la cantidad de agua para poder garantizar el trabajo de la minare Lincuna S.A. y la calidad del agua para poder garantizar el cuidado del medio ambiente, de esta forma encontrar los cumplimientos normativos ambientales impuestos por el estado.

## **1.3. Formulación del problema**

### **1.3.1. Problema principal**

¿Cómo podemos efectuar el estudio hidrológico e hidrogeológico para determinar la cantidad y calidad de agua en la microcuenca hércules de la compañía Minera Lincuna S.A.?

### **1.3.2. Problemas específicos**

- a) ¿Cómo podemos efectuar el estudio hidrológico para determinar la cantidad de agua en la microcuenca hércules de la Minera Lincuna S.A.?
- b) ¿Cómo podemos efectuar el estudio hidrogeológico para determinar la calidad de agua en la microcuenca hércules de la Minera Lincuna S.A.?

## **1.4. Formulación de objetivos**

### **1.4.1. Objetivo general**

Efectuar el estudio hidrológico e hidrogeológico para determinar la cantidad y calidad de agua en la microcuenca hércules de la Minera Lincuna S.A.

### **1.4.2. Objetivos específicos**

- a) Efectuar el estudio hidrológico para determinar la cantidad de agua en la microcuenca hércules de la Minera Lincuna S.A.
- b) Efectuar el estudio hidrogeológico para determinar la calidad de agua en la microcuenca hércules de la Minera Lincuna S.A.

## **1.5. Justificación de la investigación**

La contaminación ambiental ocasiona diferentes efectos negativos a los seres vivos por lo cual es necesario realizar estudios específicos para realizar dicha actividad. Esta investigación explicará la determinación de la cantidad y la calidad de agua en la microcuenca mediante el conocimiento hidrológico e hidrogeológico que será de mucha utilidad en las actividades de la Minera Lincuna S.A.

La reciente investigación también podrá servir como guía y referencia a otras minas subterráneas, al mismo modo servirá de bibliografía a los estudiantes universitarios de la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión.

#### **1.6. Limitaciones de la investigación**

- a) Los estudios realizados son caros para la realización, sin embargo, el financiamiento respectivo lo realizó la gerencia de la empresa minera. Por lo tanto, si no hubiera financiamiento sería un limitante potencialmente económico.
- b) La dificultad en la adaptación de la teoría con respecto a la cantidad del recurso hidrológico e hidrogeológico de la microcuenca hércules.

## **CAPÍTULO II.**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1. Antecedentes de estudio**

##### **2.1.1. Antecedentes internacionales**

**Mercedes Palacio, L. (2012). Actualización Del Modelo Conceptual Y Modelo Numérico De Flujo De Agua Subterránea En El Acuífero Libre De General Pico – Dorila, Provincia De La Pampa, Argentina. Argentina.**

El presente trabajo se centra en la evaluación de uno de los principales cuerpos de agua subterránea de la provincia de La Pampa como lo es el acuífero denominado General Pico-Dorila. De él, depende el abastecimiento doméstico e industrial de la ciudad de General Pico, que, con casi 60.000 habitantes, es la segunda localidad más importante del territorio provincial. Los objetivos planteados en este trabajo han sido: a) realizar una evaluación cualitativa y cuantitativa del sistema acuífero que revele el estado actual del conocimiento sobre el mismo, b) integrar la información hidrogeológica disponible en un modelo numérico de flujo de agua subterránea que sirva para validar el modelo conceptual de su funcionamiento y c) aportar una herramienta numérica que podría ser utilizada en términos de gestión y planificación hidrológica.

La metodología de trabajo consistió en la búsqueda, recopilación, ordenamiento, clasificación, valoración y análisis de información antecedente y la descripción de los distintos aspectos vinculados a la caracterización hidrogeológica e hidrodinámica del acuífero. Se aborda en particular la cuantificación de la recarga difusa al sistema mediante la formulación de un balance de agua en el suelo de paso diario, la aplicación del método de fluctuación del nivel freático y la formulación de un modelo numérico de simulación del flujo de agua subterránea con el programa MODFLOW.

Los resultados permiten cuantificar la recarga en torno al 14% de la precipitación la que se verificaría fundamentalmente en otoño y primavera. El análisis de las fluctuaciones del nivel freático permitió además identificar una zona de recarga preferencial en el sector medanoso central que se correlacionaría con un mayor espesor de la cobertura de arenas. El modelo numérico construido en estado estacionario reproduce, en general, la configuración local de la superficie freática y las direcciones de flujo predominantes en el acuífero y permite valorar la recarga media en 90 mm/año a lo largo del eje de la dorsal medanosa. Las recargas anuales ajustadas en condiciones transitorias se correlacionan con las estimadas mediante la oscilación de los niveles. La distribución de las zonas de recarga calibradas con el modelo en regímenes estacionario y transitorio son coincidentes y permiten corroborar el esquema hidrodinámico que vincula el área preferencial de recarga con el sector medanoso central. Un valor de recarga promedio en el orden al 14% de la precipitación constituye un buen indicador del recurso hídrico subterráneo potencial del área y podría asumirse como un valor medio de referencia para llevar a cabo una explotación racional del acuífero. La calibración del modelo numérico en régimen transitorio habilitaría su uso para simular eventuales respuestas

del acuífero a determinadas acciones externas. En este sentido esta tesis introduce ante los responsables de la administración del agua la posibilidad de uso y aplicación de los modelos como una herramienta de gestión, lo que constituye una de las potencialidades de aplicación más interesantes de los mismos. **(Mercedes, 2012)**

**Caballero, A. (2009). Exploración De Aguas Subterráneas En El Arco Seco De Panamá (Sector De Las Tablas) Mediante Método Geofísicos. Barcelona.**

La investigación, se realizó a partir de la integración de los datos geológicos, geofísicos e hidrogeológicos disponibles o datos nuevos generados a lo largo de este trabajo. La misma, puede considerarse en el marco de la Hidro geofísica. Ésta última, es una moderna disciplina en la frontera entre la Geofísica y la Hidrogeología, la que evoluciona muy rápidamente. Su objetivo es la aplicación de los métodos geofísicos en la exploración y el control de la zona vadosa y los acuíferos subyacentes. El agua subterránea, es un componente clave del subsuelo, tanto en la zona saturada como en la no saturada. Es por ello que, los métodos eléctricos, son los más adecuados para estudiar la geometría de las zonas de almacenamiento y drenaje de las aguas subterráneas. La información, resultado de esta investigación, si bien no es completa ni exhaustiva, establece conclusiones que permiten proponer estrategias para facilitar la exploración de las aguas subterráneas en la zona de estudio y también, por extensión, en otras regiones de la República de Panamá con condiciones geológicas similares. Desde el punto de vista geológico, la zona de estudio se conoce sólo de forma muy superficial, ya que no existe ninguna cartografía de detalle (escala menor que 1:200.000) ni tampoco ninguna síntesis geológica moderna. No existen columnas estratigráficas de las formaciones sedimentarias y la datación paleontológica es difícil a

causa de la ausencia o mala preservación de los fósiles. Por otro lado, las características estructurales y litológicas distan mucho de ser las de un terreno monótono, como se pudiera deducir de algunas cartografías regionales, ya que dentro de una misma formación se incluyen litologías muy diversas. **(Caballero, 2009)**

**García Romero, A. N. (2012). Caracterización Hidrogeológica De Un Sector Del Acuífero Del Valle De Iguala, Guerrero. México.**

EL análisis geológico, geofísico e hidrológico de la zona del Valle de Iguala, Guerrero, se estableció un modelo hidrogeológico conceptual para comprender el comportamiento del acuífero. En el área de estudio la presencia de rocas sedimentarios marinas (Formación Morelos y Mezcala) y terrígenas continentales (Grupo Balsas) que van del Cretácico Superior al Oligoceno, fueron intrusadas por el granito granodiorita Coxcatlán durante el Eoceno. Sobre yaciendo las rocas sedimentarias del Oligoceno se encuentra la Riolita Tilzapotla del Oligoceno Tardío o los depósitos del Recientes. La principal unidad acuífera corresponde al conglomerado de matriz calcáreoarenosa, limo y arcilla del Grupo Balsas de edad paleógena. Con ayuda de la exploración geofísica basada en el método Magnetoteléurico, se determinó que la unidad acuífera está a una profundidad de 30 m aproximadamente y tiene un espesor que varía de 50 a 250 m; así mismo, se identificó la presencia de un lente arcilloso a una profundidad promedio de 20 m, que confina en algunas zonas la parte superior del acuífero. Basado en la red piezométrica, se observó que la dirección preferencial del flujo subterráneo es noreste-suroeste, se detectaron zonas de deformación en las líneas equipotenciales debido a la incipiente extracción de agua en la ciudad de Iguala y se identificó que el acuífero está conectado hidráulicamente con la Laguna de Tuxpan debido a que la laguna le aporta agua al acuífero. Los parámetros

hidráulicos se estimaron por medio de la interpretación de dos pruebas de bombeo de larga duración con un caudal constante mediante el método de Cooper-Jacob. Los valores de transmisividad obtenidos son 5 [m<sup>2</sup>/d] y 493 [m<sup>2</sup>/d], mientras que el valor de la conductividad hidráulica horizontal es de 0.07 [m/d] y 10.64 [m/d]. Los valores obtenidos de la conductividad hidráulica horizontal son consistentes con la literatura para materiales de arenas arcillosas a arenas medias y conglomerados. La disparidad de los valores obtenidos en la transmisividad y la conductividad hidráulica horizontal nos indica una marcada heterogeneidad en el acuífero. El comportamiento del acuífero granular del Valle de Iguala es de libre a semiconfinado, con una transmisividad y conductividad hidráulica horizontal de baja a media con caudales de extracción que van de 1.5 lt a 12 lt. Por lo que se clasifica como un acuífero de baja a mediana importancia hidrogeológica. **(García, 2012)**

**Mejías D, J. E., Jégat N, H. J., Mora M, L. E., & Linares S, M. A. (2010). Modelo Hidrogeológico Conceptual Para La Evaluación Del Acuífero Del Planicie Aluvial Del Río Motatan. Venezuela.**

El presente trabajo tiene como objetivo elaborar el modelo hidrogeológico conceptual del acuífero ubicado en la planicie aluvial del río Motatán, localizada al occidente del país, en la costa oriental del lago de Maracaibo, con superficie aproximada de 1.462 km<sup>2</sup>. El modelo permitió obtener las reservas permanentes y, posteriormente, se usó para la obtención del modelo matemático, con el que se podrán modelar escenarios de explotación. El agua subterránea es fundamental para el desarrollo de los sistemas de producción agrícola vegetal y animal, agroindustrial y petrolero que se dan en la planicie. En la construcción del modelo se aplicaron técnicas geoestadísticas para el estudio de variables espaciales, en este caso particular, espesores litológicos y niveles piezométricos. Las

reservas permanentes calculadas son de aproximadamente 17 millardos de m<sup>3</sup>, tomándose un valor promedio de porosidad efectiva del 20 %, debido a escasez de ensayos de bombeo que permitieran calcular un valor real. (Mejías, 2010)

### **2.1.2. Antecedentes Nacionales**

**Ing. Nieto Melgarejo, H. (2007). Comparación De Modelos Hidrológicos Precipitación-Escorrentía Determinísticos Conceptuales Con Y Sin Uso De Modelo Estocástico. Lima, Perú.**

La tesis presenta la aplicación de tres modelos hidrológicos precipitación-escorrentía: TANQUE, NAM, SMA trabajados en la cuenca del río Cañete durante el periodo del primero de agosto de 1973 al primero de abril de 1976; los cuales fueron calibrados (del 01/08/1973 al 31/07/1974), simulados (del 01/08/1974 al 31/07/1975) y validados (del 01/08/1975 al 01/04/1976), posteriormente a estos tres modelos se les agrego modelos estocástico para mejorar la aproximación, es así que primero se agregó un modelo auto regresivo AR(1), y después se aplicó el filtro de Kalman. La metodología para evaluar una mejor aproximación, con los datos reales y calculados por las diferentes variantes de los modelos, fue el uso de índices, para la tesis estos son la raíz del error cuadrático normalizado, el índice de eficiencia y el error medio normalizado, obteniéndose resultados satisfactorios para los modelos TANQUE y NAM. (Melgarejo, 2007)

**Puelles Maza, J. C. (2015). Estudio Hidraulico E Hidrologico De La Cuenca Alto Peru Y El Porvenir En El Asentamiento Humano Las Mercedes Alto Peru, Distrito De La Oroya, Provincia De Yauli Junin Para La Construccin Futura De Obras De Arte Ante Amenazas De Derrumbe. Lima, Peru**

Plantea soluciones para poder mitigar los daños provocados por la crecida de agua de las quebradas Alto Perú y El Porvenir, las cuales

afecta al Asentamiento Humano Las Mercedes y Norman King ubicadas en el distrito de la Oroya, Provincia de Yauli – Junín. Para poder determinar las soluciones en esta zona, se ha desarrollado un estudio hidráulico e hidrológico de las quebradas en mención. El estudio hidrológico consiste en estimar las descargas máximas a partir de reporte de precipitaciones máximas en 24 horas registradas en las estaciones cercanas al lugar, para periodos de retorno de 100,200 y 500 años a través de un análisis de frecuencia para lo cual empleamos el programa HIDROESTA, cuyo autor es el Ing. Máximo Villón Béjar. Además, para determinar los caudales máximos que comprende el estudio hidrológico se realizó la caracterización de la cuenca y con la ayuda del Software HEC-HMS, del cuerpo de la armada de los Estados Unidos, se realizó un modelamiento de la cuenca, con la finalidad de tener resultados más reales. Por otro lado, el modelamiento hidráulico de la zona se desarrolló con el Software HEC-RAS de los mismos autores del HEC-HMS, el cual permite obtener los niveles de agua máximos en las quebradas mencionadas. Dicho Software, necesita como información las secciones transversales de la quebrada, por ello se realizó un levantamiento topográfico de las mismas. Para poder plantear soluciones en la zona de estudio se realizó un estudio de socavación con la finalidad de estudiar la acción erosiva del agua. Para ello se extrajeron calicatas y mediante métodos teóricos se logró determinar la altura de socavación. Por último, se procedió a evaluar posibles soluciones como por ejemplo la construcción de obras de arte ya sea muros de concreto o de gaviones. De esta manera se pretende mitigar los daños producidos por el incremento de agua que se dan en las quebradas, originando pérdidas humanas o materiales. **(Puelles, 2015)**

**Zubieta Barragán, R. (2017). “Estimación De Concentración De Lluvia Diaria Y Eventos Hidrológicos Extremos En Cuencas Andino- Amazónicas Empleando Precipitación Basada En Satélites”. 168. Lima, Perú.**

La precipitación concentrada durante varios días tiene un alto potencial para ocasionar erosión del suelo, deslizamientos, inestabilidad de taludes e inundaciones. En la última década, las cuencas andino-amazónicas han sido frecuentemente afectadas por eventos hidrológicos extremos tales como las intensas sequías en 2005 y 2010 e inundaciones en 2009, 2012 y 2014. Los datos de precipitación estimada por satélite empleados para la estimación de concentración de lluvia diaria pueden ser fuente alternativa en regiones donde la disponibilidad de datos de lluvia es limitada. Además, estos datos pueden ser utilizados como entrada a modelos hidrológicos distribuidos para la comprensión y evaluación de eventos hidrológicos extremos. La aplicación de estos datos satelitales en estudios hidrológicos y climáticos requiere una estricta evaluación para su uso en sistemas de previsión de eventos extremos. En este trabajo, conjuntos de precipitación estimado a partir de satélite son evaluados con respecto a datos observados (pluviómetros) en la cuenca amazónica peruana y ecuatoriana. Hasta cinco productos de precipitación deducidos de datos satelitales (TMPA V7, TMPART, CMORPH, PERSIANN y GPM-IMERG) se utilizaron como datos forzantes para la estimación del índice de concentración (IC) de lluvia diaria y simulaciones de caudales diarios usando el modelo hidrológico distribuido de grandes cuencas (MGB – IPH). Se emplearon datos de caudales diarios de hasta 20 estaciones hidrométricas provenientes del observatorio SNO-HYBAM. Los hallazgos de esta tesis sugieren que las estimaciones de precipitación de CMORPH y TMPA V7 son más fiables que los proporcionados por TRMM RT o

PERSIANN en la reproducción de la variabilidad temporal de los IC. Por otro lado, los resultados de la modelización hidrológica también indican la utilidad de datos TMPA RT para estimar los caudales observados en regiones andino-amazónicas (cuenca del río Ucayali, en el sur de la cuenca amazónica de Perú y Ecuador). Así, la estimación de caudales empleando TMPA RT (NS - 0.82) es ligeramente mejor que con otros datos satelitales tales como TMPA V7 y GPM-IMERG (NS - 0.78).  
**(Zubieta, 2017)**

## **2.2. Bases teóricas-científicas**

### **2.2.1. La hidrología**

La hidrología estudia el ciclo hidrológico, es decir la circulación ininterrumpida del agua entre la tierra y la atmósfera y cubre todas las fases del agua en la tierra.

Si bien, el concepto de ciclo hidrológico es simple, el fenómeno es enormemente complejo y, aunque el volumen total de agua en el ciclo es constante, la distribución de ésta cambia continuamente en continentes, regiones y cuencas locales de drenaje. La hidrología de una región está determinada por su clima, topografía, geología y vegetación. Asimismo, las actividades humanas invaden gradualmente el medioambiente natural, alterando el equilibrio dinámico del ciclo hidrológico. Los seres humanos aran el suelo, irrigan cultivos, fertilizan tierras, bombean aguas subterráneas, arrojan desechos en ríos y lagos, etc., afectando la circulación y calidad del agua en la naturaleza. La hidrología estudia los procesos hidrológicos influenciados por el clima, superficie y sub - superficie del suelo. La comprensión de las interacciones entre la hidrología y el ecosistema, permite transferir predicciones hidrológicas de una zona a otra, aunque la escala espacial juega un rol muy importante en la comparación de los procesos hidrológicos. La hidrología

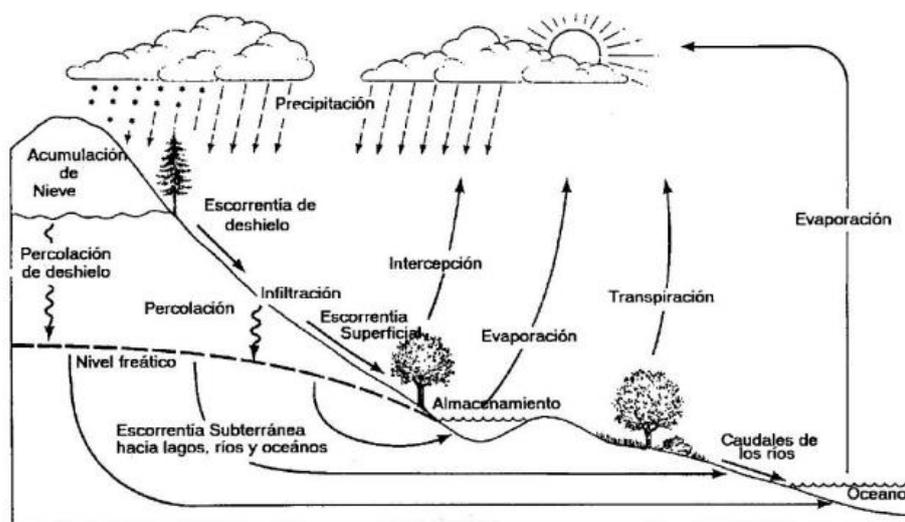
es aplicada en la resolución de los problemas hidrológicos de cada región, proveyendo una guía para el planeamiento y el manejo de los recursos hidráulicos. Se la aplica en el análisis de problemas relacionados con el diseño y operación de estructuras hidráulicas, abastecimiento de aguas, tratamiento y disposición de aguas residuales, irrigación, drenaje, generación hidroeléctrica, control de inundaciones, disminución de contaminación, uso recreativo del agua y protección de la vida terrestre.

El conocimiento de la hidrología local es fundamental, para poder adaptar los conocimientos generales a las condiciones locales. En consecuencia, es necesario realizar estudios de los sistemas de recursos hídricos locales, que contribuirán a una gestión eficaz del suelo y del agua. (Orsolini, et al 2000).

### **2.2.2. El ciclo hidrológico**

El ciclo hidrológico natural es espacial y temporalmente complejo. Sin embargo, para satisfacer las necesidades humanas, es necesario un suministro de agua estable. Por ello, es esencial llevar a efecto estrategias de desarrollo y gestión de los recursos hídricos que vayan generalmente acompañadas de algún tipo de intervención de ingeniería. Las presiones que el crecimiento demográfico y el desarrollo económico ejercen sobre los sistemas hídricos obligan a adoptar ahora una actitud más imparcial y científica al analizar, con fines de ingeniería, los proyectos de desarrollo hídrico.

**Figura N° 1. Representación del ciclo hidrológico**



**Fuente: (LOBO, 2017)**

Considerando el ciclo hidrológico para brindar actividades tales como:

- a) abastecimiento de agua municipal;
- b) riego;
- c) abastecimiento de agua industrial;
- d) gestión de aguas subterráneas;
- e) generación de energía;
- f) gestión de crecidas;
- g) recreación, estética y tradición;
- h) control de la salinidad y de sedimentos;
- i) disminución de la contaminación;
- j) conservación de los peces y de la flora y fauna; y
- k) otras consideraciones medioambientales.

### **2.2.3. Enfoque de los problemas hidrológicos.**

El Perú presenta restricciones respecto a la disponibilidad de información pluviométrica como hidrométrica, pues algunas cuencas hidrográficas no presentan instrumentos de medición. Es por ello

que, para estudios hidrológicos, se utilizan métodos indirectos con la finalidad de poder estimar los caudales de diseño.

Con el tipo de información que se logre conseguir, se elige el método más apropiado para poder determinar los caudales, precipitaciones máximas u otra estimación que requiera un estudio hidrológico.

Por otro lado, La exposición de compartimientos ambientales a agentes físicos o químicos supone un riesgo ambiental. No se considera como compartimiento sólo al humano, sino que se analiza el riesgo sobre el ecosistema en su conjunto, denominado riesgo ecológico. La evaluación de riesgo ecológico es más compleja que la de riesgo a la salud humana, en virtud de la cantidad de especies y diversas rutas de exposición que deben considerarse. (Peluso, 2006 b).

Por lo tanto, para obtener información se ejecuta los análisis de laboratorio, pruebas de campo y también es necesario realizar extrapolaciones mediante modelos matemáticos o confiando en el juicio de expertos.

- a) **La Calidad Ambiental** es el conjunto de propiedades del sistema que permiten juzgar su valor y que ameritan su conservación, ya sea por pristinidad (mantenimiento de un estado no disturbado), o por los bienes y servicios que ofrece. Ejemplos: aptitud recreativa de un cuerpo de agua para el contacto directo, calidad fotogénica de un cuerpo de agua, etc. (Peluso, 2006 a).
- b) **La fragilidad ambiental** es la capacidad que tiene el sistema de resistir acciones sin variar sus características estructuro-funcionales. Ejemplos: capacidad de autodepuración de un río, tasa reproductiva de las especies, nivel de complejidad ecosistémica, etc.

El funcionamiento de un ecosistema está definido por los procesos de absorción, transferencia y liberación de energía y materiales (agua, carbono, nutrientes minerales) que se verifican entre los diversos componentes del ecosistema y entre éste y su entorno (Chaneton,2006).

#### **2.2.4. Cuenca hidrográfica**

Cuenca hidrográfica o cuenca de drenaje de un río, es el área limitada por un entorno al interior de la cual las aguas de lluvia que caen se dirigen hacia un mismo punto, ya sea de salida o interés particular (Jimenez,1992).Es un espacio geográfico cuyos aportes de agua son alimentados exclusivamente por precipitaciones que caen en el interior y el excedente de agua o en materia sólida transportadas por el agua forman, en un punto especial único, una desembocadura, una estación de aforo o un punto arbitrario (Llamas, 1993) Las cuencas por su funcionamiento hídrico se pueden dividir en: zona de cabecera, zona de captación – transporte y zona de emisión. Un mejor concepto de definición sería que la cuenca hidrográfica es una unidad morfografía donde se incluyen las aguas superficiales y subterráneas. Cada cuenca hidrográfica posee características propias.

#### **2.2.5. La hidrogeológico**

El interés de la explotación minera. El estudio de las rocas como depósitos permeables por porosidad o fracturación, y las leyes por las que en ellas se mueven los fluidos, motivado todo ello por los petroleros. A diferencia que estudia la hidrología, la hidrogeología estudia las aguas subterráneas frente a las rocas que puedan existir a su paso. En otras palabras, estudia los acuíferos consisten en sistemas de rocas o formaciones geológicas, homogéneas o heterogéneas, con espacios huecos, ya sean estos poros o ya sean grietas o fracturas, llenos de agua

En general, lo que identifica una unidad acuífera, o un sistema acuífero en el sentido de hacerlo diferente de otro es que dentro de cada uno de ellos existe continuidad física del agua contenida en la zona de saturación.

#### **2.2.6. Recurso hídrico subterráneo en la zona de estudio**

En el estudio hidrogeológico elaborado en el año 2015-2016, se plasmaron hallazgos importantes de la presencia de agua subterránea en forma difusa y muy dispersa y a través de la formación geológica fracturada con caudales muy reducidos. Con el avance de los trabajos de exploración minera en los siguientes años hasta la actualidad (2019), las características hidrogeológicas en las rampas de las minas Hércules, y los diferentes niveles no han variado en lo hidrogeológico, a pesar de haber alcanzado cotas menores.

El ámbito del estudio es de aproximadamente 3 Km<sup>2</sup> en el que se hallan incluidas las tres unidades antes mencionadas. Las filtraciones difusas han sido inventariadas en superficie, las cuales hacen su aparición en forma difusa o dispersa, debido a la presencia de rocas competentes que impiden el flujo vertical de las aguas precipitadas. En base al marco geológico e hidrogeológico se ha elaborado el modelo conceptual del sistema Hércules.

### **2.3. Definición de términos básicos**

#### **a. Acuíferos**

Los acuíferos son reservorios de agua que están ubicados debajo de la superficie terrestre. Estos acuíferos permiten la circulación del agua a través de diversas grietas y de la porosidad de su estructura.

#### **b. Agua subterránea**

El agua subterránea representa una fracción importante de la masa de agua presente en los continentes, bajo la superficie de la Tierra, tanto en el suelo

como en el subsuelo ya que convencionalmente, el término superficie terrestre incluye cierto espesor como se señala en el artículo respectivo, al ser un concepto tridimensional.

**c. Agua superficial**

Aguas superficiales son aquellas que se encuentran sobre la superficie del planeta. Esta se produce por la escorrentía generada a partir de las precipitaciones o por el afloramiento de aguas subterráneas. Pueden presentarse en forma correntosa, como en el caso de corrientes, ríos y arroyos, o quietas si se trata de lagos, reservorios, embalses, lagunas, humedales, estuarios, océanos y mares.

**d. Calidad del agua**

Calidad del agua se refiere a las características químicas, físicas, biológicas y radiológicas del agua. Es una medida de la condición del agua en relación con los requisitos de una o más especies bióticas o a cualquier necesidad humana o propósito.

**e. Cantidad del agua**

La cantidad del agua es la estimada para hacer uso de ello en una actividad determinada; en su primordial uso del consumo humano para la supervivencia.

**f. Caudal**

El caudal, es la cantidad o nivel de una determinada sustancia que pasa por un cierto lugar durante un cierto periodo de tiempo.

**g. Ecosistema**

Sistema biológico constituido por una comunidad de seres vivos y el medio natural en que viven.

**h. Escurrimiento**

La porción de lluvia real que produce escorrentía superficial, este coeficiente varía a lo largo del tiempo en función a factores como: terreno, vegetación, horas sol, entre otros.

**i. Evapotranspiración**

La evapotranspiración es la combinación de la evaporación del agua desde la superficie de suelo y la transpiración de la vegetación (Chow, 1994).

**j. Geología**

Ciencia que estudia el origen, formación y evolución de la Tierra, los materiales que la componen y su estructura.

**k. Geomorfología**

Parte de la geodesia que estudia la figura del globo terráqueo y la formación de los mapas.

**l. Hidro geoquímica**

Ciencia interdisciplinaria que se nutre de los conocimientos de la química del agua y de la hidrogeología haciendo énfasis en los principios fisicoquímicos de la disolución de los minerales que constituyen las rocas de los acuíferos. También estudia la interacción del agua con las rocas con respecto con el recorrido que hace hasta emerger en los manantiales para el consumo del hombre.

**m. Hidrogeología**

Parte de la geología que estudia el ciclo de las aguas superficiales y subterráneas, así como su prospección, captación y protección.

**n. Hidrograma**

El hidrograma es un gráfico que muestra la variación en el tiempo de alguna información hidrológica tal como: nivel de agua, caudal, carga de sedimentos, entre otros.

**o. Hidrología**

Estudio de las propiedades físicas, químicas y mecánicas del agua continental y marítima, su distribución y circulación en la superficie de la Tierra, en el suelo y en la atmósfera.

**p. Hidrometeorológica**

La hidro meteorología es una rama de las ciencias de la atmósfera (meteorología) y de la hidrografía que estudia la transferencia de agua y energía entre la superficie y la atmósfera. Se deben a la acción de factores atmosféricos, como el viento, la lluvia o cambios bruscos de temperatura.

**q. Isoyetas**

Línea imaginaria que une los puntos de la Tierra con la misma media de pluviosidad.

**r. Microcuenca**

La microcuenca u hoya hidrográfica el área de aguas superficiales o subterráneas, que vierten a una red natural con uno o varios cauces naturales, de caudal continuo o intermitente, que confluyen en un curso mayor que, a su vez, puede desembocar en un río principal.

**s. Nivel freático**

El nivel freático corresponde al nivel superior de una capa freática o de un acuífero en general. También se conoce como capa freática, manto freático, napa freática, napa subterránea.

**t. Pluviometría**

Parte de la meteorología que mide y estudia la cantidad, la intensidad y la regularidad de las lluvias según el espacio geográfico y las estaciones del año.

**u. Relieve**

Configuración de una superficie con distintos niveles o partes que sobresalen más o menos.

**v. Zona de exploración**

Lugar desconocido o poco conocido para conocerlo o estudiar o halla describir lo que se halla en él.

**w. Zona de explotación**

Lugar en donde se encuentran conjuntos de elementos o instalaciones destinados a sacar provecho de un producto natural.

## **2.4. Formulación de la hipótesis**

### **2.4.1. Hipótesis general**

Si se efectúa un estudio hidrológico e hidrogeológico entonces se puede determinar la calidad y cantidad de agua en la microcuenca Hércules de la minera Lincuna S.A.

### **2.4.2. Hipótesis específicas**

- a) Si se efectúa el estudio hidrológico entonces se puede determinar la cantidad de agua en la microcuenca Hércules de la Minera Lincuna S.A.
- b) Si se efectúa el estudio hidrogeológico se puede determinar la calidad de agua en la microcuenca Hércules de la Minera Lincuna S.A.

## **2.5. Identificación de variables**

### **2.5.1. Variable independiente**

Estudio hidrológico e hidrogeológico

#### **Para la hipótesis A**

Estudio hidrológico.

#### **Para la hipótesis B**

Estudio hidrogeológico

### **2.5.2. Variable dependiente**

Evaluar la cantidad y calidad de agua de la microcuenca Hércules.

#### **Para la hipótesis A**

Evaluar la cantidad de agua de la microcuenca Hércules de Minera

#### **Para la hipótesis B**

Evaluar la calidad de la microcuenca Hércules de Minera Lincuna S.A.

### **2.5.3. Variable interviniente**

Política de Minera Lincuna S.A.

## 2.6. Definición operacional de variables e indicadores

**Cuadro N° 1 Definición operacional de variables e indicadores**

VARIABLES	DEF. GENERAL	DEF. OPERAC.	INDICADORES
Estudio hidrológico e hidrogeológico	Representación aplicada fundamental de la hidrología y la hidrogeología en la zona de investigación.	Metodologías descriptivas para detallar la hidrología y la hidrogeología de la microcuenca Hércules	Mapas Software Monitoreos Cuadros estadísticos.
Evaluar la cantidad y calidad de agua de la microcuenca Hércules.	Cantidad de agua en la microcuenca Hércules. Describiendo las aguas superficiales.	Caudal de la circulación en la microcuenca	l/s
	Calidad de agua en la microcuenca Hércules, describiendo las aguas subterráneas.	Composición química en el agua según el DS 004 – 2017 MINAM categoría 3 (ECA) y EL DS 010 2010 MINAM (LMP)	- °C - Mg/l - µS/cm - UC - Unidad de Ph - NMP/100 ml - Huevo/ L

## **CAPITULO III**

### **METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN**

#### **3.1. Tipo de investigación**

El reciente trabajo de investigación es de carácter APLICATIVO, conforme a los propósitos y de naturaleza de la investigación; el estudio se sitúa en el nivel descriptivo y explicativo de los estudios de la hidrología y la hidrogeología.

#### **3.2. Método de investigación**

En la actual investigación se aplicarán los métodos deductivo, inductivo, evaluativo, análisis y síntesis. Se tomarán datos de campo y se solicitarán informes respecto a las condiciones de la hidrológica e hidrogeología de la microcuenca Hércules.

Donde se estableció el orden de trabajo comenzando por:

##### **a) Trabajo preliminar:**

Consiste en la planificación de la identificación el área del lugar de la investigación y la caracterización del lugar para poder facilitarnos en los parámetros a estudiar.

##### **b) Trabajo de campo**

Aplicación de todo lo planificado para la identificación y la caracterización del lugar de trabajo encontrando las estrategias de los para lograr el objetivo de la investigación.

**c) Trabajo de evaluación**

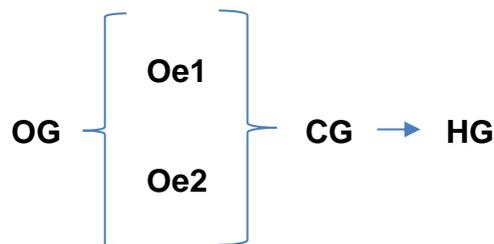
Encontrado las estrategias y el modelo de aplicación, procedemos a efectuar el estudio hidrológico e hidrogeológico para determinar la cantidad y calidad de agua

**d) Trabajo en oficina**

De los datos obtenidos, ejecutamos los softwares respectivos para el análisis de estos y sacar una conclusión de la investigación.

**3.3. Diseño de investigación**

El diseño que se uso es de acuerdo a los objetivos y las hipótesis con el esquema siguiente:



Donde:

**OG**=Objetivo General

**Oe1,2**= Objetivos específicos

**CG**=Conclusión General

**HG**=Hipótesis General

**3.4. Población y muestra**

**3.4.1. Población**

La población está establecida por toda el área geográfica de la cuenca de Huarmey. Que representa 2245 km<sup>2</sup>.

### **3.4.2. Muestra**

La muestra está establecida por el área geográfico de la microcuenca Hércules que es establecido por 7.31 km<sup>2</sup> perteneciente a la cuenta de Huarmey en donde se establece las actividades la compañía minera Lincuna S.A.

### **3.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos**

Las técnicas de recolección de datos y la posterior evaluación de la calidad y cantidad de agua se tomó en cuenta los siguientes rubros:

- Capacitaciones
- Análisis documentario
- mapeo hidrológico e hidrogeológico
- Etc.;

Como instrumentos de recolección de datos se utilizó:

- Guía de entrevistas
- Guía de análisis documental
- Guía de observación, técnicas de procesamiento y análisis de datos
- Registros de evaluación
- Resultados de laboratorio, etc.

### **3.6. Técnicas de procesamiento y análisis de datos.**

Los datos que se obtuvieron en el trabajo de campo, se clasificaron y ordenaron con la finalidad de analizarlo; se realizó haciendo uso del procesador de texto (Word) y la hoja de cálculo Excel. Donde se presenta tablas y sus respectivas figuras para el análisis respectivo, las mismas que se presentan en el capítulo de resultados.

Para el procesamiento de los datos serán representados numérica y alfabéticamente, clasificados cualitativa y cuantitativamente, según los

registrados en papel para ser pasados a formatos digitales, codificados de acuerdo a fecha, orden, lugar, etc., la tabulación de datos es de manera electrónica debido a la cantidad de datos.

### **3.7. Tratamiento estadístico**

Se ampliarán en lo necesario técnicas propias de la estadística descriptiva, descripción hidrográfica y morfométrica, parámetros, análisis exploratorios y métodos de lutz- scholz, histogramas e Isoyetas, etc. Estas, además de facilitar la ordenación y comparación de datos, nos permiten conocer los parámetros de las muestras con las que trabajaremos.

### **3.8. Selección, validación y confiabilidad de los instrumentos de investigación**

La selección de los instrumentos fue seleccionada por los especialistas, para poder aplicar los métodos, de esta forma hallar la cantidad y la calidad del agua que se va utilizar en la actividad.

Su validación y confiabilidad se integra en los años de experiencia de los especialistas que ayudaron en identificar la hidrología e hidrogeología de la minera Lincuna S.A.

Y posterior a ello el visto bueno del asesor de la presente tesis para la ejecución de todas las aplicaciones de los procesos que sean necesarios.

### **3.9. Orientación ética**

El trabajo de investigación está orientado a los valores de demostrar y cuidar los diferentes aspectos de la naturaleza sobre todo el agua que brinda vida a los seres humanos por la ciencia de la hidrología y la hidrogeología.

## **CAPITULO IV**

### **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

#### **4.1. Descripción del trabajo de campo**

##### **4.1.1. Ubicación del Proyecto**

Se localiza en el distrito y provincia de Aija, Departamento de Ancash. Geográficamente se ubica entre las coordenadas UTM del sistema geográfico mundial (WGS 84 – Zona 18S) E-219744.64 m, N-8921983.19 y E-222323.06 m, 8918636.33 m, cuya altitud varía entre 4060 y 4720 m.s.n.m.

Hidrológicamente la Quebrada Hércules desemboca en el río Aija, perteneciente a la Cuenca Huarmey. Administrativamente se encuentra bajo la jurisdicción de la IV Autoridad Administrativa del Agua –Huarmey Chicama, tal como se muestra en el anexo 04.

##### **4.1.2. Accesibilidad**

El proyecto tiene acceso vía terrestre: partiendo desde Huaraz, mediante la carretera 3N y AN-109, con 1 hora 41 minutos de tiempo de viaje.

#### 4.1.3. Caracterización fisiográfica y morfológica

##### A. Parámetros de Forma

La forma de una cuenca es determinante de su comportamiento hidrológico, de ahí que algunos parámetros traten de cuantificar las características morfológicas por medio de índices o coeficientes.

**Cuadro N° 2** Parámetros de forma de la Microcuenca Hércules

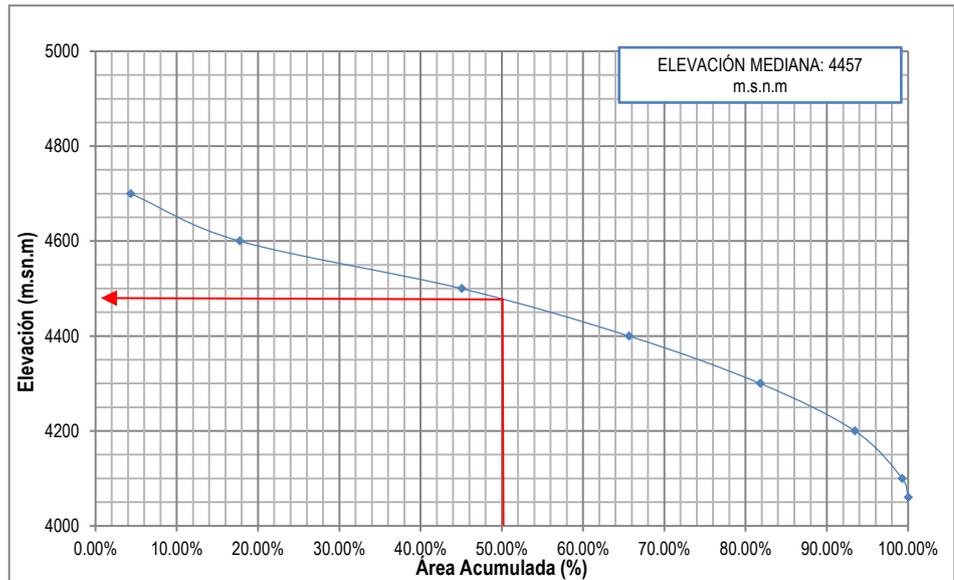
Parámetros Geomorfológicos	Unidades	Microcuenca Hércules
Área de la cuenca	km <sup>2</sup>	7.31
Perímetro	km	11.93
Coficiente Compacidad (Cc)	-	1.33
Longitud de la cuenca (Lc)	km	3.38
Longitud cauce principal (L)	km	2.85
Factor de Forma (FF)	-	0.35
Cota media	m.s.n.m	4429.56
Longitud mayor (L)	km	3.6
Longitud menor (l)	km	1.1

##### B. Parámetros de relieve

###### 1. Curva hipsométrica

La microcuenca refleja una cuenca con gran potencial erosivo (ríos jóvenes) pues el área bajo la curva representa el 60.4 % del área total. El 50% del área de la cuenca se encuentra sobre los 4457.47 m.s.n.m., tal como se muestra en la siguiente figura.

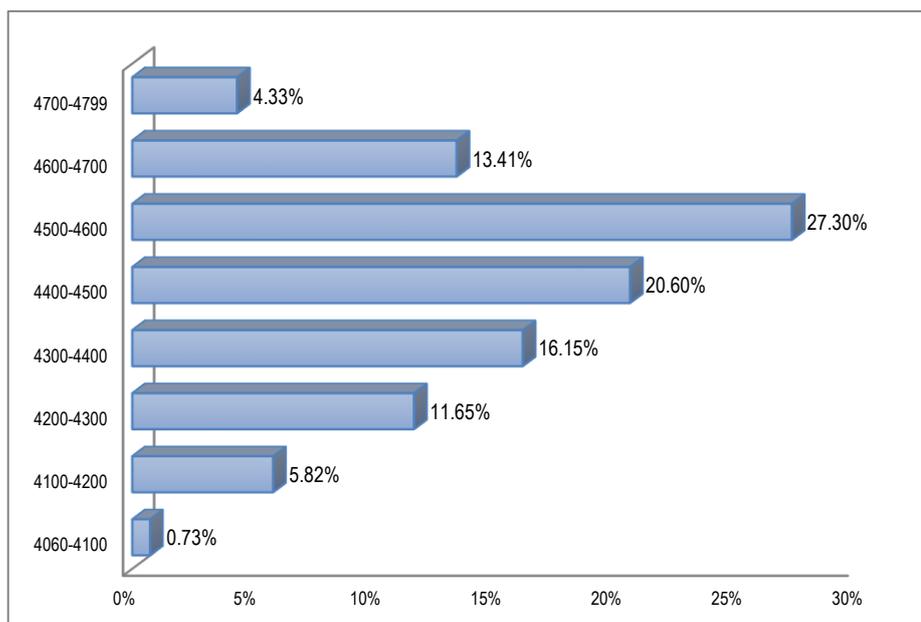
Figura N° 2 Curva Hipsométrica de la Microcuenca Hércules



## 2. Polígono de frecuencia

El polígono de frecuencias es un complemento de la curva de hipsométrica y permite determinar las altitudes más frecuentes en una cuenca a través del porcentaje más alto del diagrama. En la Figura siguiente, se observa la distribución porcentual de las áreas versus la altitud en un intervalo de 100 metros. En el área de estudio se visualiza que la mayor proporción de las áreas se encuentra entre los 4500 y 4600 m.s.n.m. (zona húmeda), y en menor proporción entre los 4060 y 4100 m.s.n.m.

**Figura N° 3. Polígono de frecuencia de la Microcuenca Hércules**



### **3. Altitudes representativas**

Altitud media, expresa la altura promedio de la superficie. Para la microcuenca es de 4429.56 m.s.n.m.

Altitud mediana, divide a la superficie de la cuenca en dos áreas iguales, dicha altitud es de 4457.47 m.s.n.m.

Altitud modal, representa la altura más frecuente, en la microcuenca este valor es de 4550.0 m.s.n.m.

### **4. Pendiente media de la cuenca**

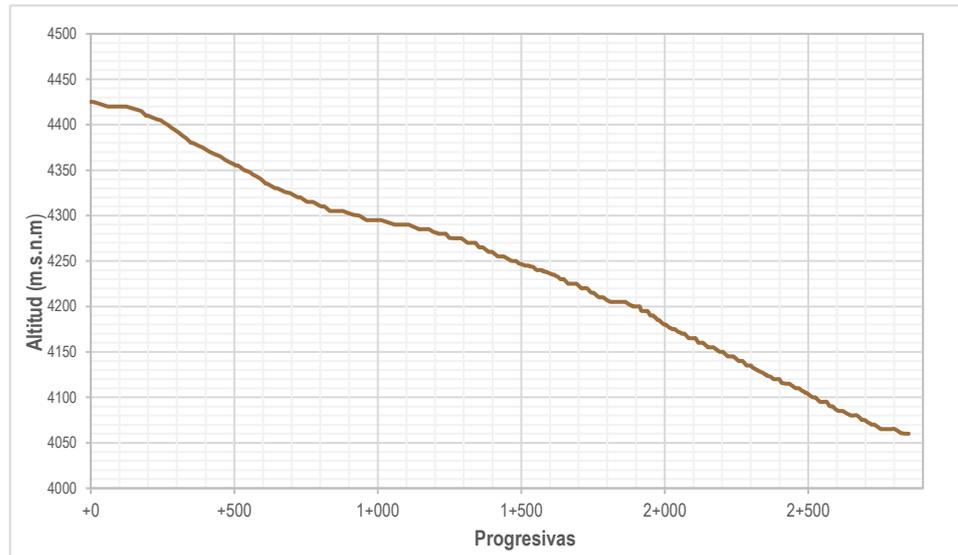
De acuerdo a los mayores o menores grados de pendiente se muestra la influencia de la configuración topográfica en el proceso de erosión de una cuenca y en la formación de descargas altas, tal es el caso de la pendiente media para la Microcuenca Hércules, cuyo valor es de 23.50%, característico de un relieve fuertemente ondulado.

### **5. Perfil Longitudinal y pendiente media del cauce**

En cuanto a la pendiente media del cauce se tiene que para la microcuenca es de 12.81%, definiéndose como un cauce inclinado.

El perfil longitudinal del cauce de la microcuenca se muestra en la siguiente figura.

**Figura N° 4 Perfil Longitudinal del Cauce Principal – Microcuenca Hércules**



## **4.2. Presentación, análisis e interpretación de resultados**

### **4.2.1. Estudio hidrológico**

#### **4.2.1.1. Tratamiento Hidrometeorológica**

Las estaciones hidrometeorológicas cercanas a la microcuenca con información de precipitación se resumen en el siguiente Cuadro, elaborado por la dirección general de hidrología del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú – SENAMHI, la cual es una base de datos espacial de precipitación.

Para la visualización de las estaciones a observar el anexo

05

**Cuadro N° 3 Relación de estaciones cercanas de la microcuenca hércules**

Estación	Este	Norte	Cota	Departamento	Provincia	Distrito	Tipo
Estación 1	221673.96	8920498.98	4422	Ancash	Aija	Aija	Meteorológica Pluviométrica
Estación 2	219554.72	8919614.27	4102	Ancash	Aija	Aija	Meteorológica Pluviométrica
Estación 3	220712.97	8922679.29	4530	Ancash	Aija	Aija	Meteorológica Pluviométrica

### 1. Análisis exploratorio de datos

El Análisis Exploratorio de Datos (AED) nos permitió realizar una mirada interna de los datos y establecer su estructura y relaciones existentes; evitando, de esta forma, un filtrado en el cual pueda dejarse por fuera información importante.

Las técnicas usadas generalmente son gráficas con algunas evaluaciones cuantitativas. El AED fue realizado siguiendo la metodología mostrada a continuación.

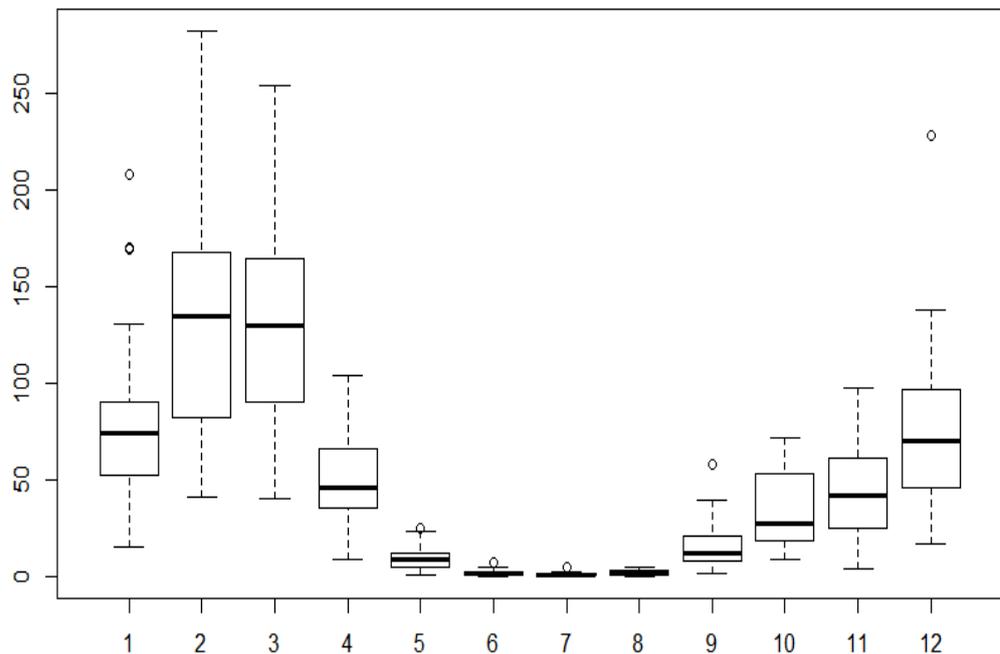
#### a. Hidrogramas

Para efectos del análisis de datos por medio del uso de hidrogramas se pueden observar los datos sobresalientes o alejados del resto de datos. Tal como se muestra en el anexo 06, donde se observa las anomalías de la estación 1 en los años 1984, 1993, 1998, 1999 y 2001 para luego proceder al descarte de datos en caso no haya ocurrido un evento extraordinario que justifique el valor, reduciendo el error en los datos. De la misma forma para los las estaciones 2 y 3, que se encuentran en el anexo 07 y 08. respectivamente.

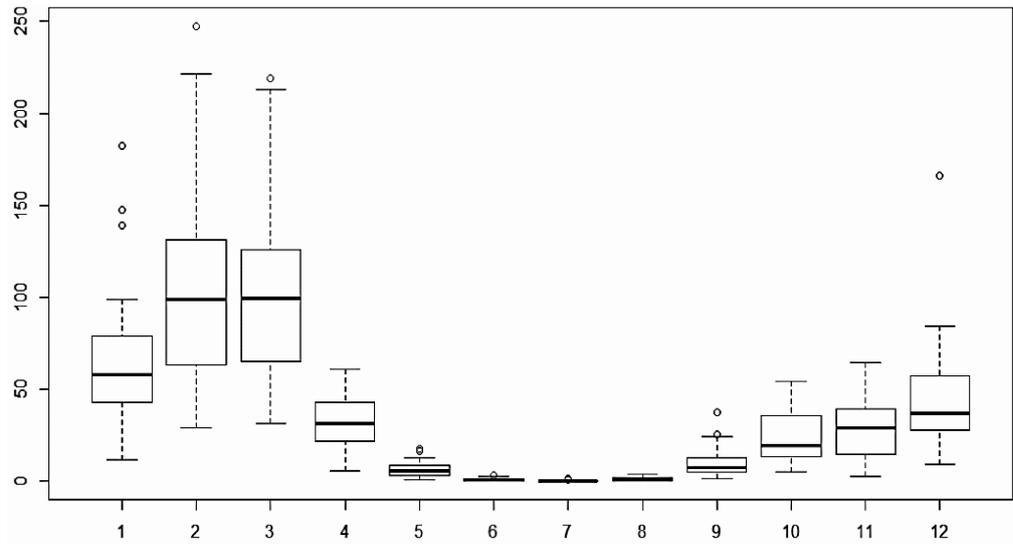
#### b. Box Plot y análisis de valores dudosos

En la Figura N°5 se muestra el diagrama de cajas de la variable precipitación total mensual correspondiente a la estación 1, donde se distingue el comportamiento estacional de esta variable. Se puede observar que el periodo húmedo se encuentra entre diciembre y abril, y el periodo seco entre mayo y noviembre. Las líneas en negrita en cada uno de los diagramas representan las medianas de los datos observados, las líneas discontinuas que se extienden hacia los extremos son los valores máximos y mínimos, y las circunferencias son los valores atípicos. Los resultados de las demás estaciones se observan en las Figuras 6 Y 7.

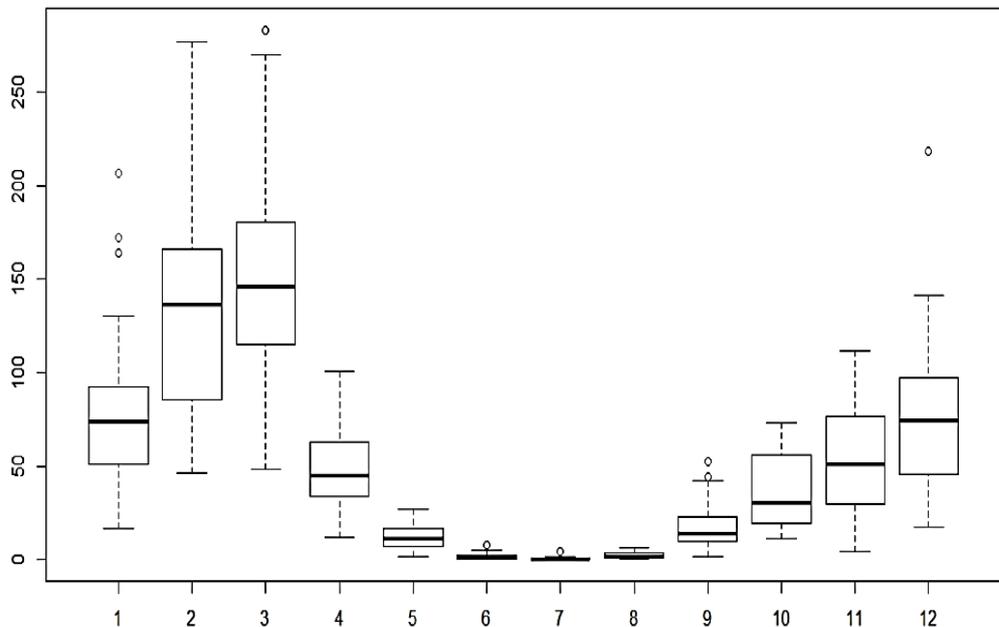
**Figura N° 5** Gráfico Box Plot de los datos de precipitación acumulada de la “Estación 1”



**Figura N° 6** Gráfico Box Plot de los datos de precipitación acumulada de la “Estación 2



**Figura N° 7** Gráfico Box Plot de los datos de precipitación acumulada de la “Estación 3



Luego de obtener los datos atípicos de cada estación se procedió a evaluar su validación al verificar si existió un evento extraordinario como lluvias intensas, fenómeno del niño o una sequía extrema; si el dato anómalo tiene justificación se conserva dentro de la data, para realizar otros análisis posteriores. Tal como se muestra en el

Cuadro N°4, donde se muestra la validación de los datos anómalos de la estación 1. Realizando el mismo procedimiento para las demás estaciones se muestra en los cuadros 5 y 6.

**Cuadro N° 4 Análisis de valores dudosos de la Estación 1**

ESTACION	MES	UMBRAL INFERIOR	UMBRAL SUPERIOR	DATO OUTLIER	AÑOS	OBSERVACION
ESTACION 1	ENERO	5.1	141.1	207.9, 169.6	1998, 2009	En este año se manifestó el fenómeno del niño lo cual justifica el valor por encima del umbral superior, considerándolo válido.
				169.1	2001	En estos años no hay registros de algún fenómeno que justifique los valores fuera de los umbrales, por lo que no son válidos.
	FEBRERO	40.52	294.79	281.8, 281.95	1984, 1999	Los valores están fuera de los umbrales, por lo que no son válidos.
				259.4	1998	En estos años se manifestó el fenómeno del niño lo cual justifica el valor por encima del umbral superior, siendo válidos.
	MARZO	39.77	269.5	251.54, 254.29	1993, 2001	En estos años no hay registros de algún fenómeno que justifique los valores fuera de los umbrales, por lo que no son válidos.
	MAYO	0.66	22.5	22.72, 24.70	1999, 2014	En estos años no hay registros de algún fenómeno que justifique los valores fuera de los umbrales, por lo que no son válidos.
	JUNIO	0.00	5.3	6.83	2006	En este año se manifestó el fenómeno del niño lo cual justifica el valor por encima del umbral superior, considerándolo válido.
	JULIO	0	1.97	4.15, 4.24	2008, 2011	Los valores están fuera de los umbrales, por lo que no son válidos.
	SEPTIEMBRE	1.15	35.35	57.75	2001	El valor esta fuera de los umbrales, por lo que no es válido.
	DICIEMBRE	19.91	163.46	228.04	1997	En este año se manifestó el fenómeno del niño lo cual justifica el valor por encima del umbral superior, considerándolo válido.

**Cuadro N° 5 Análisis de valores dudosos de la Estación 2**

ESTACION	MES	UMBRAL INFERIOR	UMBRAL SUPERIOR	DATO OUTLIER	AÑOS	OBSERVACION
ESTACION 2	ENERO	11.7	127.6	182.4, 147.2	1998, 2009	En este año se manifestó el fenómeno del niño lo cual justifica el valor por encima del umbral superior, considerándolo válido.
				138.9	2001	En estos años no hay registros de algún fenómeno que justifique los valores fuera de los umbrales, por lo que no son válidos.
	FEBRERO	28.67	232.90	216.2, 212.5, 247.43, 208.87	1984, 1989, 1999, 2000	Los valores están fuera de los umbrales, por lo que no son válidos.
				221.2	1998	En estos años se manifestó el fenómeno del niño lo cual justifica el valor por encima del umbral superior, siendo válidos.
	MARZO	31.63	214.16	218.90, 213.19	1993, 2001	En estos años no hay registros de algún fenómeno que justifique los valores fuera de los umbrales, por lo que no son válidos.
	MAYO	0.36	15.54	16.49, 17.47	1999, 2014	En estos años no hay registros de algún fenómeno que justifique los valores fuera de los umbrales, por lo que no son válidos.
	JUNIO	0.00	2.61	2.76	2006	En este año se manifestó el fenómeno del niño lo cual justifica el valor por encima del umbral superior, considerándolo válido.
	JULIO	0.00	0.26	0.56, 1.49, 1.31	1991, 2008, 2011	Los valores están fuera de los umbrales, por lo que no son válidos.
				0.30, 0.41, 0.40	2003, 2004, 2006	En este año se manifestó el fenómeno del niño lo cual justifica el valor por encima del umbral superior, considerando lo válido.
	SEPTIEMBRE	1.01	23.93	25.40, 37.50	1999, 2001	Los valores están fuera de los umbrales, por lo que no son válidos.
				24.09	2004	En este año se manifestó el fenómeno del niño lo cual justifica el valor por encima del umbral superior, considerándolo válido.

	DICIEMBRE	9.21	99.80	165.84	1997	En este año se manifestó el fenómeno del niño lo cual justifica el valor por encima del umbral superior, considerándolo válido.
--	-----------	------	-------	--------	------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

**Cuadro N° 6 Análisis de valores dudosos de la Estación 3**

ESTACION	MES	UMBRAL INFERIOR	UMBRAL SUPERIOR	DATO OUTLIER	AÑOS	OBSERVACION
ESTACION 3	ENERO	16.9	149.6	206.82, 172.34	1998, 2009	En este año se manifestó el fenómeno del niño lo cual justifica el valor por encima del umbral superior, considerándolo válido.
				164.0	2001	En estos años no hay registros de algún fenómeno que justifique los valores fuera de los umbrales, por lo que no son válidos.
	FEBRERO	46.50	282.30	277.25, 263.03	1984, 1999	Los valores están fuera de los umbrales, por lo que no son válidos.
				263.0	1998	En estos años se manifestó el fenómeno del niño lo cual justifica el valor por encima del umbral superior, siendo válidos.
	MARZO	20.15	276.48	120.78, 283.40, 270.28	1985, 1993, 2001	En estos años no hay registros de algún fenómeno que justifique los valores fuera de los umbrales, por lo que no son válidos.
				257.86	2009	En este año se manifestó el fenómeno del niño lo cual justifica el valor por encima del umbral superior, considerándolo válido.
	JUNIO	0.00	5.43	7.73	2006	En este año se manifestó el fenómeno del niño lo cual justifica el valor por encima del umbral superior, considerándolo válido.
	JULIO	0.00	1.70	4.41, 3.86	2008, 2011	Los valores están fuera de los umbrales, por lo que no son válidos.
	SEPTIEMBRE	1.65	43.45	44.00, 52.54	1999, 2001	Los valores están fuera de los umbrales, por lo que no es válido.
	DICIEMBRE	17.30	167.64	218.39	1997	En este año se manifestó el fenómeno del niño lo cual justifica el valor por encima del umbral superior, considerándolo válido.

## **2. Análisis de homogeneidad**

Toda la información histórica de registros climáticos, de las estaciones cercanas a la zona de estudio, se analizó considerando parámetros tales como duración, datos faltantes, tipos de estación, entre otros. El análisis de la calidad de la pluviometría se desarrolló en base a la aplicación del método del vector regional (MVR) con la finalidad de comprobar si las estaciones pluviométricas forman parte de una misma región climáticamente homogénea.

### **a. Método del vector regional**

Para el análisis de la precipitación en las microcuencas se empleó una metodología no tradicional, llamada Método del vector regional (MVR), este es ante todo un método de crítica de datos que tiene por objetivo el homogeneizar los datos pluviométricos. El método del vector regional consiste en elaborar, a partir del conjunto de la información disponible, una especie de estación ficticia que sea representativa de toda el área de estudio, donde luego para cada estación se calcula un promedio extendido sobre todo el período de estudio, y para cada año, se calcula un índice. A esta serie de índices anuales se le llama Vector Regional, ya que toma en cuenta la información de una región que es climáticamente homogénea.

Para el presente estudio empleamos el software Hydraccess v4.6 desarrollado por Philippe Vauchel, hidrólogo del Instituto de investigación para el desarrollo

(IRD), el cual tiene incluido un módulo para el cálculo del vector regional por el método de G. Hiez y Y. Brunet Moret. El método de G. Hiez está basado en el cálculo de la moda, mientras que el de Brunet Moret se basa en el promedio, eliminando los valores demasiado alejados del promedio, siendo este último método el utilizado en este proyecto. Cada método estima una media extendida para cada estación sobre el período de trabajo y calcula los índices anuales de cada estación.

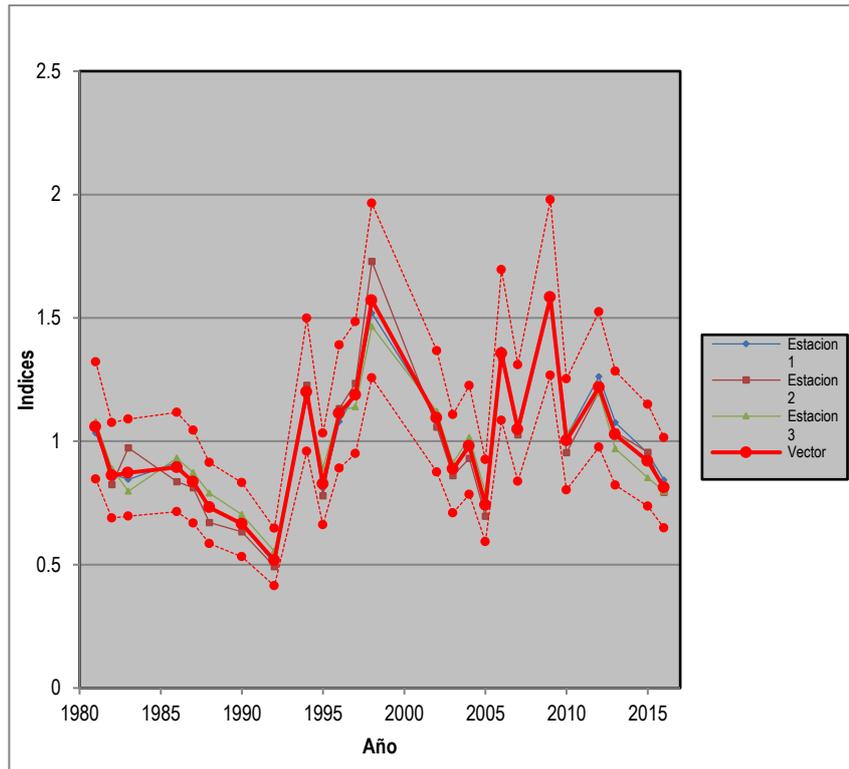
Para el cálculo del vector se tiene en consideración, tener como mínimo 3 estaciones por año, y 3 años como mínimo por estación, al ser la hipótesis principal de este método el principio de “pseudo-proporcionalidad” se consideró que los datos deben tener el mismo comportamiento (cantidad y variación temporal), es decir deben de tener una tendencia climática única.

Una vez elaborado el vector regional, la crítica de datos es enormemente facilitadas, ya que se puede; comparar gráficamente y correlacionar los datos de una estación con los índices del vector regional, tal como se muestra en la Figura N°8

La figura muestra el grafico índices anuales del vector regional y de las estaciones que se encuentran en la zona, La línea roja es el vector regional, y la roja punteada representa los límites aceptables según el método antes descrito. La pseudo-proporcionalidad de una zona es medida por el valor del coeficiente de correlación media entre las estaciones y el vector correspondiente; por lo que

se ha considerado una zona homogénea si los coeficientes de correlación anual entre el vector y la estación son superiores o iguales a 0.7, debido a que la poca densidad de la red de estaciones, no nos permite ser más estrictos y reducir la zona.

**Figura N° 8 Índice anual del vector y de estaciones**



Se observa que los índices de las estaciones tienen un comportamiento similar que la del vector regional para el periodo de análisis, por lo que podemos afirmar la homogeneidad pluviométrica de las estaciones pertenecientes a la zona de estudio, los parámetros estadísticos que respaldan tal afirmación se presentan en el Cuadro N°7 La correlación entre los índices del vector regional y las estaciones (correl/vector) son mayores a 0.987, lo que evidencia alta proporcionalidad entre ambas

variables, además la desviación estándar de los desvíos (DED) son menores a 0.05 y según Vauchel (2005) valores de DED cercanos a la unidad indican probablemente una mala calidad de la estación.

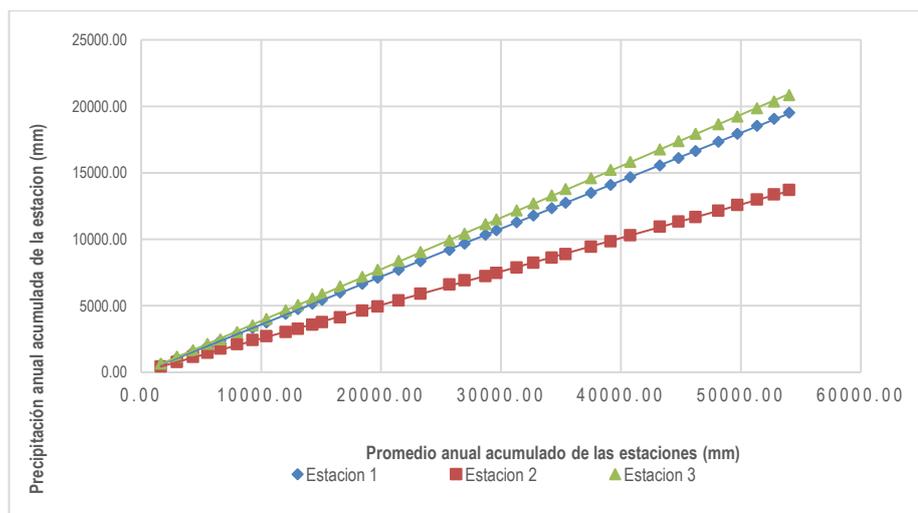
**Cuadro N° 7** Parámetros de Análisis para evaluar la homogeneidad de la zona de estudio

Id Estación	D.E. Desvíos	Correl. /Vector
Estación 1	0.023	0.996
Estación 2	0.05	0.988
Estación 3	0.044	0.987

### 3. Análisis de consistencia gráfica

En la Figura N°9 se exponen los resultados del análisis de doble masa realizado para los datos de precipitaciones las estaciones meteorológicas en la zona de estudio, el análisis realizado arrojó buenos resultados siendo el índice de correlación mayor a 0.9 en todos los casos, además se puede observar que los datos se ajustan bastante a una tendencia lineal.

**Figura N° 9** Análisis de doble masa de las estaciones ubicadas en la zona de estudio



#### 4. Análisis estadístico de saltos

Después de realizar el análisis visual, se procedió al análisis estadístico de saltos, tanto en la media como en la desviación estándar, para lo cual se utilizó las pruebas T Students y F Fisher respectivamente.

El análisis estadístico para la consistencia de la media consiste en probar, mediante la prueba T (Prueba de hipótesis), si los valores medios de las muestras, son estadísticamente iguales o diferentes, mientras que el análisis estadístico para la consistencia de la desviación estándar consiste en probar mediante la prueba F, si los valores de las desviaciones estándar de las muestras son estadísticamente iguales o diferentes. Ambas pruebas son analizadas con una probabilidad del 95% o con 5% de nivel de significancia. Como resultado se obtuvo que no se tenía la necesidad de corregir las series de precipitación.

**Cuadro N° 8 Prueba de análisis de consistencia en la media y la desviación estándar**

TEST DE ANALISIS	ESTACION 1		ESTACION 2		ESTACION 3	
F Fisher	1.01	NS (1.26)	1.11	NS (1.25)	1.11	NS (1.25)
Student's t	0.82	NS (2.0)	1.3	NS (2.0)	1.05	NS (2.0)

#### 5. Análisis de cambio en la media/mediana

Se utilizó el test no paramétrico de libre distribución CUSUM. Es una prueba basada en el ranking de los datos observados, los que se comparan con la mediana de la serie de tiempo (Chiew & McMahon, 1993; McGilchrist & Woodyer, 1975). Este método prueba si las medias de dos periodos distintos de una misma serie de tiempo son

diferentes. En el Cuadro N°9 se observa que los datos no muestran un resultado estadísticamente significativo.

**Cuadro N° 9 Prueba Cusum para análisis de cambio en la media/mediana**

TEST DE ANALISIS	ESTACION 1		ESTACION 2		ESTACION 3	
Cusum	8	NS (8.16)	8	NS (8.16)	8	NS (8.16)

## 6. Análisis de cambio en la media/mediana

Se empleó la prueba estadística de Puntos Cambiantes (Turning Points en sus siglas en ingles) para analizar la independencia serial de los registros observados de precipitación. Según el análisis, los Z estadísticos calculados son menores al Z tabular a un nivel de significancia del 5%, por lo que se puede afirmar que la muestra proviene de una muestra aleatoria. Ver en siguiente cuadro:

**Cuadro N° 10 Prueba de puntos cambiantes para análisis de independencia lineal**

TEST DE ANALISIS	ESTACION 1		ESTACION 2		ESTACION 3	
Turning Point	1.352	NS (1.96)	0.541	NS (1.96)	1.352	NS (1.96)

## 7. Análisis estadísticos de tendencia o estacionariedad

El criterio de estacionariedad implica que los datos deben estar libres de tendencia durante el periodo de observación. Una serie de tiempo de datos hidrológicos, se dice estrictamente estacionaria, solo si sus propiedades estadísticas (media, varianza y momentos de orden superior) no son afectadas por la elección del momento de origen de la serie de datos (Dahmen y Hall, 1990).

Para la elección de la prueba estadística fue necesario considerar ciertos supuestos: a) la serie de tiempo sigue una distribución específica; y su b) independencia o aleatoriedad (Kundzewicz, 2004). Estos supuestos fueron identificados mediante el AED y la prueba de independencia serial. Se empleó la prueba estadística no paramétrica de Mann Kendall (Kendall, 1970) para determinar si la serie de tiempo posee tendencia significativa al 95% de confianza. Se eligió esta prueba estadística dado que según el A.E.D. los registros observados no siguen una distribución normal, y además de acuerdo al análisis de independencia serial, las series de tiempo provienen de una muestra aleatoria. En el Cuadro N°11 se presenta los resultados obtenidos de acuerdo a la prueba estadística de Mann Kendall. Los valores de Z estadísticos calculados son menores al Z tabular para un nivel de significancia del 5%, por lo que podemos afirmar que los datos observados no poseen tendencia significativa.

**Cuadro N° 11 Prueba Mann-Kendall para análisis de tendencia**

TEST DE ANALISIS	ESTACION 1		ESTACION 2		ESTACION 3	
Mann-kendall	1.893	NS (1.96)	1.73	NS (1.96)	1.607	NS (1.96)

#### **4.2.1.2. Caracterización de la pluviometría de la microcuenca**

##### **Hércules**

##### **1. Estimación de precipitación media por el método de isoyetas**

La precipitación básica para un estudio de recursos hídricos procede de las medidas de altura de lluvia alcanzadas por

unidad de superficie en los pluviómetros y pluviógrafos de una cuenca, a partir de esta información puntual, se estima como se ha producido la lluvia en un territorio, es decir su distribución espacial, una superficie representativa de la lluvia caída sobre la cuenca.

El fundamento del método de las isoyetas consiste en el trazado manual de contornos de lluvia constante o isoyetas, utilizando los datos pluviométricos y la información subjetiva que se considere oportuna. Este método supone, que las lluvias son de carácter convectivo, por lo que las isoyetas tenderán a formar un patrón circular que degenera a elíptico por el movimiento de la tormenta, además la presencia de barreras orográficas provoca el ascenso de las masas de aire y el incremento de precipitación en zonas altas, por lo que la topografía sirve de índice para trazar las isoyetas.

El uso de este método en el área de estudio permite que se adapte la distribución espacial de precipitaciones a influencias como tipo de lluvia, orografía, pendiente, dirección y entrada de determinados frentes húmedos, por lo que fue considerado como el más adecuado.

Una vez conocido el comportamiento temporal y espacial de precipitación en las estaciones se procedió a estimar las precipitaciones totales anuales y mensuales para la Microcuenca Hércules por el método de las isoyetas para años promedios, húmedos y secos las cuales se aprecia en los planos del anexo N°09 al N° 11.

## 2. Microcuenca Hércules

En el cuadro N° 12 se muestran los valores de precipitación total anual para periodos promedios, húmedos y secos, cuyos valores son de 548.9 mm, 675.0 mm y 421.1 mm, respectivamente.

**Cuadro N° 12 Precipitación Anual para años promedio, húmedos y secos**

	Periodo Seco (mm)	Periodo Promedio (mm)	Periodo Húmedo (mm)
Anual	421.1	548.9	675.0

En el Cuadro N° 13, se muestra la variación mensual de las precipitaciones para años promedios, húmedos y secos. Para años promedios muestran que la precipitación mensual máxima es 126.40 (marzo) y la precipitación mensual mínima es 0.4 mm (julio). En periodos húmedos la precipitación mensual máxima y mínima es 153.60 mm (marzo) y 0.41 mm (julio) respectivamente. La precipitación mensual máxima en periodos secos es 101.80 mm (marzo) y la precipitación mensual mínima es 0.39 mm (junio y julio).

**Cuadro N° 13 Precipitación mensual para años promedio, húmedos y secos**

Mes	Periodo Seco (mm)	Periodo Promedio (mm)	Periodo Húmedo (mm)
Ene	51.60	73.50	93.60
Feb	85.90	122.10	164.90
Mar	101.80	126.40	153.60
Abr	39.00	44.40	58.80
May	9.18	9.20	9.80
Jun	1.10	1.30	1.90
Jul	0.39	0.40	0.41
Ago	1.30	1.60	2.10
Set	11.00	12.80	18.70
Oct	29.70	33.80	35.90
Nov	36.60	50.90	49.50
Dic	53.50	72.50	85.80

#### 4.2.1.3. Caracterización climática de la microcuenca hércules

##### 1. Temperatura

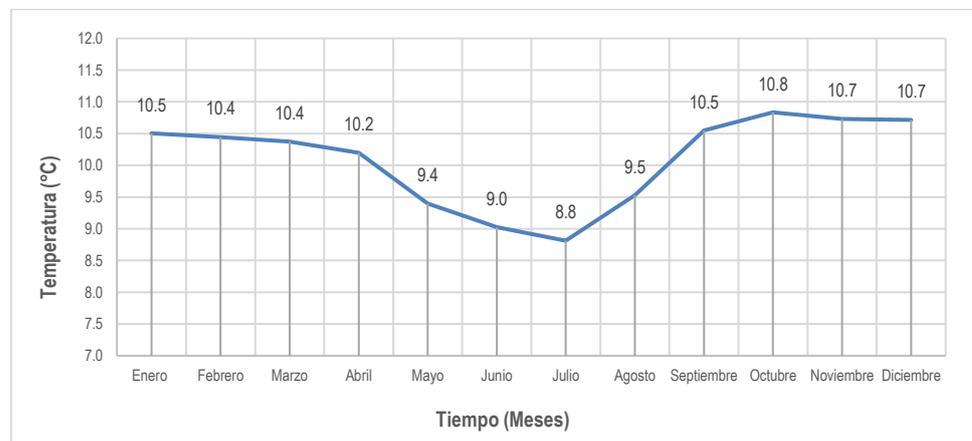
El análisis de temperatura media mensual se realizó al igual que la precipitación mediante la extracción de la data histórica de la plataforma PISCO – Temperatura (Peruvian interpolation of the SENAMHI Climatological Hydrological Stations), esto debido a la falta de información meteorológica en la zona.

La temperatura media en la microcuenca Hércules varía entre 8.8 y 10.8 °C, tal como se muestra en el Cuadro N°14 y Figura N°10.

**Cuadro N° 14** Temperatura media mensual en la Microcuenca Hércules (°C)

PARAMETRO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	PROM
Temperatura	10.5	10.4	10.4	10.2	9.4	9.0	8.8	9.5	10.5	10.8	10.7	10.7	10.1

**Figura N° 10** Variación mensual de la temperatura promedio en el área de estudio



##### 2. Evapotranspiración

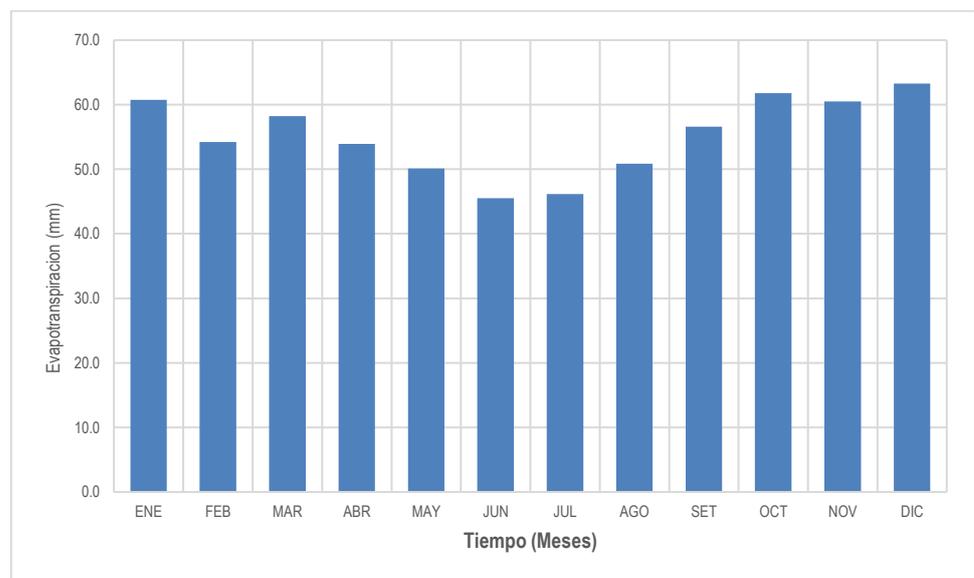
La evapotranspiración es la combinación de la evaporación del agua desde la superficie de suelo y la transpiración de la vegetación (Chow, 1994). A raíz de este concepto se distinguen la evaporación desde una superficie de agua y

desde una superficie de suelo. Así, se define la Evapotranspiración Potencial como la evapotranspiración que puede ocurrir desde una superficie bien cubierta por vegetación cuando el suministro de humedad es ilimitado. Para este fin, se aplicó la Fórmula de Thornwaite, tomando para ello los datos de temperatura media mensual en el área del proyecto y horas de sol para la latitud Sur. La Evapotranspiración Real es la que interviene en el balance hídrico y tiene relación directa con la Evapotranspiración Potencial, debido a un factor de cultivo que para el presente estudio es considerado igual a la unidad para zonas completamente cubiertas por vegetación. Finalmente, para el área de estudio, la evapotranspiración mensual estimada se muestra en el Cuadro N°15y Figura N°11.

**Cuadro N° 15 Evapotranspiración mensual en la Microcuenca Hércules (mm/mes)**

PARAMETRO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
ET (mm)	60.7	54.2	58.2	53.9	50.1	45.5	46.1	50.8	56.6	61.8	60.5	63.3

**Figura N° 11 Variación mensual de Evapotranspiración en el área de estudio**



#### 4.2.1.4. Generación de caudales medios (cantidad de agua)

##### 1. Método de lutz scholz

Fue desarrollado por el experto en hidrología, Lutz Scholz, en el marco de Cooperación Técnica de la Republica de Alemania a través del plan Meris II. Este modelo hidrológico es combinado porque cuenta con una estructura determinística para el cálculo de los caudales mensuales para el año promedio (Balance hídrico – Modelo determinístico); y una estructura estocástica para la generación de series extendidas de caudal (Proceso markoviano – Modelo estocástico).

Determinado el hecho de la ausencia de registros de Caudal en la sierra peruana, el modelo se desarrolló tomando en consideración parámetros físicos y meteorológicos de las cuencas.

##### a. Ecuación del balance hídrico

La ecuación fundamental que describe el balance hídrico mensual (mm/mes) es la siguiente:

$$CMi = Pi - Di + Gi - Ai$$

Donde:

CMi= Caudal mensual (mm/mes)

Pi = Precipitación mensual sobre la cuenca  
(mm/mes)

Di = Déficit de escurrimiento (mm/mes)

Gi = Gasto de la retención de la cuenca  
(mm/mes)

Ai = abastecimiento de la retención (mm/mes)

## b. Coeficiente de escurrimiento

Se define como la porción de lluvia real que produce escorrentía superficial, este coeficiente varía a lo largo del tiempo en función a factores como: terreno, vegetación, horas sol, entre otros. Para este estudio se ha considerado el uso de la fórmula propuesta por L-Turc:

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

Donde:

C= Coeficiente de escurrimiento (mm/año)

P= Precipitación Total Anual (mm/año)

D= Deficit de escurrimiento (mm/año)

Para la determinación de D y L, se utilizan las siguientes expresiones:

$$D = \frac{P}{\left[0.9 * \left(\frac{P}{L}\right)^2\right]^{0.5}}$$

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

Siendo:

L= Coeficiente de Temperatura

T= Temperatura media Anual (°C)

Los resultados de la estimación del coeficiente de escurrimiento y déficit de escurrimiento, según la fórmula de L. Turc, se presenta en el Cuadro N°16, observándose valores de 417.7 mm/año y 0.24, respectivamente.

**Cuadro N° 16 Coeficiente de escurrimiento**

Microcuenca Hércules
----------------------

Déficit de Escurrimiento: D	417.7 mm/año
Coefficiente de Esorrentía: C	0.24

Considerando las ecuaciones para determinar los coeficientes de esorrentía validados para la región de la sierra sur del Perú, el coeficiente de esorrentía se calcula en 3.45.

Estos valores nos servirán de referencia, para iniciar la calibración del modelo, sin embargo, el verdadero valor se encontrará luego de la calibración del modelo.

### c. Precipitación Efectiva

La precipitación efectiva se calculó para el coeficiente de escurrimiento promedio, de tal forma que la relación entre precipitación efectiva y precipitación total resulta igual al coeficiente de esorrentía.

Para estimar la precipitación efectiva el método USBR (United States Bureau of Reclamation) considera que existen tres curvas tipo de precipitación efectiva en función de la precipitación total. Dichas curvas se muestran en el Cuadro N°17.

**Cuadro N° 17 Precipitación efectiva según el Bureau of Reclamation**

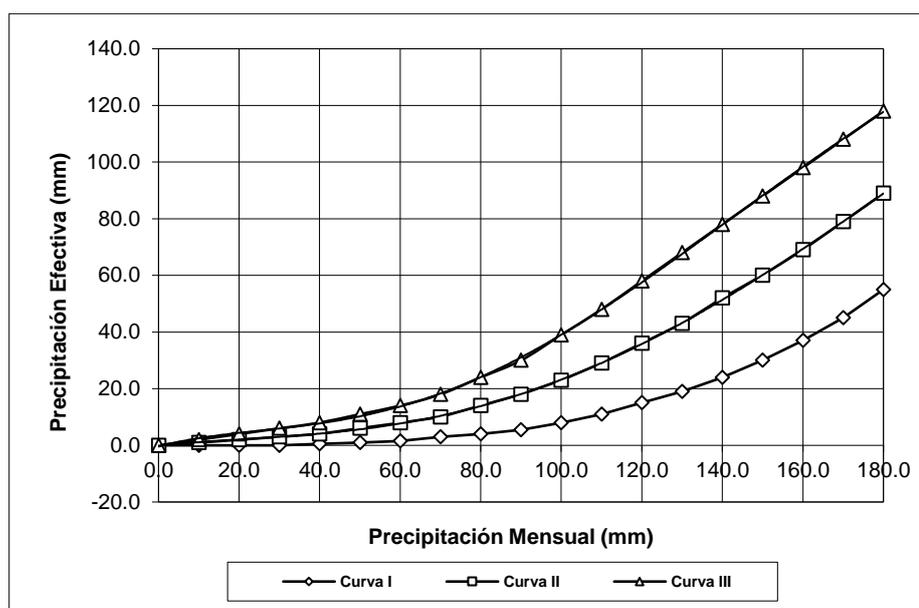
P mm	P. Efectiva: PE (mm)		
	Curva I	Curva II	Curva III
0.0	0.0	0.0	0.0
10.0	0.0	1.0	2.0
20.0	0.0	2.0	4.0
30.0	0.0	3.0	6.0
40.0	0.5	4.0	8.0
50.0	1.0	6.0	11.0
60.0	1.5	8.0	14.0
70.0	3.0	10.0	18.0
80.0	4.0	14.0	24.0

90.0	5.5	18.0	30.0
100.0	8.0	23.0	39.0
110.0	11.0	29.0	48.0
120.0	15.0	36.0	58.0
130.0	19.0	43.0	68.0
140.0	24.0	52.0	78.0
150.0	30.0	60.0	88.0
160.0	37.0	69.0	98.0
170.0	45.0	79.0	108.0
180.0	55.0	89.0	118.0

Para determinar la precipitación efectiva desde la lluvia real para las microcuencas se ha interpolado estos valores con una regresión polinomial. Los coeficientes son útiles para interpolar adecuadamente los valores de precipitación efectiva.

En la Figura N°12 se muestra las curvas que relacionan la precipitación efectiva y precipitación total, mediante ecuaciones polinomiales de quinto orden. Los coeficientes de regresión son importantes para interpolar adecuadamente los valores de precipitación efectiva, estos se obtienen de la correlación entre la precipitación y la precipitación efectiva correspondiente a cada curva, los mismos que se presentan en el Cuadro N°18.

**Figura N° 12** Porción de precipitación efectiva según el Bureau of reclamation



**Cuadro N° 18** Precipitación efectiva según el Bureau of Reclamation

Coef.	Curva I	Curva II	Curva III
a0	0.047000	0.106500	0.417700
a1	0.009400	0.147700	0.379500
a2	0.000500	0.002900	0.010100
a3	0.000020	0.000050	0.000200
a4	-5.00E-08	-2.00E-07	-9.00E-07
a5	2.00E-10	2.00E-10	1.00E-09

Los resultados de la estimación de la precipitación efectiva de las microcuencas se presentan en el Cuadro N°19.

**Cuadro N° 19** Precipitación efectiva mensual – Microcuenca Hércules

MES	N° días del mes	PRECIPITACION MENSUAL			
		P Total mm/mes	Efectiva		
			PE II mm/mes	PE III mm/mes	PE mm/mes
1	2	3	4	5	6
Enero	30	73.5	4.9	9.5	17.1
Febrero	28	122.1	24.4	26.7	30.4
Marzo	31	126.4	27.2	28.6	30.8
Abril	30	44.4	1.0	4.4	9.9
Mayo	31	9.2	0.0	1.0	2.7
Junio	30	1.3	0.0	0.1	0.3
Julio	31	0.4	0.0	0.0	0.0

MES	N° días del mes	PRECIPITACION MENSUAL			
		P Total mm/mes	Efectiva		
			PE II mm/mes	PE III mm/mes	PE mm/mes
1	2	3	4	5	6
Agosto	31	1.6	0.0	0.1	0.4
Setiem.	30	12.8	0.0	1.4	3.6
Octubre	31	33.8	0.4	3.3	7.9
Noviem.	30	50.9	1.5	5.2	11.2
Diciem.	31	72.5	4.6	9.3	16.8
<b>AÑO</b>		<b>548.9</b>	<b>63.9</b>	<b>89.6</b>	<b>131.2</b>
Coeficientes		0.24	-1.625	2.625	1.000

#### d. Retención de la cuenca

Suponiendo que en el año promedio existe un equilibrio entre el gasto y el abastecimiento de la reserva de la cuenca y admitiendo, además, que el caudal total sea igual a la precipitación efectiva anual, el gasto de retención es de 0.9 mm/año.

#### e. Coeficiente de agotamiento

Considerando que la zona de estudio se encuentra en una zona con vegetación escasa y poco desarrollada, a partir de las fórmulas empíricas propuestas, se obtiene que el coeficiente de agotamiento tiene un valor de 0.03 en la microcuenca.

#### f. Relación de caudales

Considerando el coeficiente de agotamiento y el número de los días del mes, la relación de Caudales tiene un valor de 0.5 para la microcuenca.

#### g. Gasto de la retención

Los resultados de la contribución mensual, se presentan en el Cuadro N°20. No se consideran los meses húmedos

como lo son: octubre, noviembre, diciembre, enero, febrero, marzo, abril.

**Cuadro N° 20 Resultados del Gasto de la retención mensual (mm/mes) – Microcuenca Hércules**

MES	N° días del mes	CONTRIBUCION DE LA RETENCION	
		Gasto	
		bi	Gi mm/mes
1	2	7	8
Enero	30		
Febrero	28		
Marzo	31		
Abril	30	0.451	0.49
Mayo	31	0.193	0.21
Junio	30	0.092	0.10
Julio	31	0.037	0.04
Agosto	31	0.016	0.02
Setiem.	30	0.008	0.01
Octubre	31		
Noviem.	30		
Diciem.	31		
<b>AÑO</b>		<b>0.8</b>	<b>0.9</b>

#### **h. Abastecimiento de la retención**

El abastecimiento de la retención “A” es el volumen de agua que almacena la cuenca en los meses lluviosos bajo un determinado régimen de almacenamiento. Los resultados del cálculo de la lámina de abastecimiento se presentan en el siguiente cuadro.

**Cuadro N° 21 Resultados del Abastecimiento de la retención mensual (mm/mes) – Microcuenca Hércules**

MES	N° días del mes	CONTRIBUCION DE LA RETENCION	
		Abastecimiento	
		ai	Ai mm/mes
1	2	9	10
Enero	30	0.130	0.11
Febrero	28	0.232	0.20
Marzo	31	0.235	0.21
Abril	30	0.075	
Mayo	31	0.021	

MES	N° días del mes	CONTRIBUCION DE LA RETENCION	
		Abastecimiento	
		ai	Ai mm/mes
1	2	9	10
Junio	30	0.002	
Julio	31	0.000	
Agosto	31	0.003	
Setiem.	30	0.028	
Octubre	31	0.060	0.05
Noviem.	30	0.086	0.07
Diciem.	31	0.128	0.11
<b>AÑO</b>		<b>1.0</b>	<b>0.8</b>

**i. Generación de caudales mensuales para un año promedio**

Los resultados de la generación de caudales mensuales para un año promedio se presentan en el siguiente cuadro.

En el Cuadro N°22 se observa que la variación de los caudales mensuales durante el año es de 0.06 a 49.21 mm/mes en los meses de agosto y marzo respectivamente.

**Cuadro N° 22 Resultados de la generación de caudales mensuales – Microcuenca Hércules**

MES	N° días del mes	PRECIPITACION MENSUAL				CONTRIBUCION DE LA RETENCION				CAUDALES	
		P Total mm/mes	Efectiva			Gasto		Abastecimiento		GENERADOS	
			PE II mm/mes	PE III mm/mes	PE mm/mes	bi	Gi mm/mes	ai	Ai mm/mes	mm/mes	l/s
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Enero	30	73.5	4.9	9.5	17.1			0.130	0.11	17.01	25.83
Febrero	28	122.1	24.4	26.7	30.4			0.232	0.20	30.25	49.21
Marzo	31	126.4	27.2	28.6	30.8			0.235	0.21	30.63	45.01
Abril	30	44.4	1.0	4.4	9.9	0.451	0.49	0.075		10.37	15.75
Mayo	31	9.2	0.0	1.0	2.7	0.193	0.21	0.021		2.93	4.31
Junio	30	1.3	0.0	0.1	0.3	0.092	0.10	0.002		0.37	0.56
Julio	31	0.4	0.0	0.0	0.0	0.037	0.04	0.000		0.04	0.06
Agosto	31	1.6	0.0	0.1	0.4	0.016	0.02	0.003		0.39	0.58
Setiem.	30	12.8	0.0	1.4	3.6	0.008	0.01	0.028		3.65	5.55
Octubre	31	33.8	0.4	3.3	7.9			0.060	0.05	7.81	11.47
Noviem.	30	50.9	1.5	5.2	11.2			0.086	0.07	11.17	16.96
Diciem.	31	72.5	4.6	9.3	16.8			0.128	0.11	16.71	24.56
<b>AÑO</b>		<b>548.9</b>	<b>63.9</b>	<b>89.6</b>	<b>131.2</b>	<b>0.8</b>	<b>0.9</b>	<b>1.0</b>	<b>0.8</b>	<b>131.3</b>	<b>199.8</b>
Coeficientes		0.24	-1.625	2.625	1.000						

#### **4.2.1.5. Generación de caudales máximos (cantidad máximo de agua)**

##### **1. Periodo de retorno**

El estudio de las precipitaciones máximas es necesario en múltiples aplicaciones. Así en hidrología para la estimación de avenidas es necesario conocer el valor de la máxima precipitación probable registrada para un determinado período de retorno. El "período de retorno o de recurrencia" (T) es el intervalo medio expresado en años en el que un valor extremo alcanza o supera al valor "x", al menos una sola vez (Elías y Ruiz, 1979). Dependiendo del uso y análisis que se esté realizando se elegirá el periodo de retorno que tendrá la tormenta de diseño que se construye, en este caso se analizó para 10,25, 50,100,200 y 500 años de retorno.

##### **2. Análisis de frecuencias**

Un sistema hidrológico es afectado eventualmente por eventos extremos, tales como tormentas severas, crecientes, etc. La magnitud de este evento extremo está relacionada con su frecuencia de ocurrencia mediante una distribución de probabilidades. Los métodos estadísticos se apoyan en la existencia de series de datos de eventos extremos, las cuales son sometidas a un análisis de frecuencias. Esto implica efectuar el ajuste de varias distribuciones teóricas a una determinada muestra, para comparar y concluir cuál de ellas se aproxima mejor a la distribución empírica. Las distribuciones teóricas más

utilizadas para el análisis de máximas avenidas son: Gumbel, Log Normal y Log Pearson. La información generada para cada función de distribución se elige la de que tiene mejor ajuste mediante la prueba de bondad de Kolmogórov – Smirnov. Para el caso de estudio se ha utilizado la función de distribución Log Person.

La distribución Log Pearson tipo 3 (LP3) es un modelo muy importante dentro de la hidrología estadística, sobre todo, luego de las recomendaciones del Consejo de Recursos Hidráulicos de los Estados Unidos (Water Resources Council – WRC), para ajustar la distribución Pearson tipo 3 (LP3) a los logaritmos de las máximas avenidas. Pues, la distribución LP3, es una familia flexible de tres parámetros capaz de tomar muchas formas diferentes, por consiguiente, es ampliamente utilizado en el modelamiento de series anuales de máximas avenidas.

### 3. Precipitación máxima de 24hr para diseño

La serie de precipitación máxima, se ha sometido al ajuste al modelo de distribución probabilística Log Person Tipo III mediante el software HidroEsta, calculándose la precipitación máxima en 24 hr para diversos años de periodo de retorno, los resultados se muestran en la siguiente tabla.

**Cuadro N° 23 Precipitación máxima para diversos años de retorno**

Probabilidad	Periodo de retorno	Valor Calculado
0.9	10	54.3
0.96	25	61.3
0.98	50	66.6

Probabilidad	Periodo de retorno	Valor Calculado
0.99	100	72.0
0.995	200	77.3
0.998	500	84.3
0.9	10	54.3
0.96	25	61.3

#### 4. Modelo hidrológico con hec-hms

Este modelo desarrollado con el programa HEC-HMS 4.3, sirvió para determinar el caudal máximo, estimado para los siguientes periodos de retorno; 10, 25,50, 100,200 y 500 años, a partir de una lluvia intensa para ese periodo. El HEC-HMS suministra 10 métodos para calcular las pérdidas de precipitación y 7 métodos para la transformación lluvia-caudal. En este caso se utilizó el método del Soil Conservation Service (SCS) para calcular las pérdidas y la transformación lluvia-caudal por el método del hidrograma unitario de SCS. Las pérdidas fueron calculadas con el método SCS Curve Number y la transformación Lluvia-Caudal se realizó con el método SCS Unit Hydrograph, El intervalo de tiempo utilizado para la simulación fue de 1 hora, obtenidos en los siguientes hietogramas:

**Figura N° 13 Hietograma para un periodo de retención de 10 años**

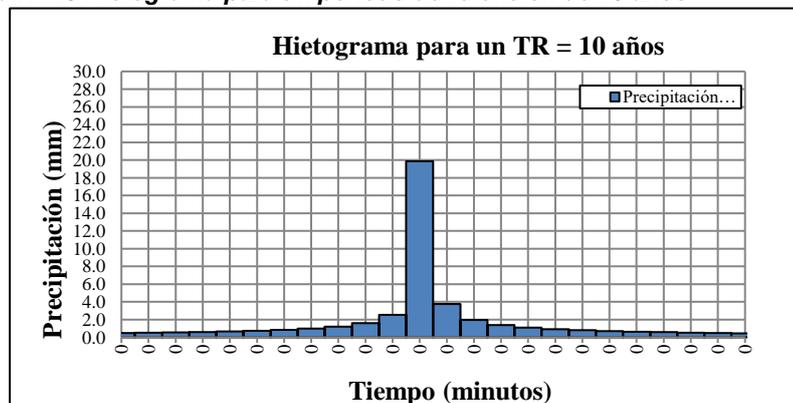


Figura N° 14 Hietograma para un periodo de retención de 25 años

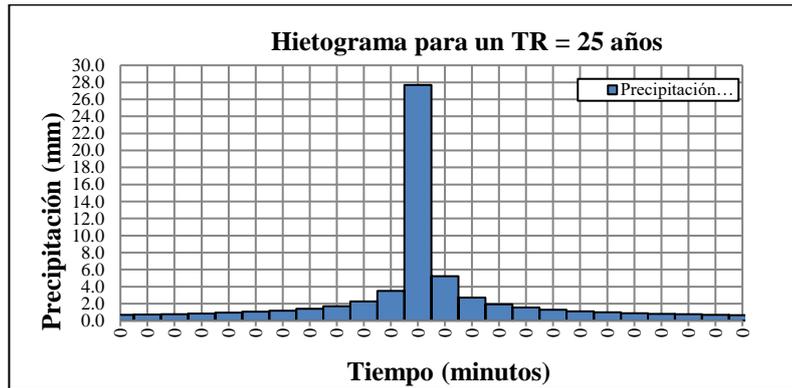


Figura N° 15 Hietograma para un periodo de retención de 50 años

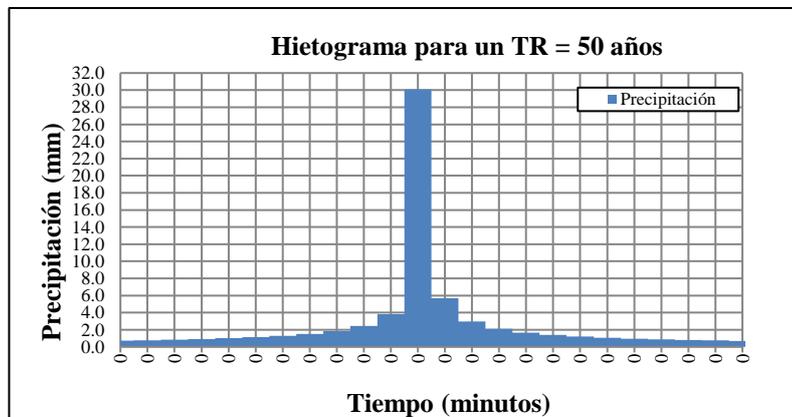


Figura N° 16 Hietograma para un periodo de retención de 100 años

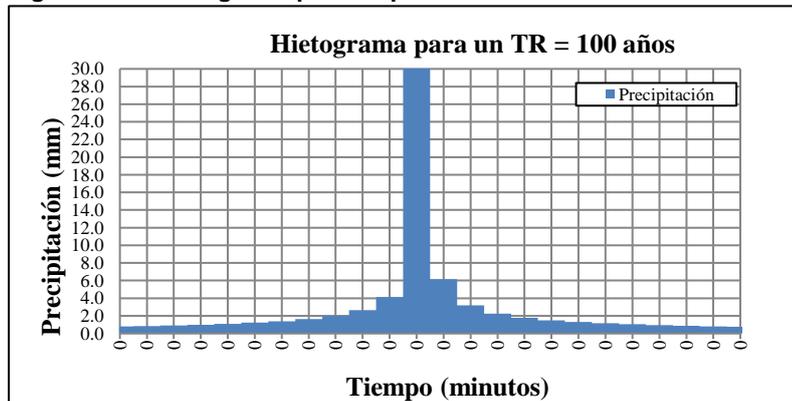


Figura N° 17 Hietograma para un periodo de retención de 200 años

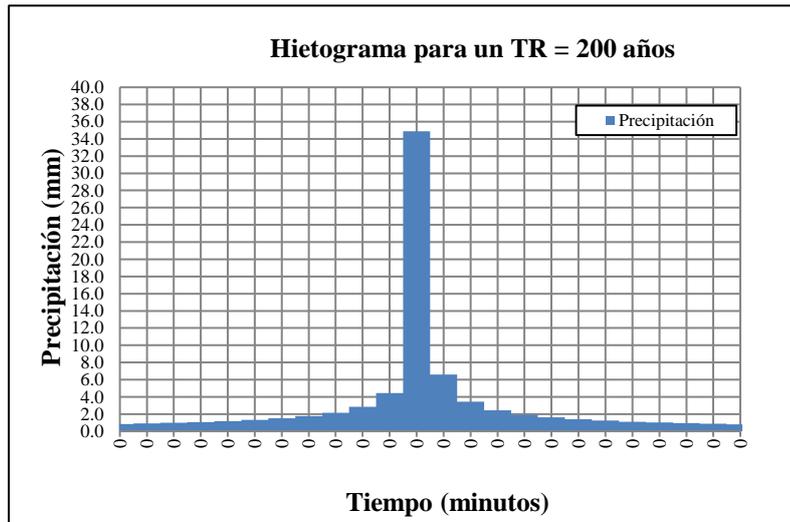
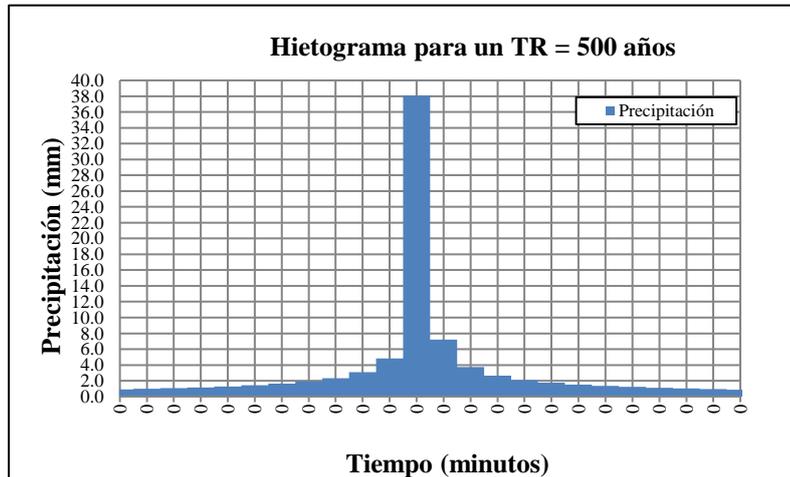


Figura N° 18 Hietograma para un periodo de retención de 500 años



#### a) Numero Curva y abstracción inicial

El método que mejor se ajusta para el presente trabajo es el SCS (Soil Conservation Service), en base a la curva número característico, calculado a partir la cobertura de vegetal y uso de suelos de la cuenca. Este número representa los coeficientes de escorrentía, así un CN = 100, indica que toda la lluvia escurre, mientras que un CN = 1, señala que toda la lluvia se infiltra. Los valores de Numero de Curva de la microcuenca fue calculada a partir

de la ponderación de los valores individuales distribuidos espacialmente asignados según la tabla de Ven Te Chow, siendo este de 78.

La abstracción inicial es definida como la precipitación acumulada hasta el inicio de la escorrentía en función de la interceptación, almacenamiento en depresiones e infiltración antes del comienzo esta, y se calcula en base a la CN, calculándose para la zona un valor de 14.7 mm.

**b) Tiempo de retardo**

Otro de los datos requeridos, es el Lag Time, tiempo de retardo o tiempo de respuesta, estimado a partir del tiempo de concentración con la siguiente relación:

$$\text{Lag time} = 0.6 * t_c$$

En el cuadro siguiente se muestra el tiempo de concentración y de retardo para la microcuenca.

**Cuadro N° 24 Tiempo de retardo**

Microcuenca	TIEMPO DE CONCENTRACIÓN (hr)					T LAG min
	KIRPICH	HATHAWAY	BRANSBY WILLIAMS	US CORP. ING.	MEDIA GEOMETRICA	
Hércules	0.33	0.75	0.91	0.98	0.88	31.8

**c) Modelamiento en el HEC-HMS**

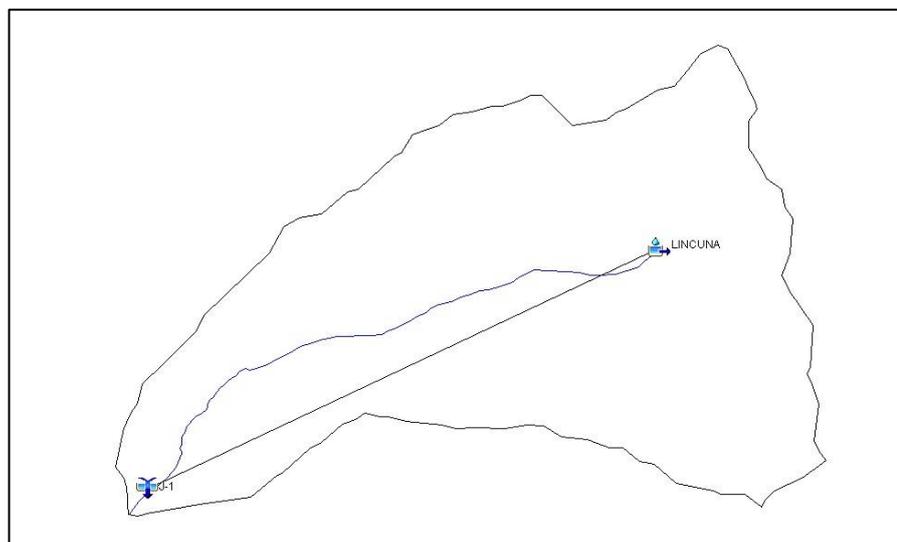
El centro de Ingeniería Hidrológica, del Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los EEUU, diseñó el programa de computación Sistema de Modelamiento Hidrológico (HEC-HMS), este provee una variedad de opciones para simular procesos de precipitación – escurrimiento y también tránsito de caudales entre otros (US Army, 2000).

El HEC-HMS comprende una interfaz gráfica para el usuario (GUI), componentes de análisis hidrológicos, capacidades para manejo y almacenamiento de datos, y facilidades para expresar los resultados mediante gráficas y reportes tabulados. La Guía provee los medios necesarios para especificar los componentes de la cuenca, para introducir los respectivos datos de estos componentes y para visualizar los resultados.

- **Modelo de la microcuenca Hércules**

Para estimar las pérdidas se utilizó el método del Numero se Curva de la SCS, para la transformación de la precipitación efectiva en caudal se utilizó el método del Hidrograma Unitario de la SCS, adicionalmente como información básica para el modelo se considera el área de la microcuenca de 7.31 Km<sup>2</sup>. Debido a las pequeñas descargas promedio generalmente observadas en la quebrada hércules, se asumió que aquí no hay flujo base previo a la ocurrencia de máximas avenidas.

**Figura N° 19 Modelo de cuenca de la Quebrada Hércules en el Software HEC-HMS**



- **Modelo meteorológico**

De acuerdo a lo calculado en el Anexo J, se ingresan al modelo meteorológico los hietogramas para la avenida de 10, 25, 50, 100, 200 y 500 años para una duración de tormenta de 24 horas.

- **Especificaciones de control**

Para realizar la simulación de la avenida se especifica una fecha de inicio y final dentro de este rango se presentarán los resultados de la simulación y el hidrograma de avenida, para este caso la fecha de inicio es el 01 de enero del 2019 a las 00:00 horas y la fecha de fin es el 02 de enero del 2019 a las 00:00 horas. Con un criterio conservador se ha empleado un intervalo de tiempo computacional de 1 min.

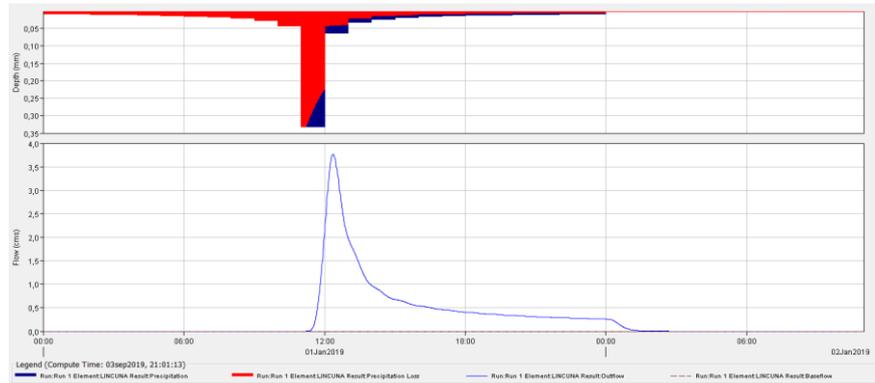
- **Resultados del Modelo**

A partir de esta información se estimaron los siguientes caudales máximos:

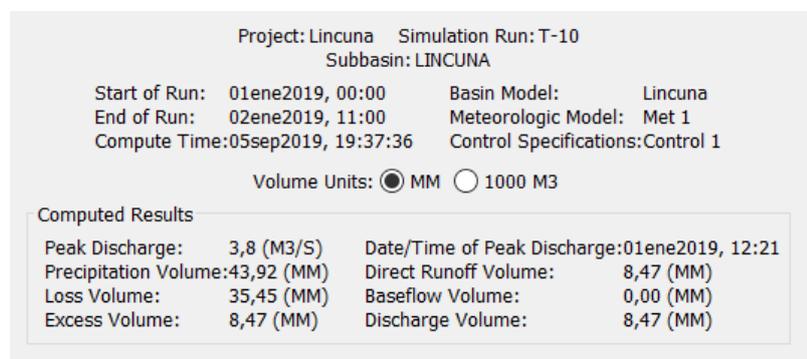
**Cuadro N° 25** Resumen de los caudales máximos para cada periodo de retorno

CAUDAL MAXIMO m3/s						
CUENCA	PERIODO DE RETORNO					
	10	25	50	100	200	500
Hércules	3.8	9.1	11.0	13.0	15.0	17.7

**Figura N° 20** Hidrograma de avenida del modelo de Precipitación – Escorrentía, PR=10 Años



**Figura N° 21 Resultado de la simulación del modelo de Precipitación – Escorrentía, PR=10 Años**



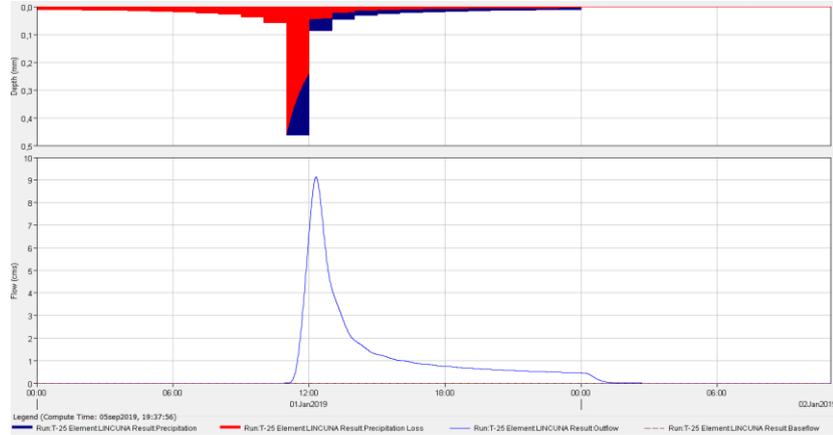
En la parte superior se muestra el hietograma de diseño, la porción en rojo corresponde a la lluvia infiltrada, la porción en azul corresponde a la lluvia efectiva. La infiltración ha sido calculada con el programa HEC-HMS empleando el método del Número de la Curva de antiguo Servicio de Conservación de Suelos de los Estados Unidos

La tormenta analizada como precipitación luego de un proceso de infiltración se traslada como escorrentía y termina su escurrimiento luego de casi 24 horas de su inicio.

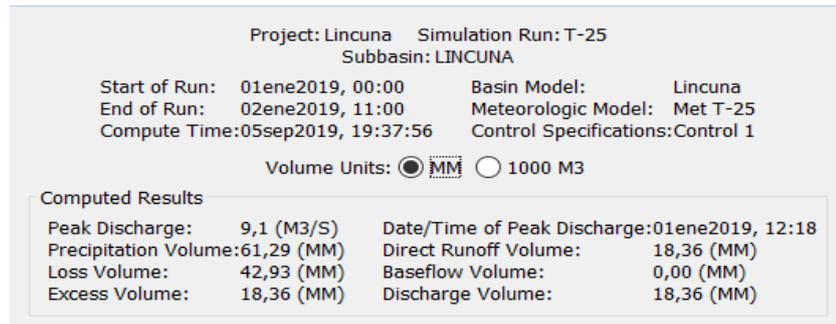
En la Figura N.º 22 se tiene el caudal máximo calculado para un periodo de retorno de 2 años el cual es de 3,8 m<sup>3</sup>/s. La descarga máxima pasa aproximadamente a las

12 horas después de iniciada la tormenta en el tributario  
(para las condiciones extremas antes definidas).

**Figura N° 22 Hidrograma de avenida del modelo de Precipitación – Escorrentía, PR= 25 Años**

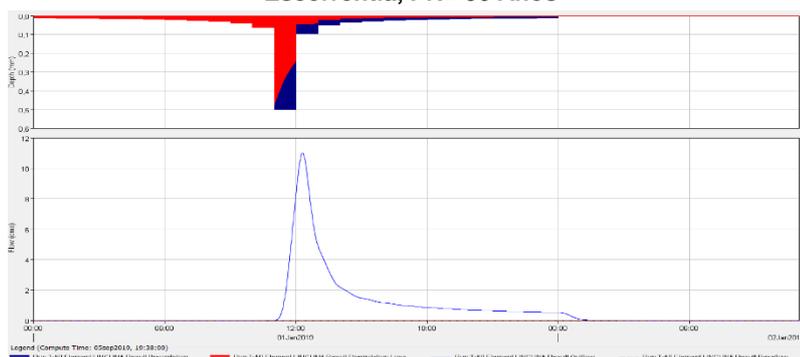


**Figura N° 23 Resultado de la simulación del modelo de Precipitación – Escorrentía, PR= 25 Años**

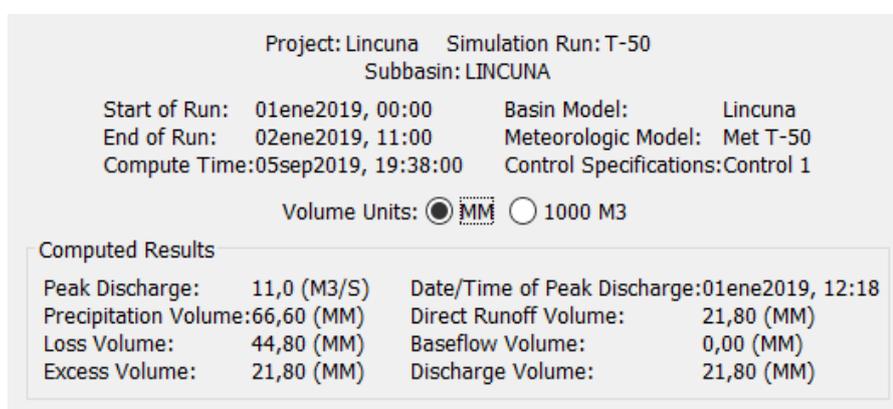


En la Figura N° 23 se tiene el caudal máximo calculado para un periodo de retorno de 25 años de 9.1 m<sup>3</sup>/s. La descarga máxima pasa aproximadamente a las 12 horas después de iniciada la tormenta en el tributario (para las condiciones extremas antes definidas).

**Figura N° 24 Hidrograma de avenida del modelo de Precipitación – Escorrentía, PR= 50 Años**

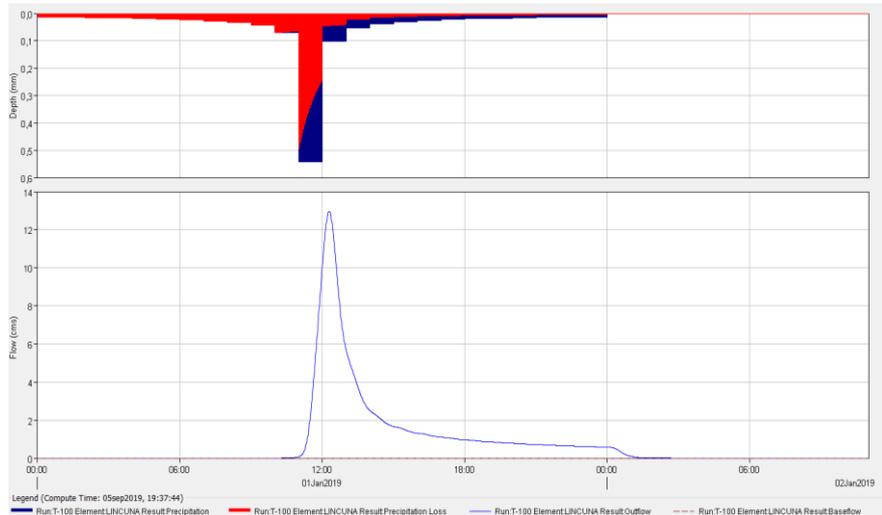


**Figura N° 25 Resultado de la simulación del modelo de Precipitación – Escorrentía, PR= 50 Años**

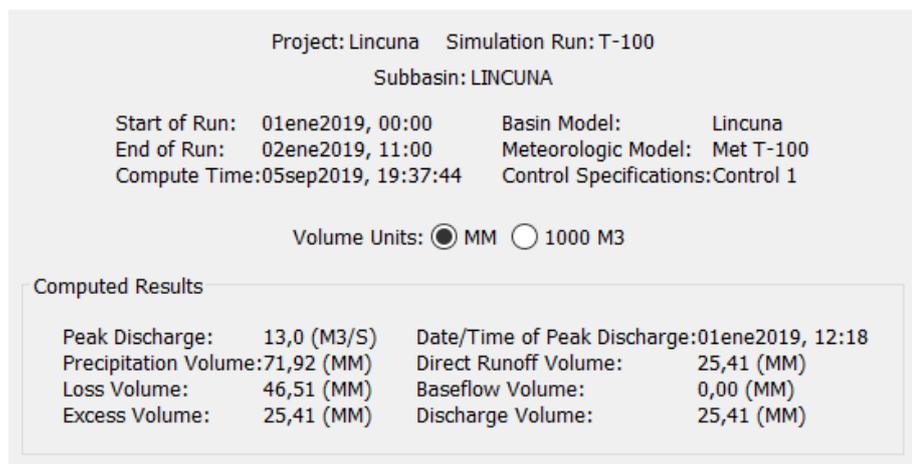


En la Figura N.º 25 se tiene el caudal máximo calculado para un periodo de retorno de 50 años de 11 m<sup>3</sup>/s. La descarga máxima pasa aproximadamente a las 12 horas después de iniciada la tormenta en el tributario (para las condiciones extremas antes definidas).

**Figura N° 26 Hidrograma de avenida del modelo de Precipitación – Escorrentía, PR= 100 Años**

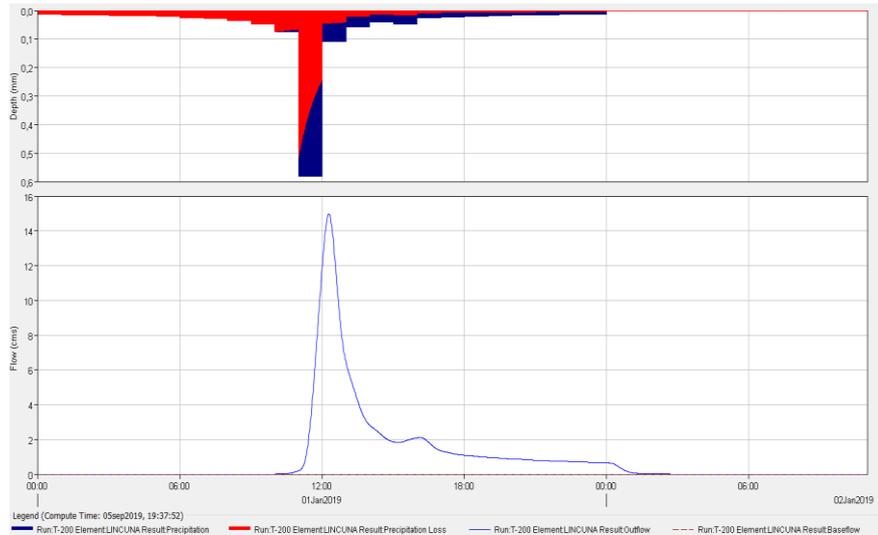


**Figura N° 27 Resultado de la simulación del modelo de Precipitación – Escorrentía, PR= 100 Años**

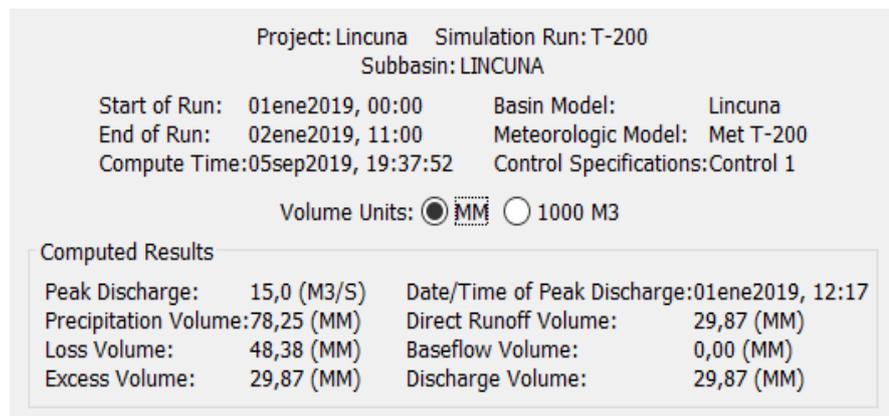


En la Figura N.º 27 se tiene el caudal máximo calculado para un periodo de retorno de 100 años de 13 m<sup>3</sup>/s. La descarga máxima pasa aproximadamente a las 12 horas después de iniciada la tormenta en el tributario (para las condiciones extremas antes definidas).

**Figura N° 28 Hidrograma de avenida del modelo de Precipitación – Escorrentía, PR= 200 Años**

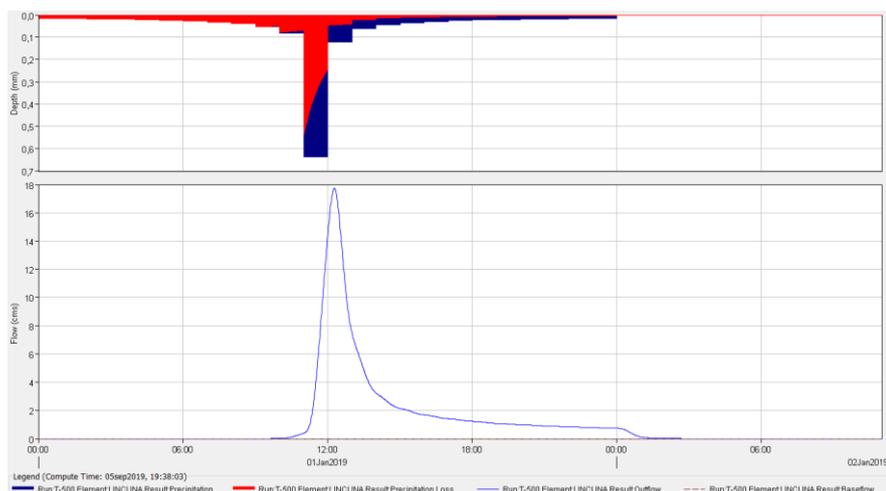


**Figura N° 29 Resultado de la simulación del modelo de Precipitación – Escorrentía, PR= 200 Años**



En la Figura N° 29 se tiene el caudal máximo calculado para un periodo de retorno de 200 años de 15 m<sup>3</sup>/s. La descarga máxima pasa aproximadamente a las 12 horas después de iniciada la tormenta en el tributario (para las condiciones extremas antes definidas).

**Figura N° 30 Hidrograma de avenida del modelo de Precipitación – Escorrentía, PR= 500 Años**



**Figura N° 31 Resultado de la simulación del modelo de Precipitación – Escorrentía, PR= 500 Años**

Project: Lincuna    Simulation Run: T-500  
Subbasin: LINCUNA

Start of Run: 01ene2019, 00:00    Basin Model: Lincuna  
End of Run: 02ene2019, 11:00    Meteorologic Model: Met T-500  
Compute Time: 05sep2019, 19:38:03    Control Specifications: Control 1

Volume Units:  MM     1000 M3

Computed Results			
Peak Discharge:	17,7 (M3/S)	Date/Time of Peak Discharge:	01ene2019, 12:17
Precipitation Volume:	84,27 (MM)	Direct Runoff Volume:	34,28 (MM)
Loss Volume:	50,00 (MM)	Baseflow Volume:	0,00 (MM)
Excess Volume:	34,28 (MM)	Discharge Volume:	34,28 (MM)

En la Figura N.º 31 se tiene el caudal máximo calculado para un periodo de retorno de 500 años de 17.7 m<sup>3</sup>/s. La descarga máxima pasa aproximadamente a las 12 horas después de iniciada la tormenta en el tributario (para las condiciones extremas antes definidas).

- **Estimación del balance hídrico**

La recarga anual para periodos promedios, húmedos y secos en la microcuenca Hércules es de 43.5 mm, 124.7 mm, 0.0 mm respectivamente, tal como se muestra en el Cuadro N°26 al 28.

**Cuadro N° 26 Balance hídrico para años Promedio**

Parámetros	Reserva Máxima en mm	
------------	----------------------	--

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	Total, Anual
Evapotranspiración Potencial (ETP) en mm/mes	60.7	54.2	58.2	53.9	50.1	45.5	46.1	50.8	56.6	61.8	60.5	63.3	661.9
Precipitación Total Mensual (mm/mes)	73.5	122.1	126.4	44.4	9.2	1.3	0.4	1.6	12.8	33.8	50.9	72.5	548.9
Evapotranspiración Real (ETR) en mm/mes	60.7	54.2	58.2	53.9	50.1	45.5	5.7	1.6	12.8	33.8	50.9	63.3	490.9
Déficit en mm/mes	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	40.4	49.2	43.8	28.0	9.6	0.0	171.1
Reserva en mm/mes	22.0	89.8	100.0	90.5	49.5	5.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	9.2	
Excedentes en mm/mes	0.0	0.0	58.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	58.0
Recarga en mm/mes	0.0	0.0	43.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	43.5

**Cuadro N° 27 Balance hídrico para años Húmedos**

Parámetros	Reserva Máxima en mm												Total, Anual
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	
Evapotranspiración Potencial (ETP) en mm/mes	60.7	54.2	58.2	53.9	50.1	45.5	46.1	50.8	56.6	61.8	60.5	63.3	661.9
Precipitación Total Mensual (mm/mes)	93.6	164.9	153.6	58.8	9.8	1.9	0.4	2.1	18.7	35.9	49.5	85.8	675.0
Evapotranspiración Real (ETR) en mm/mes	60.7	54.2	58.2	53.9	50.1	45.5	16.4	2.1	18.7	35.9	49.5	63.3	508.7
Déficit en mm/mes	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	29.7	48.7	37.9	25.9	11.0	0.0	153.2
Reserva en mm/mes	55.4	100.0	100.0	100.0	59.7	16.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	22.5	
Excedentes en mm/mes	0.0	66.0	95.4	4.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	166.3
Recarga en mm/mes	0.0	49.5	71.5	3.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	124.7

**Cuadro N° 28 Balance hídrico para años Secos**

Parámetros	Reserva Máxima en mm												Total, Anual
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	
Evapotranspiración Potencial (ETP) en mm/mes	60.7	54.2	58.2	53.9	50.1	45.5	46.1	50.8	56.6	61.8	60.5	63.3	661.9
Precipitación Total Mensual (mm/mes)	51.6	85.9	101.8	39.0	9.2	1.1	0.4	1.3	11.0	29.7	36.6	53.5	421.1
Evapotranspiración Real (ETR) en mm/mes	51.6	54.2	58.2	53.9	50.1	20.5	0.4	1.3	11.0	29.7	36.6	53.5	421.1
Déficit en mm/mes	9.1	0.0	0.0	0.0	0.0	25.0	45.7	49.5	45.6	32.1	23.9	9.8	240.8
Reserva en mm/mes	0.0	31.7	75.2	60.3	19.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
Excedentes en mm/mes	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Recarga en mm/mes	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

## 4.2.2. Estudios hidrogeológicos

### 4.2.2.1. Geología

#### 1. Geomorfología

El relieve está modelado por depósitos de morrénicos conjuntamente con material fluvio aluvial y coluvial de variada granulometría. Destacan en la microcuenca la quebrada fluvial, en ambos márgenes el flanco montañoso con pendiente moderado y a mayor distancia se observa la presencia de colinas agrestes y finalmente parte de altas montañas onduladas en la zona Noreste de la quebrada. El valle glaciar Hércules, es estrecha y tiene la forma de U, con presencia de rocas escarpadas y pendiente fuerte en sus márgenes derecha e izquierda. Desde el punto hidrogeológico, la fuerte pendiente bajo el cual se hallan los depósitos mencionados constituyen mantos muy pobres de reservas de aguas subterráneas, los que tapizan las rocas fracturadas e impiden que el agua infiltrada producto de la lluvia continúe su viaje hasta alcanzar niveles profundos, el detalle de lo expresado es mostrado en el anexo 12.

## **2. Geologías regionales**

El marco geológico del proyecto está constituido por las rocas sedimentarias del Jurásico – Cretáceo (formaciones Chimú, Santa, Carhuaz). El Batolito de la Costa, Cretáceo superior, intruye a las secuencias anteriores, los Volcánicos Calipuy forman una secuencia volcánica extensa y potente, constituidas por rocas piroclásticas, derrames lávicos y sedimentos continentales, secuencia plegada, correspondiente al Cretáceo superior y Terciario inferior. La secuencia estratigráfica explica la ausencia de aguas subterráneas en las galerías de las tres componentes del proyecto, en especial de la mina Hércules, en virtud a que

las conductividades hidráulicas de estos medios son bajos, generalmente menor a 0.002 m/d a 0.005 m/d, en otros términos, estas formaciones actúan como estratos impermeables, limitando el flujo de agua en la dirección horizontal y vertical.

El área, constituye el centro volcánico del Terciario medio a superior, que se halla agrupados dentro del Calipuy, pequeños stocks del Mioceno – Plioceno y de composición ácida intermedia como aquellos de Collaracra, Tarugo, intruyen a los Volcánicos Calipuy, en el anexo 13, se muestra la distribución espacial de las formaciones geológicas mencionadas.

### **3. Geología Local**

En la microcuenca Hércules, la principal estructura local es el Volcánico Hércules, localizado entre el cerro Tarugo y está limitado por las quebradas Carán y Hércules, con lavas andesíticas y brechas piroclásticas que reposan en discordancia angular sobre las rocas Cretáceas y los volcánicos Calipuy.

Dentro de la estructura semicircular se emplazó el Pórfido Tarugo de composición dacítica, en el foco probable volcánico y el Pórfido Pincuyillo. Alrededor del centro volcánico Hércules se emplazaron otros pequeños stocks como la Dacita Hércules (comúnmente conocida como Tufo Hércules), en el cerro Pucara, de donde salen diques al norte y al sur; el Pórfido Huancapeti emplazado casi en el borde de la fractura circular, el Pórfido Bellota Maguiña, al oeste de la confluencia de las quebradas Hércules y Carán;

el Pórfido Señor de Burgos y el Pórfido Olga, los tres últimos de composición similar al de Tarugo observar en el anexo 14

#### 4. Perforaciones exploratorias

Con el objeto de conocer en profundidad las componentes del volcánico Hércules (litología) en forma directa, se han revisado y graficado los logueos de las perforaciones exploratorias y las de mayor profundidad, que corresponden a la zona Hércules, respectivamente:

**Cuadro N° 29 Logueos de las perforaciones exploratorias en la zona Hércules**

BHID	Este(m)	Norte(m)	Altitud(m)	Prof (m)	Zona	Fecha Inicio	Fecha termino	AÑO
DDH-HER-70R	220675	8920416	3920.19	526.45	Hercules	17/04/2019	22/04/2019	2018
DDH-HER-68	220676	8920416	3920.19	493.40	Hercules	21/07/2015		2015
DDH-HER-72R	220678	8920419	3920.17	461.65	Hercules	15/03/2016	17/04/2016	2018

Las perforaciones exploratorias tienen longitudes que varían entre 200 y 750 m, cuya información es de vital importancia para establecer la ausencia de las aguas subterráneas en interior mina y en sus distintos niveles.

En la mina Hércules, con profundidad de exploraciones hasta de 500 m de profundidad, se observa la secuencia de rocas volcánicas con presencia de estructuras nada importante debido a su profundidad, como se pueden observar en los perfiles litológicos DDH-HER-70 y DDH-HER-68.

La información completa del logueo ha sido se encuentra en el anexo 15, 16 y 17.

En los anexos 18 y 19 se muestra las secciones geológicas AA y BB. La sección geológica AA, tiene orientación norte

– sur, en las cercanías de cabecera de microcuenca en las que se localizaron filtraciones de agua subterránea, el plano corrobora la presencia de rocas andesíticas, consideradas impermeables. De forma similar la sección geológica BB, es transversal a la sección AA, que confirma lo encontrado durante las perforaciones exploratorias, es decir la presencia de rocas andesíticas que limitan el flujo de agua a mayores profundidades.

## **5. Geología estructural**

Los impulsos magmáticos dentro del centro volcánico determinaron el modelo del fracturamiento principal, que son fracturas del rumbo N 30° W, principalmente en los contactos del dique Dacítico (tufo), que fueron afectadas por el fallamiento principal tipo Tarugo, Wilson, con el cual se asocian un sistema de fracturas conjugado tipo Huancapetí. Fracturas tensionales tipo Nebraska, Carpa, Félix II, San Arturo, Santa Deda, Lorena, etc. Están fuera del centro volcánico y tienen un modelo groseramente radial.

Las fallas Señor de Burgos, Hércules, Tucto, de rumbo N-E, desplazan a las fracturas NW-SE en el sentido dextrógiro. A lo largo de la falla Hércules hay pequeños cuerpos intrusivos de brecha, turmalina, cuarzo, pirita.

## **6. Niveles y avances exploratorios en las unidades mineras**

El anexo 20 corresponde a niveles y profundización progresiva en la mina Hércules, el nivel superficial es

identificado como NV-6 y la más profunda NV-16, con altitudes comprendidas entre 3600 m y 4100 m.

A pesar de las profundidades de las labores estas no muestran presencia de agua subterránea.

#### **4.2.2.2. El Acuífero**

Desde el punto de vista geológico el acuífero se encuentra en formaciones geológicas consolidadas fracturadas, difusas y discontinuas.

La formación geológica consolidada está constituida por rocas andesíticas fracturadas tal como se observa en el anexo 21 vista fotográfica

Las fracturas a través de las cuales existe flujo de agua debido a la gravedad de las aguas precipitadas sobre dichas formaciones, el grado de fracturamiento es limitado, en consecuencia, son acuífero pobres en agua, con filtraciones que se limitan a los meses con lluvia, variable, el que será expuesta a través del plano de ubicación de filtraciones de agua a través de rocas fracturadas.

#### **1. Inventario de fuentes de agua subterránea**

De los trabajos de campo en la zona de proyecto, se han inventariado cuatro zonas con flujo difuso a través de las rocas fracturadas. Las características de importancia son que se localizan sobre la cota 4500 m. A esta altitud se producen las filtraciones, siendo en todos los casos difusas con muy reducido caudal. La presencia de las filtraciones ocurre debido a que las aguas infiltradas sobre las rocas no pueden viajar a mayor profundidad o en forma lateral por la

presencia de las rocas volcánicas consideradas como impermeables y al no continuar con su viaje, encuentran la ruta más apropiada de aflorar hacia la superficie, constituyéndose en una fuente de agua subterránea en algunos casos temporal y en otros permanentes observar en el anexo 22.

Las aguas son de baja mineralización estando comprendido la conductividad eléctrica entre 147 y 454  $\mu\text{S}/\text{cm}$  y el pH varía entre 6.68 y 7.3, consideradas como aguas ligeramente acidas a ligeramente básicas, finalmente la temperatura del agua es característico de la zona, estando comprendido entre 12 y 14  $^{\circ}\text{C}$ .

**Cuadro N° 30 Inventario de fuentes de agua subterránea**

	Norte(m)	Altitud (m)	Caudal (l/s)	CE ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	pH	T $^{\circ}\text{C}$	Tipo de fuente	Régimen	Fuente
221679	8920164	4505	0.01	147	6.68	12	Filtración difusa	permanente	H-1
221637	8920027	4533	1.62	176	7.1	14	Filtración difusa	permanente	H-2
221875	8920836	4505	0.55	425	7.3	13	Filtración difusa	temporal	H-3
221829	8920583	4520	2.06	454	6.8	12	Filtración difusa	permanente	H-4

#### **a. La napa**

La napa identificada en la zona del proyecto desde el punto de vista hidráulico es libre, tiene como recarga, las aguas de las lluvias.

#### **i. Profundidad de la napa**

En todos los casos la profundidad de la napa es nula debido a que coincide con la cota del terreno, es decir la filtración ocurre cuando la cota del impermeable coincide con la cota del terreno.

**Cuadro N° 31 Profundidad del nivel de agua subterráneo y carga hidráulica**

<b>Este(m)</b>	<b>Norte(m)</b>	<b>Altitud (m)</b>	<b>Prof.Napa(m)</b>	<b>Carga Hidraulica (m)</b>	<b>Fuente</b>
221679	8920164	4505	0	4505	H-1
221637	8920027	4533	0	4533	H-2
221875	8920836	4505	0	4505	H-3
221829	8920583	4520	0	4520	H-4

**ii. Morfología de la napa**

El flujo del agua subterránea es paralelo al estrato impermeable que se localiza a 4500 m de altitud en promedio, sobre él se observa un manto de reducido espesor variando estos entre 1.0 a 5 m. Las cargas hidráulicas de las filtraciones se hallan comprendidas entre 4505 y 4533 m, tal como se muestra en el cuadro N°31 El sentido de flujo es de Este a Oeste, con gradiente hidráulico medio de 1.47 %.

**iii. Fluctuaciones de la napa y balance hídrico subterránea**

Las fluctuaciones de la napa a través del tiempo se encuentran gobernadas por factores hidrometeorológicos. Las intensidades de precipitación constituyen la recarga del medio poroso y las aguas de escorrentía a través de las quebradas. Debido al gradiente hidráulico pronunciado, no se prevé elevación de los niveles freáticos por el gradiente hidráulico alto, sin embargo, las descargas fluctúan estacionalmente durante periodos secos y de lluvia, el reporte del caudal es mínimo variando entre 0.01 a 2.06 l/s.

## b. Hidrodinámica

Los parámetros hidráulicos del acuífero tales como conductividad hidráulica y el rendimiento específico, son obtenidos a partir de las pruebas de acuífero a caudal constante o de prueba especiales tales como la “prueba de la barra” (en inglés Slug Test, propuesto por Hvorslev, 1951) y la estimación de la conductividad hidráulica a partir del análisis textural de suelos (K. E. Saxton and W. J. Rawls, 2006).

Haciendo uso del caudal aforado, las dimensiones de la filtración difusa y la Ley de Darcy, se ha estimado los valores de la conductividad hidráulica, los cuales se hallan comprendido entre 0.392 m/d a 6.592 m/d, considerado como valores altos, tal como se muestra en el Cuadro N°32.

**Cuadro N° 32 Propiedades hidrodinámicas**

Este(m)	Norte(m)	Altitud	Caudal (l/s)	Gradiente	Longitud (m)	K(m/d)	Sy(%)	Fuente
221679	8920164	4505	0.01	0.0147	30	0.392	0.030	H-1
221637	8920027	4533	1.62	0.125	40	5.599	0.040	H-2
221875	8920836	4505	0.55	0.18	40	1.320	0.020	H-3
221829	8920583	4520	2.06	0.15	36	6.592	0.025	H-4

Mediante el análisis volumétrica de muestras de material poroso de inmediatas a las filtraciones, se han estimado el rendimiento específico, los cuales se hallan comprendidos entre 0.02 a 0.04 (2 a 4%).

## c. Hidro geoquímica

La evaluación de la calidad del agua se ha efectuado en base a los resultados de los análisis físicos químicos de las muestras de las estaciones CAg-2 y EM-1, la

primera es agua de no contacto y la segunda es efluente minero. La empresa realiza monitoreos mensuales de la calidad de las aguas. Para el estudio se han considerado los resultados correspondientes a los años 2017 al 2019.

#### ***i. Conductividad eléctrica (CE)***

La conductividad eléctrica de las aguas permite evaluar la salinidad de la misma. Los valores de conductividad eléctrica de las aguas en la estación CAg-2 varían entre 107.2 a 2570  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (2017) correspondiendo a aguas con salinidad de baja a muy alta. El rango en el periodo 2018 es de 276 a 2280  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , finalmente para el año 2019, dicho rango disminuye a 51 a 1019  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . La mineralización durante los periodos secos es alta, sin embargo, debido a la dilución disminuye durante los periodos de lluvia, tal como se muestra en los anexos 23, 25 y 27.

#### ***ii. pH***

Los valores de pH en las aguas de la estación CAg-2, está comprendido entre 6.6 – 7.5 (2017), así mismo de 6.1 a 7.1 (2018) y de 5.9 a 8.3 (2019), tratándose de aguas ligeramente acidas a básicas. La oscilación de pH está directamente relacionada con la geología del medio.

En la estación EM-01, el pH varía entre 7.2 a 8.84 durante el periodo (2017), mientras que el año 2018 el pH de las aguas oscila entre 7.04 a 8.5, finalmente en

el periodo 2019, varia 7.1 a 8.2, tratándose de aguas ligeramente básicas a básicas.

Los valores antes mencionados se pueden revisar en los anexos 24 y 26.

**iii. Comparación de la calidad del agua con el LMP (DS 010-2010-MINAM)**

Los elementos que superan las concentraciones de metales principalmente en las aguas son el sulfato para la muestra de la estación CAg-2 está comprendido entre 614 a 1588 mg/l. Así mismo el Arsénico en el periodo 2019 la concentración determinada vario entre 0.071 a 0.546 mg/l. De forma similar el Zinc, el Cadmio superan en ciertos periodos, posterior a dichos eventos retornan a la normalidad. La presencia de los metales en exceso en muestras de agua es debido al contacto de las aguas con formaciones geológicas volcánicas. La información ha sido detallada en los anexos 23, 25 y 27.

En el anexo 28 se muestra la ubicación, se muestra la ubicación de la estación de muestreo.

**4.3. Prueba de hipótesis**

En el presente trabajo de investigación se formuló la hipótesis general Alternativa:

**Si se efectúa un estudio hidrológico e hidrogeológico entonces se determinará la calidad y cantidad de agua en la microcuenca Hércules de la minera Lincuna S.A.**

Y para la hipótesis general Nula:

**Si se efectúa un estudio hidrológico e hidrogeológico entonces no se determinará la calidad y cantidad de agua en la microcuenca Hércules de la minera Lincuna S.A.**

Aceptamos que al realizar los estudios de la hidrología en la microcuenca Hércules se determinó la cantidad de agua a través de la realización de los histogramas, isoyetas, método lutz- scholz, entre otros métodos de estudios de la hidrología se determinó la cantidad de agua por los caudales que oscila entre 0.06 l/s y 49.21 l/s.

Y del estudio hidrogeológico se estableció en comportamiento del agua subterráneas y la hidro química que dieron como resultados en la calidad del agua de la microcuenca Hércules, involucrando los resultados del 2017, 2018 y 2019. De lo descrito en los anteriores párrafos rechazamos la hipótesis general nula, aceptando la hipótesis general alternativas. De esta forma validando la hipótesis planteada.

#### **4.4. Discusión de resultados**

El cumplimiento de los objetivos de la tesis, con respecto a la ejecución de los estudios hidrológicos e hidrogeológico encontramos la aceptación de la hipótesis general que establece la determinación de la cantidad y calidad del agua en la microcuenca Hércules de la minera Lincuna S.A.

Estos resultados guardan relación con el autor Puelles, 2015 con la relación en la utilización del Software HEC-HMS utilizando la microcuenca de Hércules para hallar los caudales máximos.

En la determinación de la cantidad de agua por el estadio hidrológico el autor Zubieta en el 2017, tuvo un punto importante con respecto a los eventos hidrológicos extremos para ejecutar las metodologías de la de los estudios hidrológicos. Encontrando aprobación para la investigación.

En la determinación de la calidad de agua por el estadio hidrogeológico el autor Peluso en el 2006 plantea la importancia de los acuíferos con la geología, encontrando de esta forma la calidad del agua.

Por lo tanto, podemos concluir que en los trabajos realizados en los estudios hidrológicos e hidrogeológicos es importancia en la determinación de la cantidad y la calidad del agua en la microcuenca Hércules.

## CONCLUSIONES

### 1. En el estudio hidrología

- Se estimó las precipitaciones totales anuales y mensuales para las microcuencas en estudio, por el método de las isoyetas para años promedios, húmedas y secos. Dichas precipitaciones varían entre 0.40 y 126.40 mm para años promedio, 0.41 y 164.90 mm para años húmedo y entre 0.39 y 101.8 mm para años secos.
- Se generó los caudales medios en el área de estudio mediante el Método de Lutz Schol, este modelo hidrológico combinado cuenta con una estructura determinística para el cálculo de los caudales mensuales para el año promedio (Balance hídrico – Modelo determinístico); y una estructura estocástica para la generación de series extendidas de caudal (Proceso markoviano – Modelo estocástico). **Se calcularon caudales de generación de las cantidades de agua entre 0.06 y 49.21 l/s para los meses de Julio y febrero, respectivamente.**
- Los caudales máximos se calcularon mediante el software HEC-HMS, para periodos de retorno de 10, 25, 50, 100, 200 y 500 años, obteniéndose que para 10 años de retorno se tiene la cantidad de agua de un caudal de 3.8 m<sup>3</sup>/s, para 25 años es de 9.1 m<sup>3</sup>/s, para 50 años es de 11 m<sup>3</sup>/s, mientras que para 100, 200 y 500 años de retorno, el caudal calculado es de 13, 15 y 17.7 m<sup>3</sup>/s, respectivamente.

### 2. En el estudio Hidrogeología

- Las formaciones geológicas predominantes en la unidad de producción Hércules, están constituidas por rocas de origen volcánico, desde el punto de vista hidrogeológico estos son considerados como impermeables. La estructura principal en el proyecto es la falla Hércules que recorre paralelo a la quebrada del mismo nombre y la falla Infiernillo es transversal a la falla Hércules, desde esta falla principales nacen las fallas de diferente orden y

orientación, sin importancia en interior mina por cuanto estas se localizan en cotas inferiores a los 4500 m de altitud y en general en la totalidad de los niveles no existe presencia de agua subterránea.

- El relleno fluvio glaciar y morrénico tapizan las rocas volcánicas, con espesores que van desde 1 m hasta los 5 m aproximadamente. La fuente de recarga de los acuíferos efímeros proviene de las intensidades de precipitación, habiéndose estimado la recarga en 43 mm/año. Las condiciones mencionadas se localizan sobre 4500 m de altitud en la zona este de la microcuenca Hércules. El acuífero es libre, con valores de conductividad eléctrica que varían entre 0.39 y 6.59 m/d y el rendimiento específico está comprendido entre 2 a 4%.
- **La calidad del agua en los puntos de monitoreo CAg-2 y IM-01**, observar el anexo 28, las conductividades eléctricas se hallan comprendidos entre 107 a 2280  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , dependiendo de las épocas de lluvia o secas, en periodos húmedos la conductividad eléctrica es media mientras que en periodos de estiaje la conductividad eléctrica es muy alta. **La concentración de los metales que superan los límites permisibles son el Zinc, Arsénico, sulfatos, entre otros, los cuales provienen del lixiviado de las rocas volcánicas.**

## RECOMENDACIONES

### 1. En el estudio hidrología

- Se recomienda seleccionar y controlar los análisis de valoraciones dudosos de las estaciones de monitoreo, ya que con el tiempo estos datos afectan en los pronósticos y los calculas respectivos para hallar las cantidades de agua (caudal) que circulan en la microcuenca hércules.
- En la utilización del método de Lutz Schol se recomienda:
  - Solo utilizar en los cálculos de caudales mensuales promedios.
  - Recomiendo utilizar los registros generados de los periodos secos porque son más confiables que de los periodos lluviosos.
  - Utilizar restricciones a fin de garantizar una buena performance del modelo.
- Para calcular la generación de caudales máximos es recomendable utilizar el programa de HEC-HMS que es estimados para los periodos de retorno de 10, 25, 50, 100, 200 y 500 años.

### 2. En el estudio Hidrogeología

- La determinación de la geología, geomorfología, en la zona de estudio es recomendable seguir realizando periódicamente los monitoreos indicados para llevar bien las actividades planeadas en la zona de exploración y explotación de la mina Lincuna S.A.
- Se recomienda seguir evaluando las calidades del agua en el punto CAg-2 bajo el Decreto Supremo 004 – 2017 Minam Categoría 03 la que establece los estándares de calidad ambiental en riego de vegetales y bebida de animales. Hasta que las modificatorias o reemplazo de otra ley impuesta por el estado.
- Se recomienda seguir evaluando las calidades del agua en el punto IM-01 bajo el Decreto Supremo 010 – 2010 Minam que establece los límites máximos permisibles para la descarga de efluentes líquidos de Actividades Minero – Metalúrgicas. Hasta que las modificatorias o reemplazo de otra ley impuesta por el estado.

## BIBLIOGRAFÍA

1. Caballero, A. (2009). Exploración De Aguas Subterráneas En El Arco Seco De Panamá (Sector De Las Tablas) Mediante Método Geofísicos. Barcelona.
2. Chaneton, E; (2006). Las Inundaciones en Pastizales Pampeanos. Impacto Ecológico de las Perturbaciones Naturales. Revista de Divulgación Científica y Tecnológica de la Asociación Ciencia Hoy. Volumen 16 N° 92. Buenos Aires. Argentina.
3. Chereque Moran, W. (S.F.). Hidrología. Pág. 3. Lima, Perú.
4. G. Remenieras ETASA. Barcelona, 1971 Tratado de Hidrología Aplicada
5. García Romero, A. N. (2012). Caracterización Hidrogeológica De Un Sector Del Acuífero Del Valle De Iguala, Guerrero. México.
6. GCP/RLS/008/SPA Pag.2, Apoyo a la rehabilitación productiva y el manejo sostenible de microcuencas en municipios de Ahuachapán.
7. Ing. Agrónomo Martínez Álvarez, V. (abril De 1999). "Simulación Y Comprobación Experimental De La Escorrentía Superficial En Pequeñas Cuencas No Aforadas Mediante Modelos Distribuidos Implementados Sobre Sig.". 1- 453. Madrid.
8. Ing. Nieto Melgarejo, H. (2007). Comparación De Modelos Hidrológicos Precipitación-Escorrentía Determinísticos Conceptuales Con Y Sin Uso De Modelo Estocástico. Lima, Perú.
9. Linsley –Kohler -Paulus Mc Graw Hill. (1977) hidrología para ingenieros
10. Llamas. J. 1993. Hidrología general. Principios y Aplicaciones. Universidad del Pais vasco. Quebec. Canada.
11. LOBO REYES E. V. (2017) "estudio hidrológico e hidráulico para la identificación de la vulnerabilidad a desbordes de la cuenca baja del rio coata – puno.
12. Mateo Lázaro, J. (Setiembre De 2017). Hidrología De Crecidas En Pequeñas Y Medianas Cuencas. Aplicación Con Modelos Digitales Del Terreno. Zaragoza.
13. Mecca, J. C. (febrero De 2008). Análisis Y Modelación Del Comportamiento Hidrológico De Las Lagunas Don Tomás Y Bajo Giuliani Santa Rosa, La Pampa.

14. Medardo Malina. (1974) Hidrología Universidad Nacional Agraria. Lima.
15. Mejías D, J. E., Jégat N, H. J., Mora M, L. E., & Linares S, M. A. (marzo De 2010). Modelo Hidrogeológico Conceptual Para La Evaluación Del Acuífero Del Planicie Aluvial Del Rio Matatan. 1- 15. Venezuela.
16. Mercedes Palacio, L. (2012). Actualización Del Modelo Conceptual Y Modelo Numérico De Flujo De Agua Subterránea En El Acuífero Libre De General Pico – Dorila, Provincia De La Pampa, Argentina. Argentina.
17. Montaña Xavier, J. (1999). Caracterización Y Vulnerabilidad De Sistemas Hidrogeológicos Discontinuos. Cuenca Del Arroyo Carrasco - Montevideo – Uruguay
18. Orsolini, H.E; Zimmermann, E.D; Basile, P.A; (2.000). Hidrología. Procesos y Métodos. Rosario. Argentina.
19. Peluso, F; (2.006 a). Introducción a los estudios de riesgo sanitario y ecológico. Curso de Hidrogeología en la problemática ambiental. Maestría en Ciencias hídricas. Universidad Nacional de La Pampa. Argentina.
20. Peluso, F; (2.006 b). Los análisis de riesgo ecológico. Curso de Hidrogeología en la problemática ambiental. Maestría en Ciencias hídricas. Universidad Nacional de La Pampa. Argentina.
21. Puelles Maza, J. C. (diciembre De 2015). Estudio Hidráulico E Hidrológico De La Cuenca Alto Del Perú Y El Porvenir En El Asentamiento Humano Las Mercedes De Alto Perú, Distrito La Oroya, Provincia De Yauli- Junín Para La Construcción Futura De Obras De Arte Ante Amenazas De Derrumbe. Lima, Perú.
22. Rafael Heras, (1972) Manual de Hidrología Escuela de Hidrología. Madrid.
23. SENAMHI-lima, (1982). Estudio de la hidrología del Perú publicación del instituto Ítalo-latino americano.
24. T Chow Mc Graw Hill. (1964) Handbook of Applied Hydrology Ven.
25. Varas-Ferrer (1972). Métodos estadísticos en hidrología universidad católica de chile.

26. Zubieta Barragán, R. (2017). "Estimación De Concentración De Lluvia Diaria Y Eventos Hidrológicos Extremos En Cuencas Andino-Amazónicas Empleando Precipitación Basada En Satélites". 168. Lima, Perú.

# **ANEXOS**

MATRIZ DE CONSISTENCIA

ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDROGEOLÓGICO DE LA MICROCUENCA HÉRCULES DE LA COMPAÑÍA MINERA LINCUNA S.A. – HUARAZ			
PROBLEMA GENERAL	OBJETIVO GENERAL	HIPÓTESIS GENERAL	VARIABLE DEPENDIENTE
¿Cómo podemos efectuar el estudio hidrológico e hidrogeológico para determinar la cantidad y calidad de agua en la microcuenca hércules de la compañía Minera Lincuna S.A.?	Efectuar el estudio hidrológico e hidrogeológico para determinar la cantidad y calidad de agua en la microcuenca hércules de la Minera Lincuna S.A.	Si se efectúa un estudio hidrológico e hidrogeológico entonces se puede determinar la calidad y cantidad de agua en la microcuenca Hércules de la minera Lincuna S.A.	Estudio hidrológico e hidrogeológico <b>Para la hipótesis A</b> Estudio hidrológico. <b>Para la hipótesis B</b> Estudio hidrogeológico
PROBLEMA ESPECIFICO	OBJETIVO ESPECÍFICO	HIPÓTESIS ESPECIFICA	VARIABLE INDEPENDIENTE
<p>a) ¿Cómo podemos efectuar el estudio hidrológico para determinar la cantidad de agua en la microcuenca hércules de la Minera Lincuna S.A.?</p> <p>b) ¿Cómo podemos efectuar el estudio hidrogeológico para determinar la calidad de agua en la microcuenca hércules de la Minera Lincuna S.A.?</p>	<p>a) Efectuar el estudio hidrológico para determinar la cantidad de agua en la microcuenca hércules de la Minera Lincuna S.A.</p> <p>b) Efectuar el estudio hidrogeológico para determinar la calidad de agua en la microcuenca hércules de la Minera Lincuna S.A.</p>	<p>a) Si se efectúa el estudio hidrológico entonces se puede determinar la cantidad de agua en la microcuenca hércules de la Minera Lincuna S.A.</p> <p>b) Si se efectúa el estudio hidrogeológico se puede determinar la calidad de agua en la microcuenca hércules de la Minera Lincuna S.A.</p>	<p>Evaluar la cantidad y calidad de agua de la microcuenca Hércules.</p> <p><b>Para la hipótesis A</b> Evaluar la cantidad de agua de la microcuenca hércules de Minera</p> <p><b>Para la hipótesis B</b> Evaluar la calidad de la microcuenca hércules de Minera Lincuna S.A.</p>

## ANEXO 01

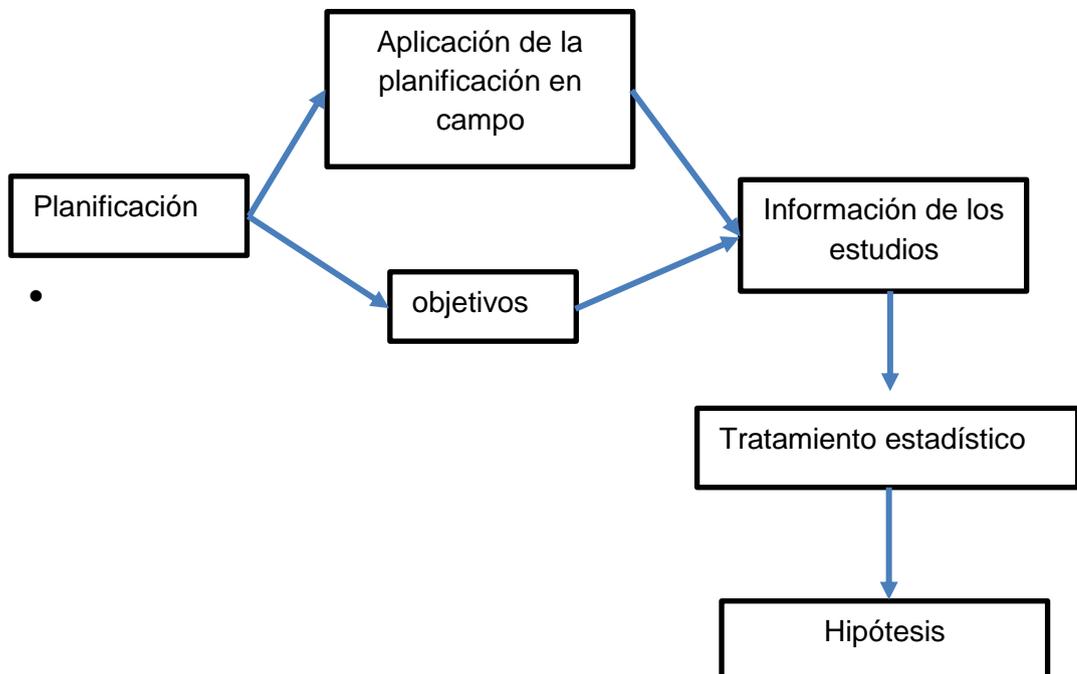
### Instrumentos de Recolección de datos y matriz de consistencia

Los instrumentos de la recolección de datos son informáticos o programas de computación (software).

Siguiendo con los pasos de cada proceso en el trayecto de los estudios respectivos de la hidrología e hidrogeología, los instrumentos y seguimiento se describen en el capítulo 4 de Resultados y discusiones.

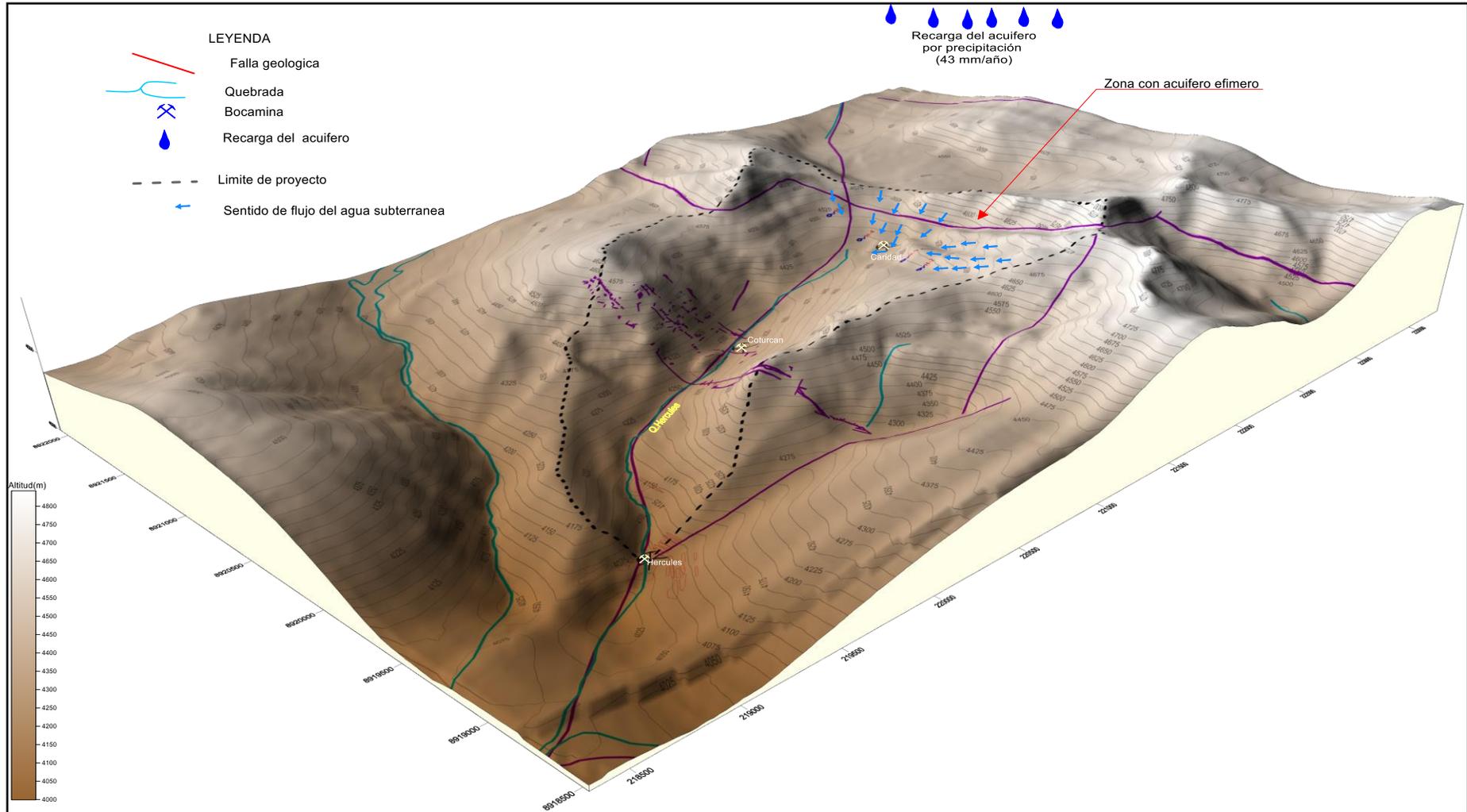
Dando una comprobación validad de estos instrumentos en los siguientes anexos. Como resultado que nos permita una identificación de la descripción con los datos recolectados en campo.

### Pasos de la aplicación de los instrumentos de la investigación



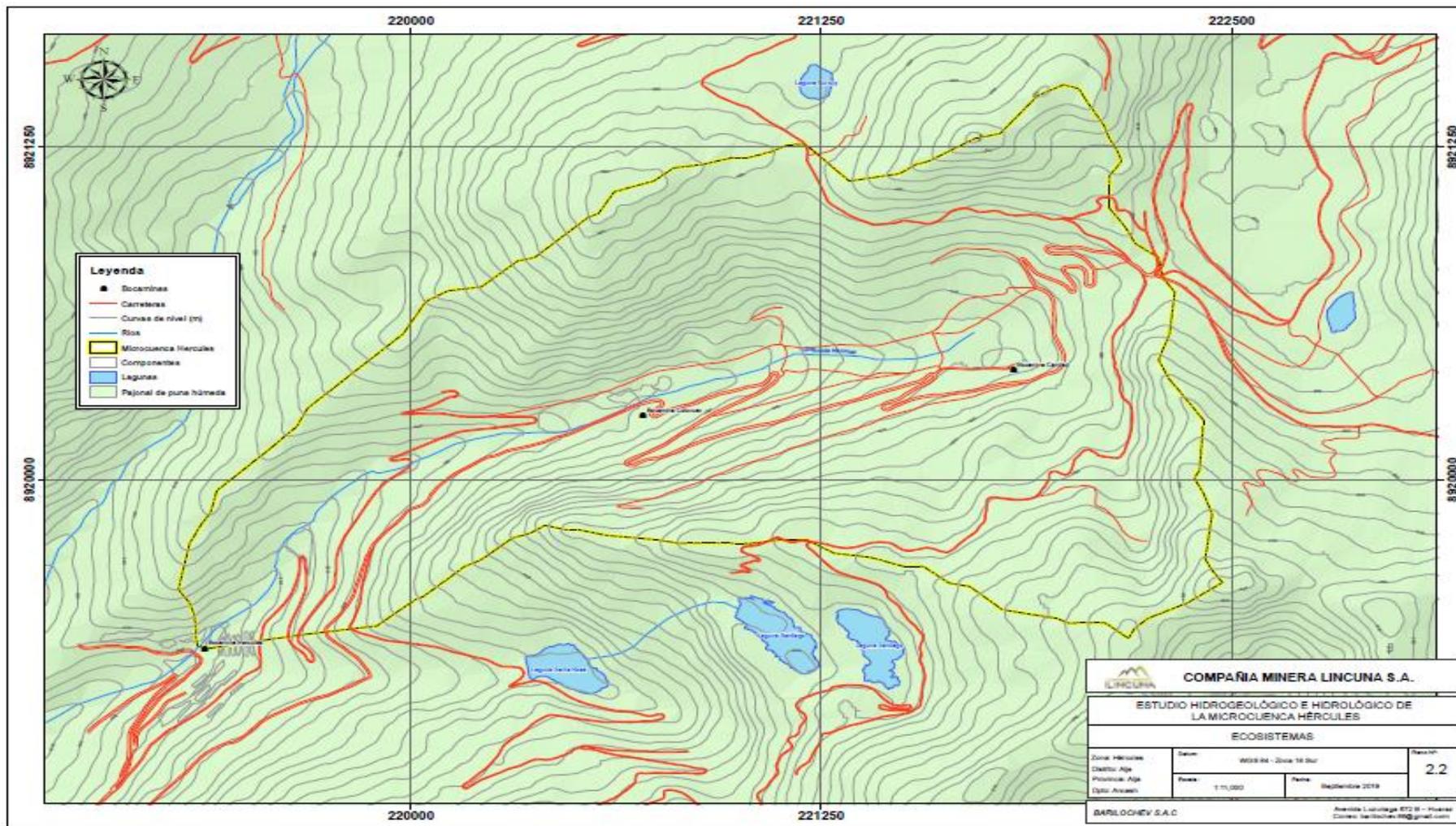
## ANEXO 02

### Mapeo de la microcuenca Hércules sistemático

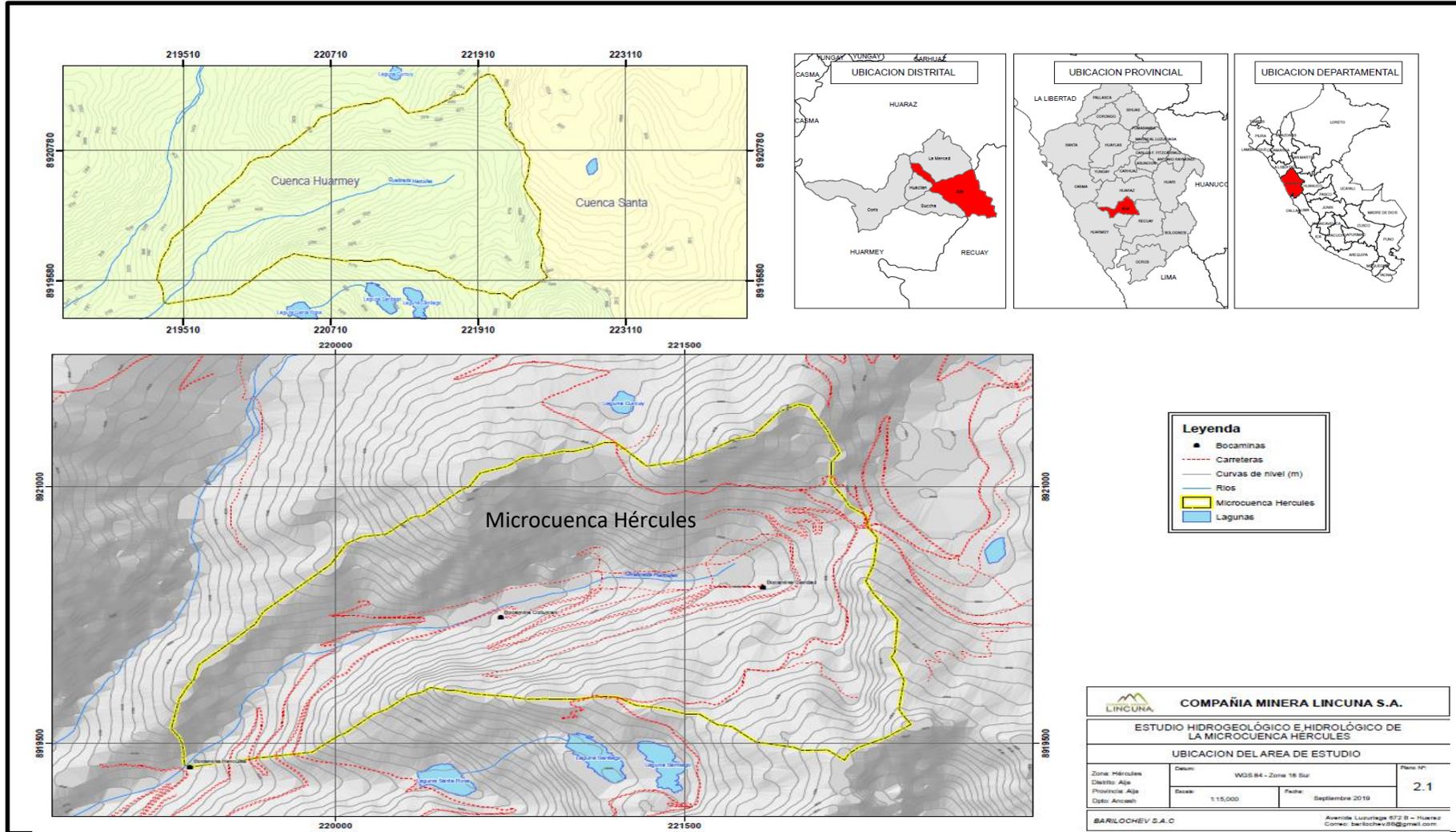


### ANEXO 03

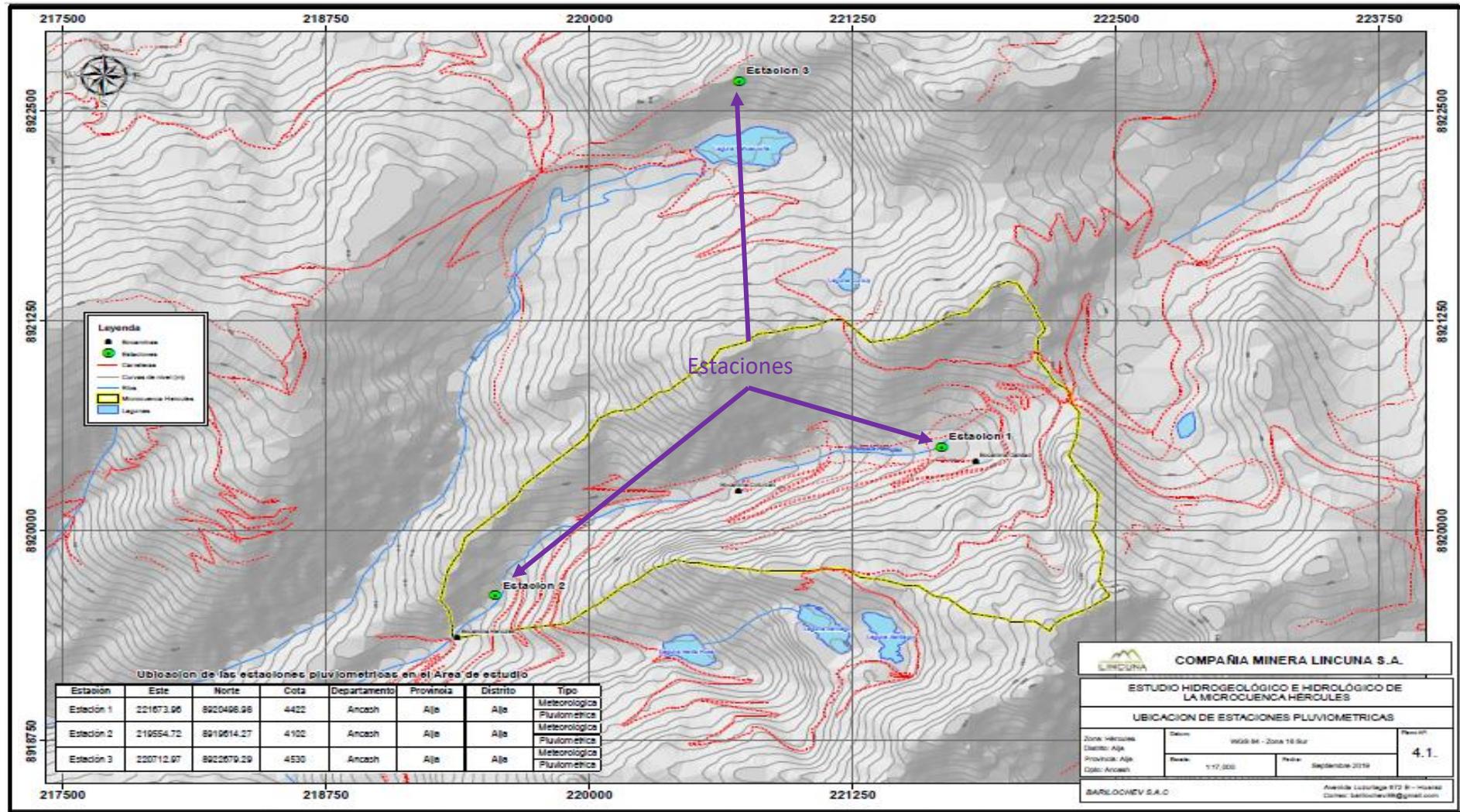
#### Mapeo ecosistémico de la microcuenca Hércules



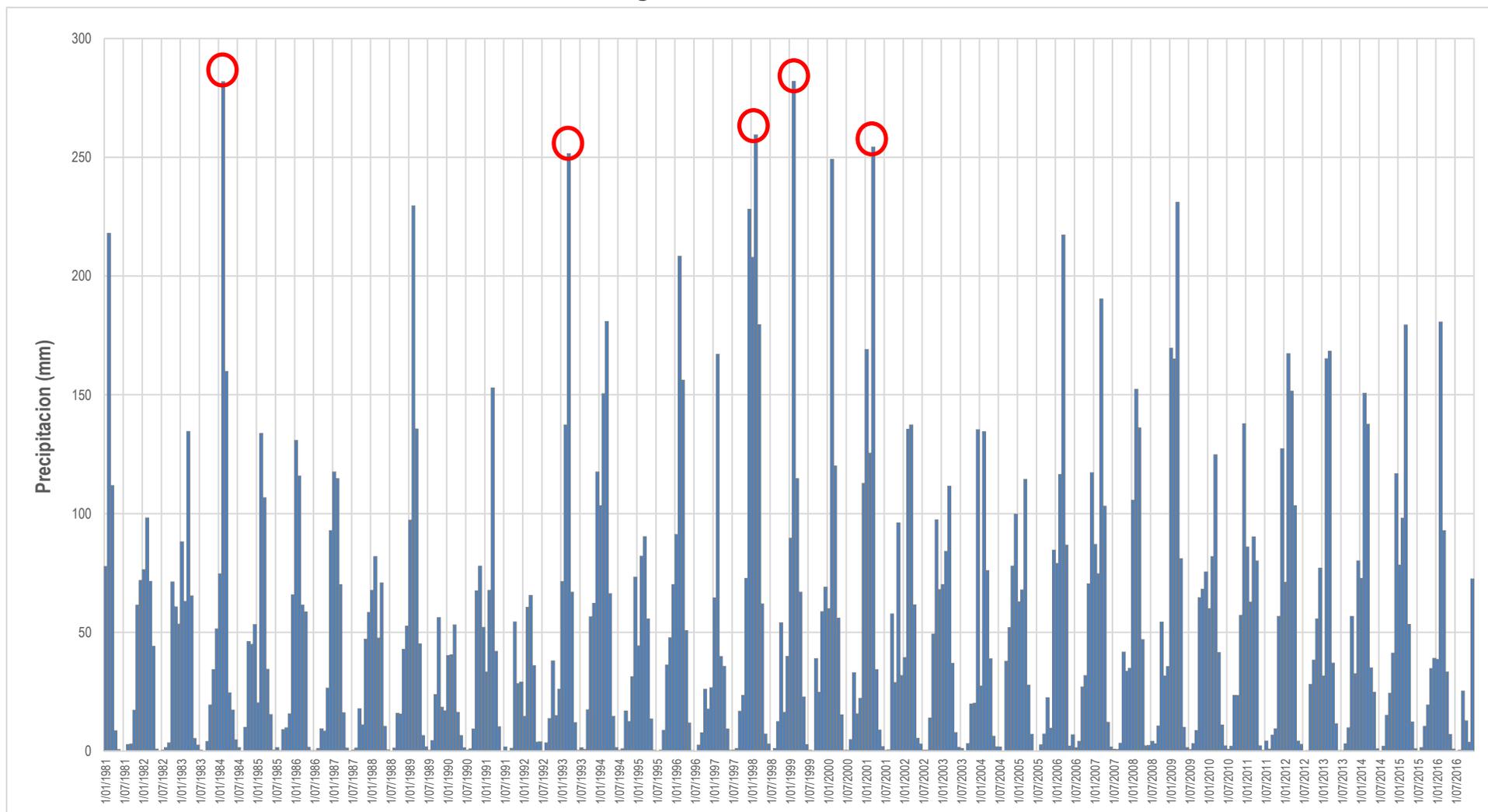
## ANEXO 04 Planos de ubicación.



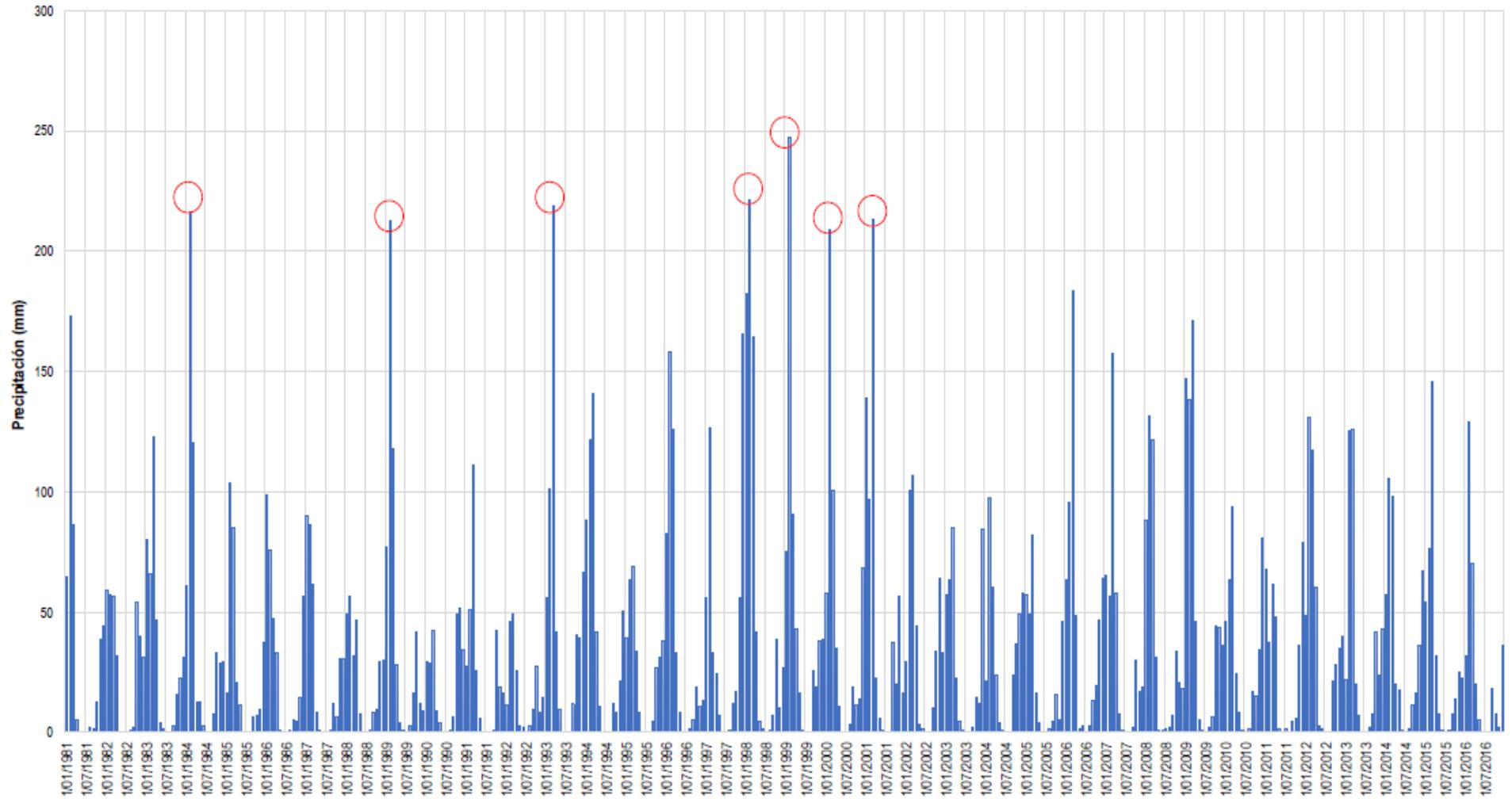
## ANEXO 05 Plano de las ubicaciones de las estaciones.



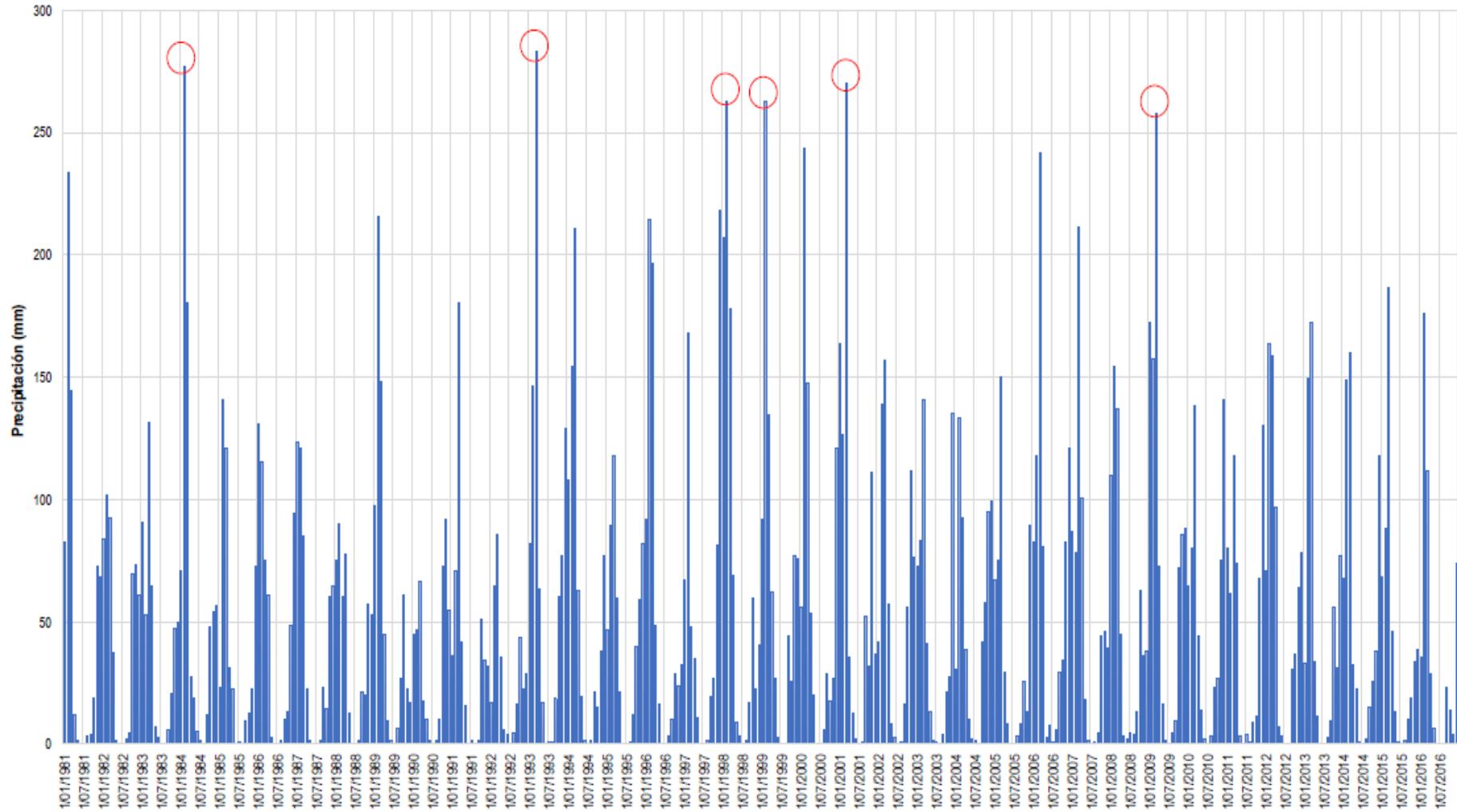
**ANEXO 06**  
**Hidrograma de la estación 1**



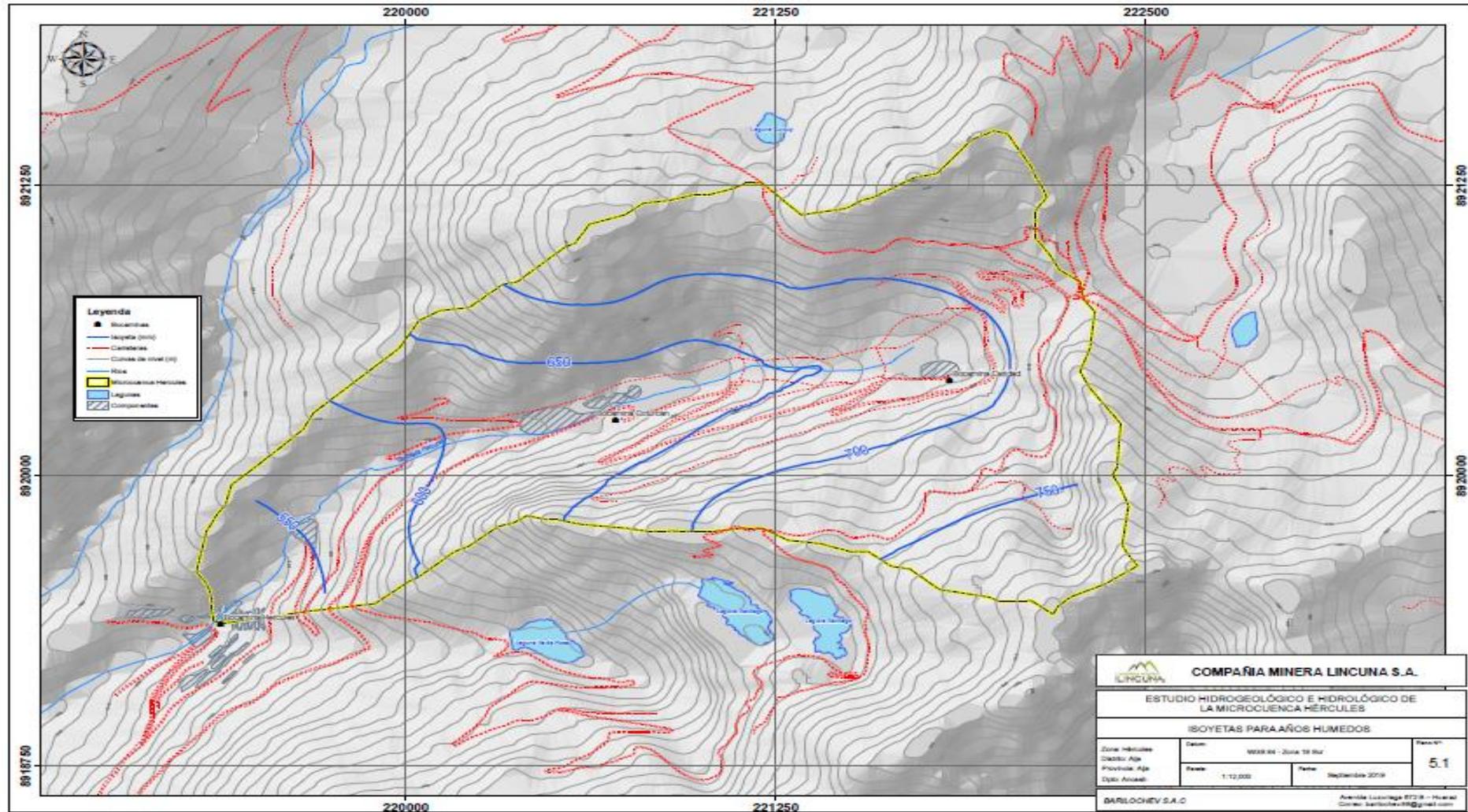
## ANEXO 07 Hidrograma de la estación 2



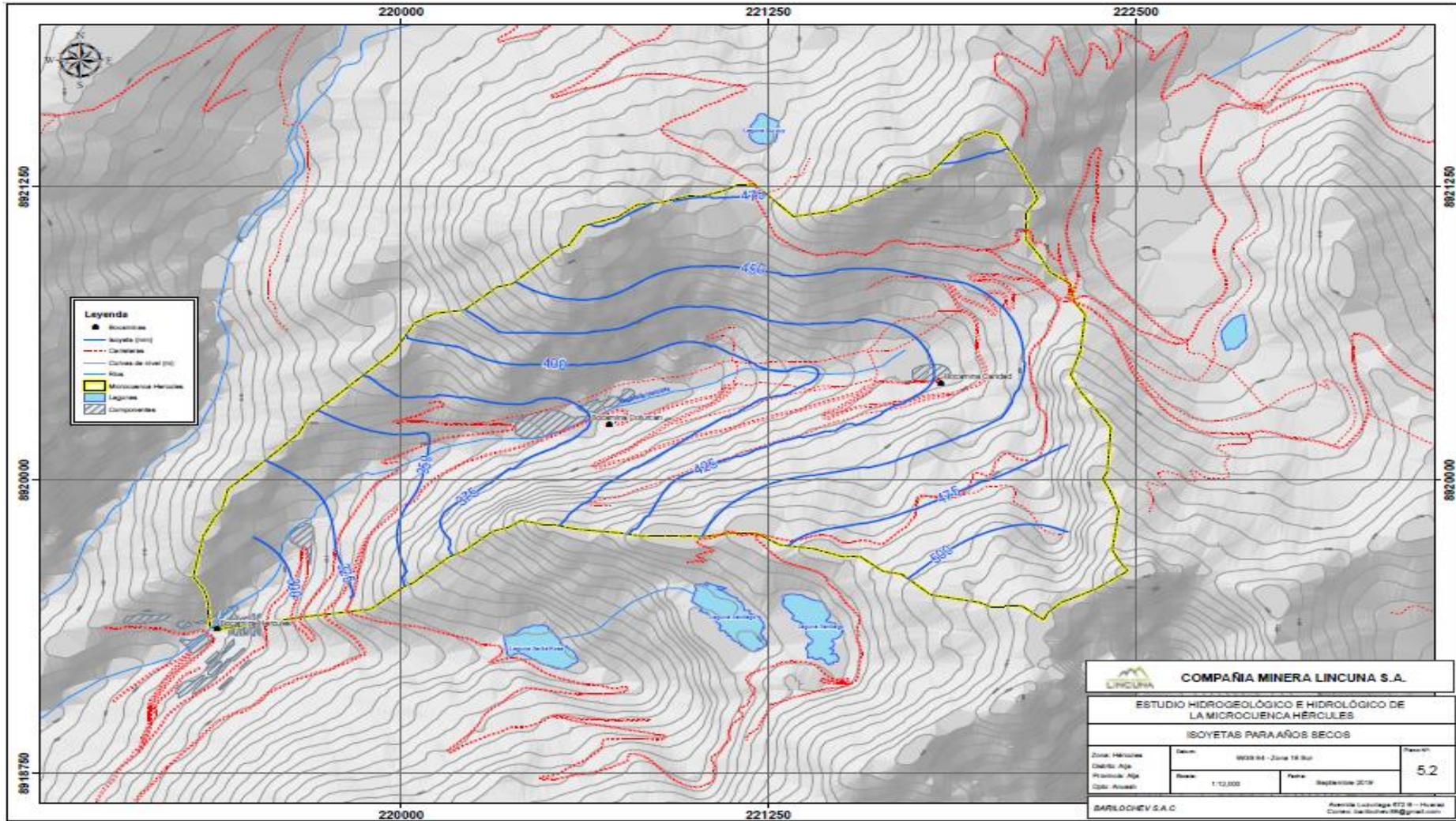
### ANEXO 08 Hidrograma de la estación 3



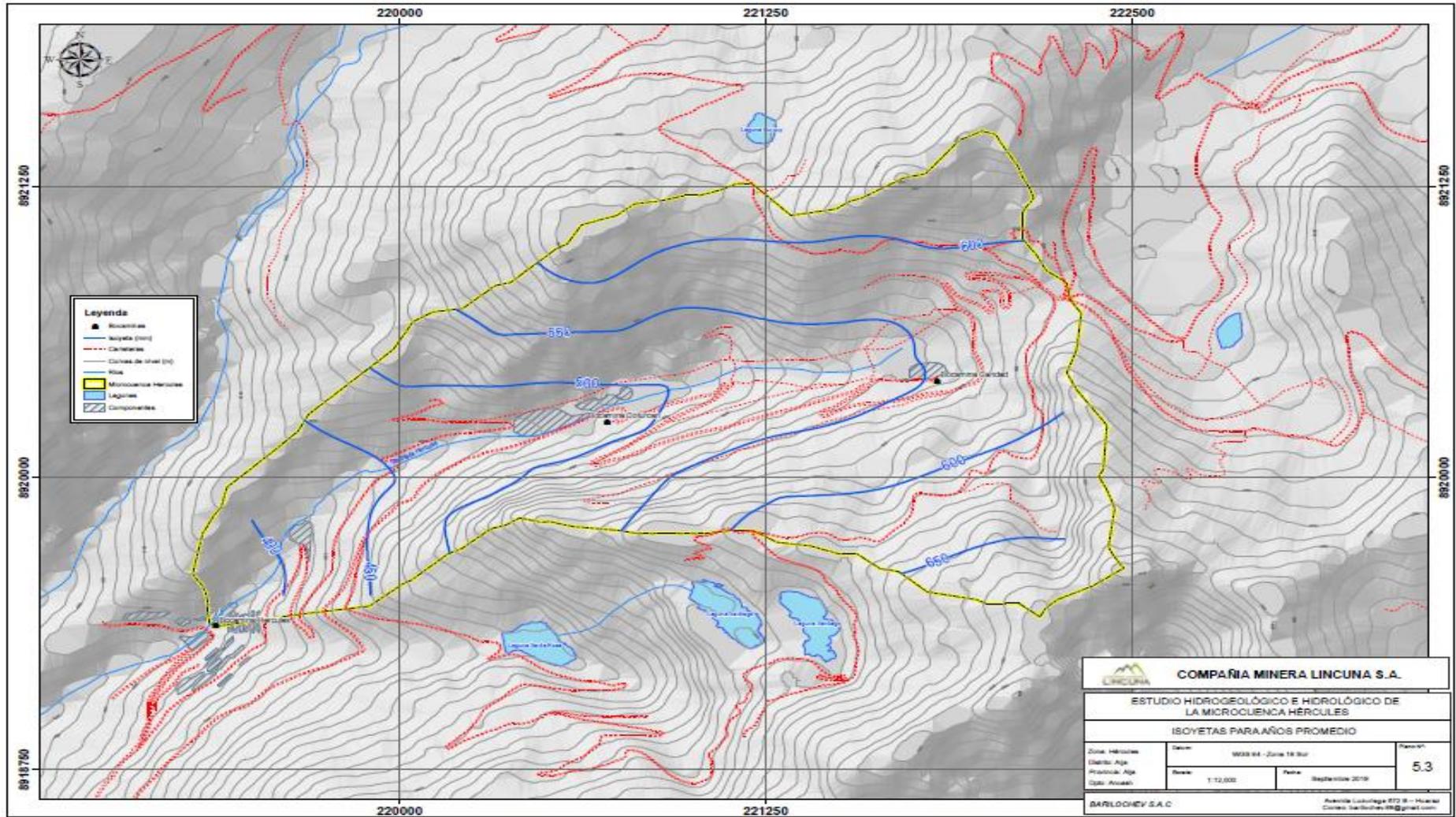
## ANEXO 09 Isoyetas para años húmedos



## ANEXO 10 Isoyetas para años secos



## ANEXO 11 Isoyetas para años promedio

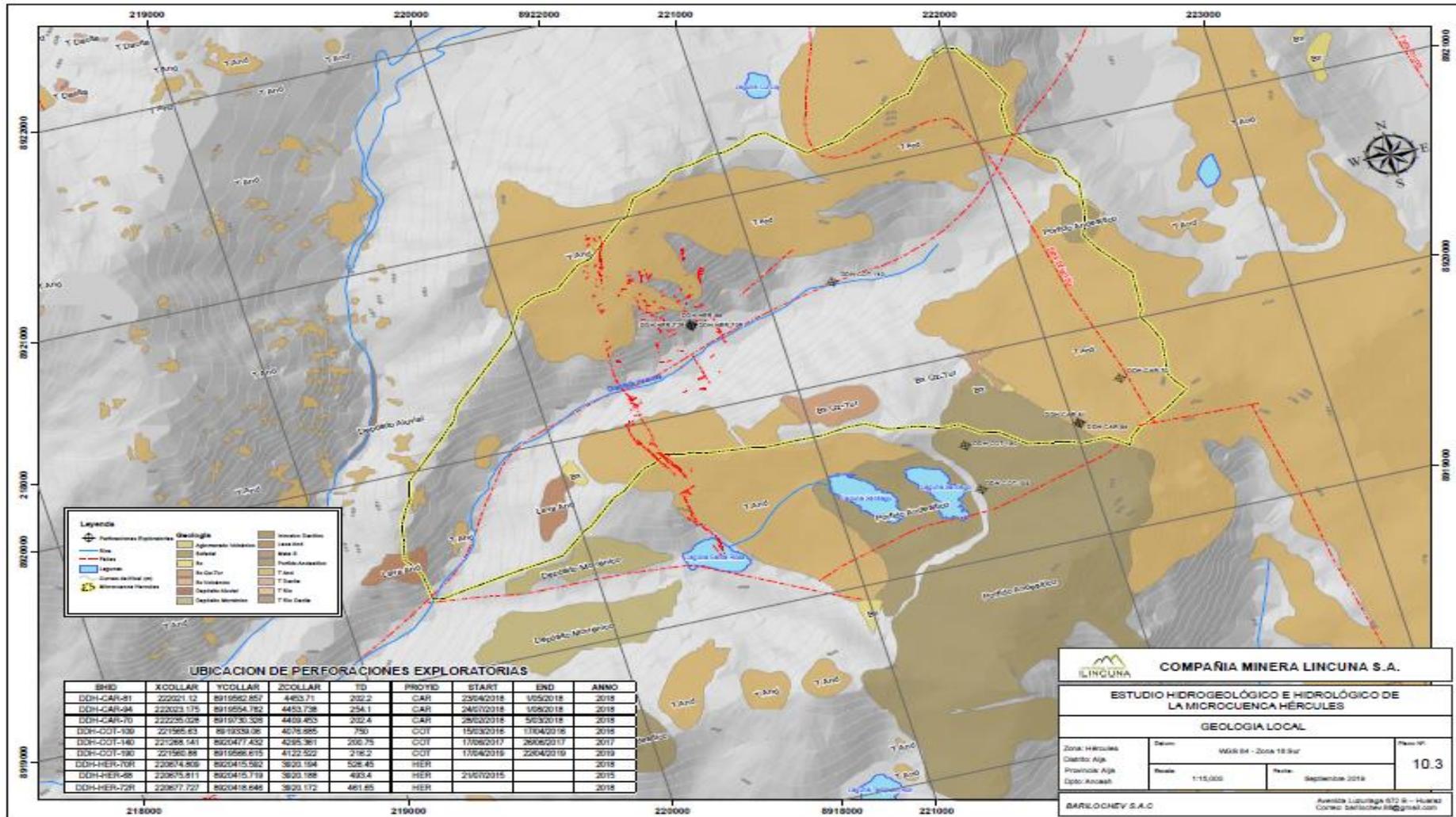






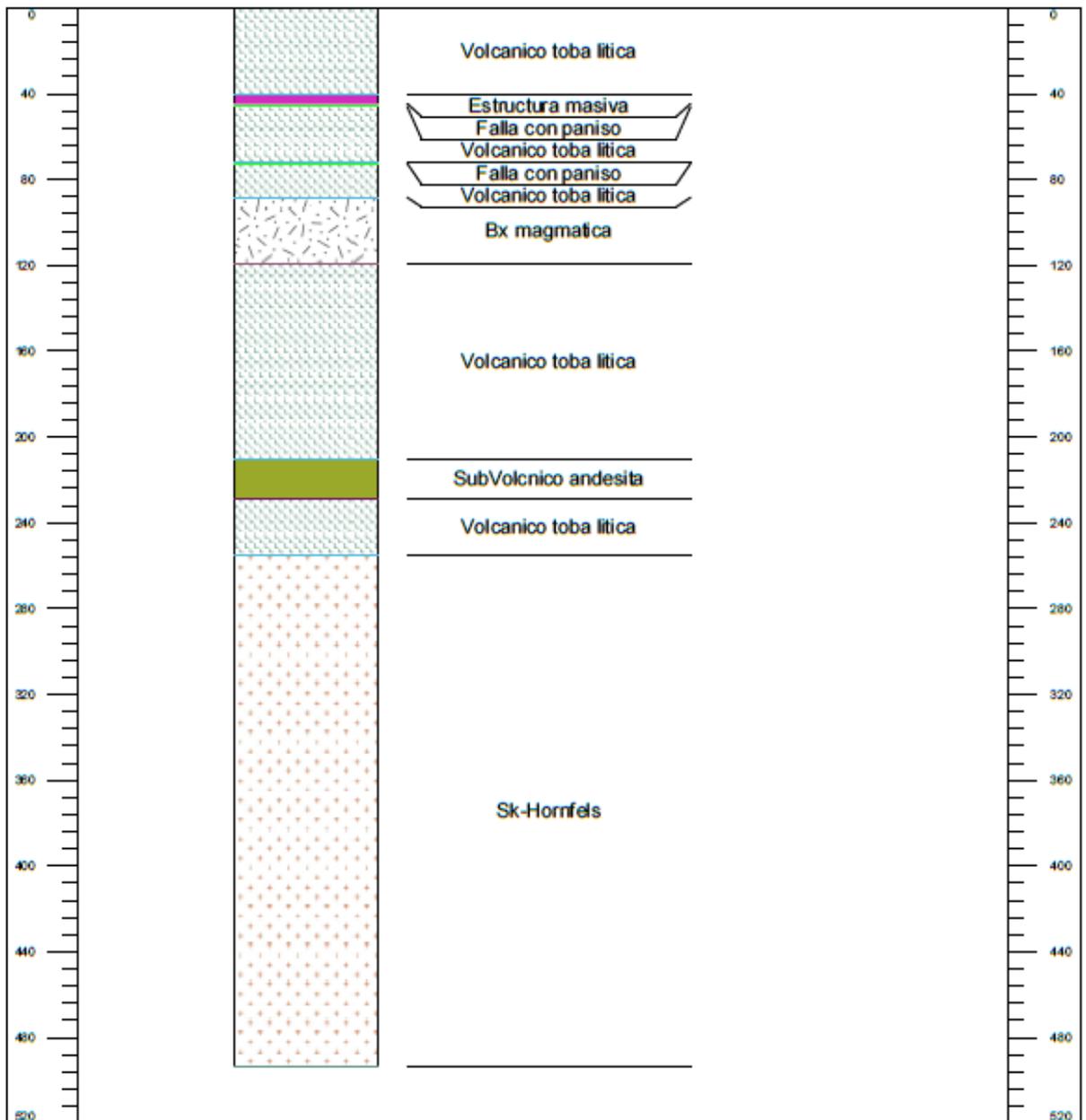
## ANEXO 14

### Geología local de la microcuenca Hércules



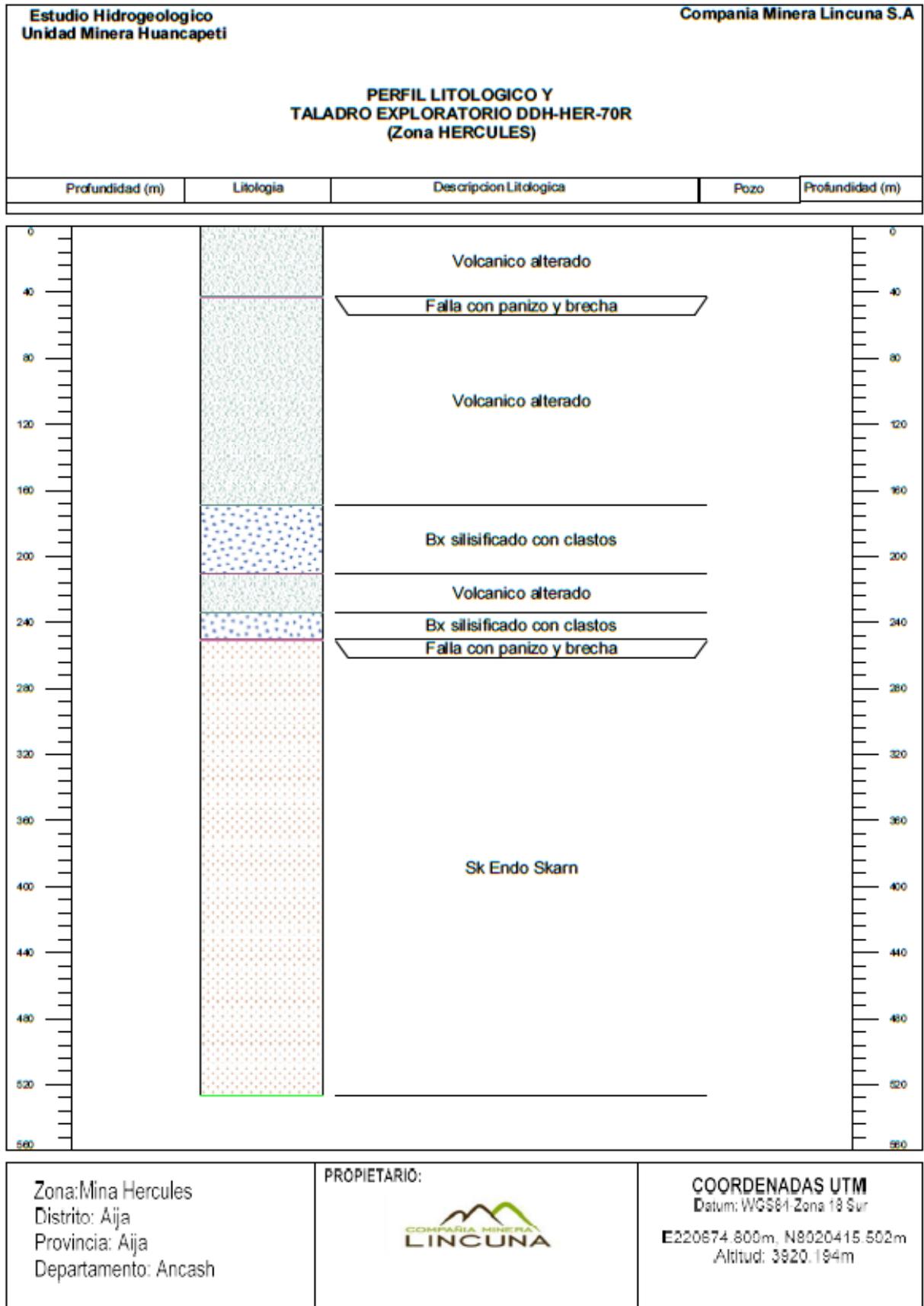
**ANEXO 15**  
**Zona Hércules DDH – HER 68R**

<b>Estudio Hidrogeológico</b> <b>Unidad Minera Huancapeti</b>	<b>Compañía Minera Lincuna S.A</b>			
<b>PERFIL LITOLÓGICO Y</b> <b>TALADRO EXPLORATORIO DDH-HER-68R</b> <b>(Zona HERCULES)</b>				
Profundidad (m)	Litología	Descripción Litológica	Pozo	Profundidad (m)

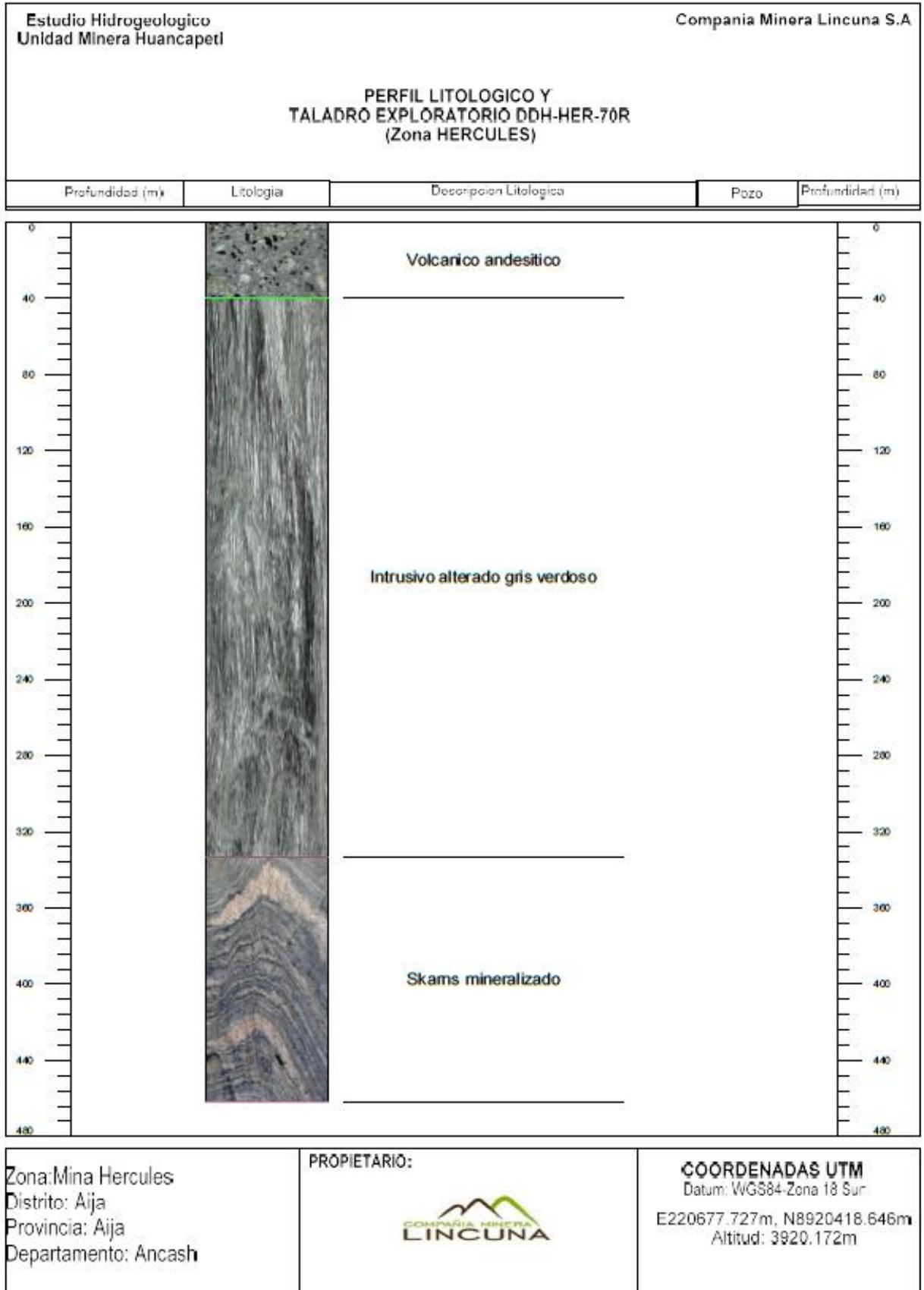


Zona: Mina Hercules Distrito: Aija Provincia: Aija Departamento: Ancash	 <p><b>COMPANÍA MINERA</b> <b>LINCUNA</b></p>	<b>COORDENADAS UTM</b> Datum: WGS84-Zona 18 Sur E:220675.811m, N:8920415.719m Altitud: 3920.188m
----------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------

**ANEXO 16**  
**Zona Hércules DDH – HER 70R**



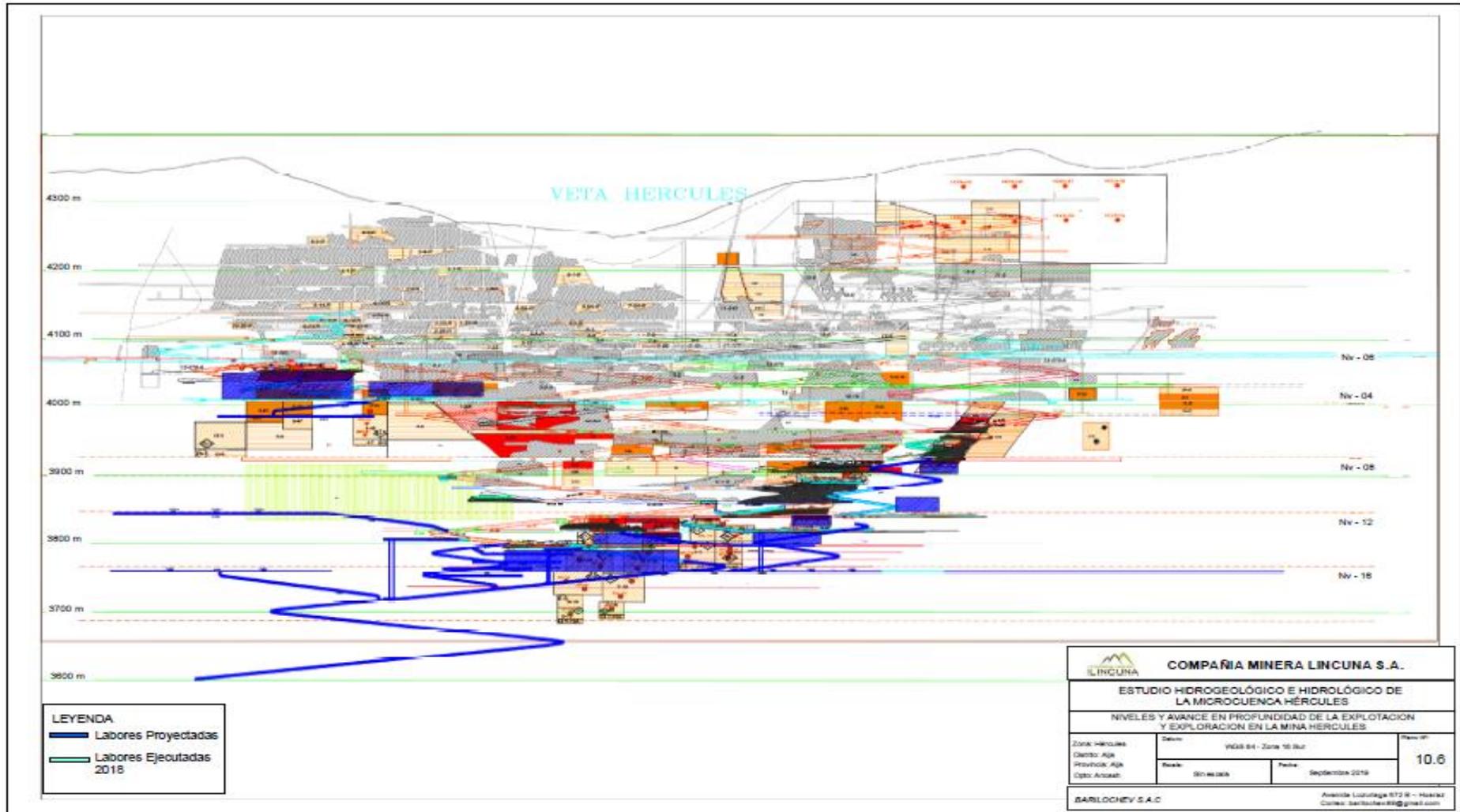
**ANEXO 17**  
**Zona Hércules DDH – HER 70R**







## ANEXO 20 NIVELES Y AVANCE EN PROFUNDIDAD DE LA EXPLOTACION Y EXPLORACION EN LA MINA HERCULES



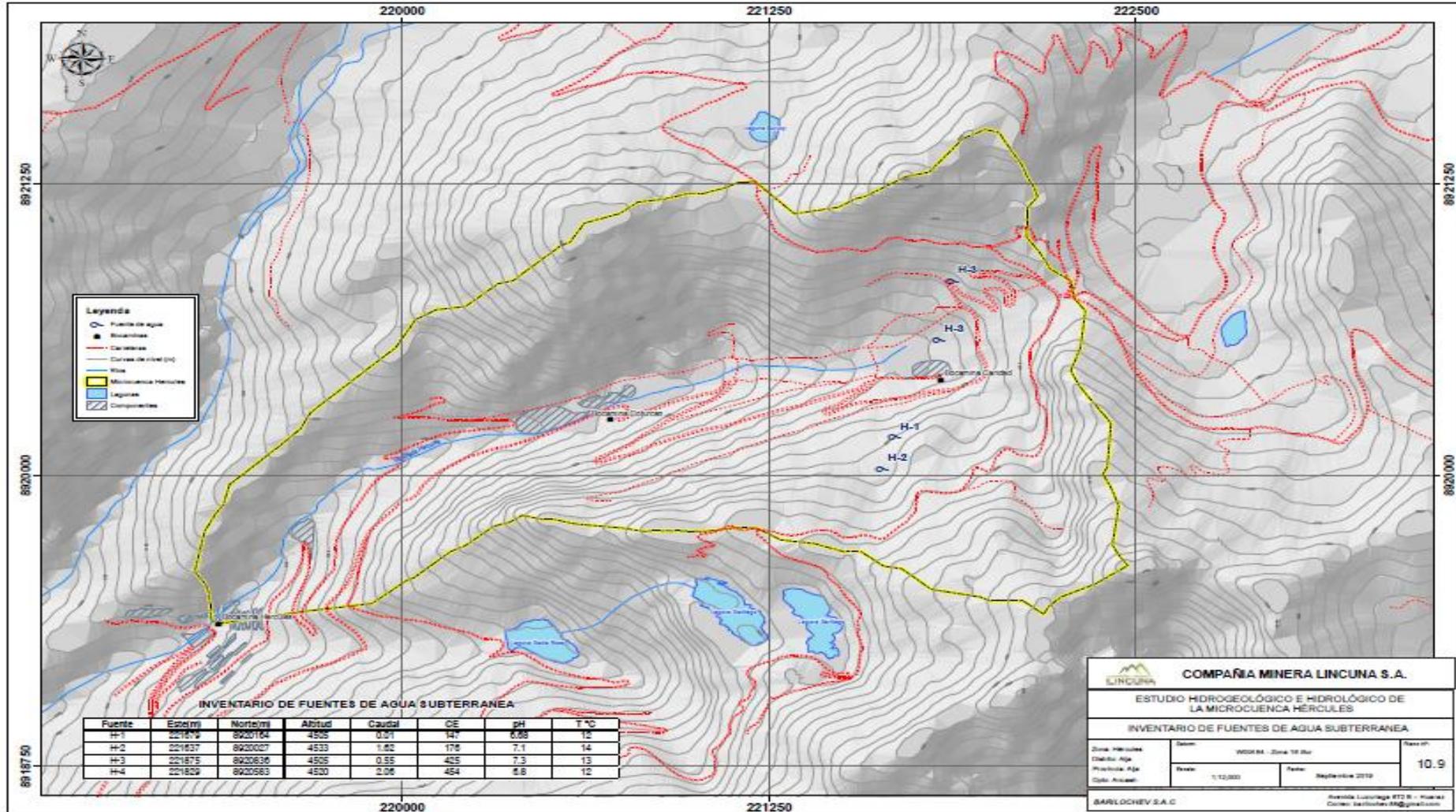
**ANEXO 21**

**VISTA DE FOTOGRAFÍA**



**ROCAS ANDESÍTICOS FRACTURADAS**

## ANEXO 22 INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA SUBTERRANEA



**ANEXO 23**  
**RESULTADOS DE MONITOREO DE CALIDAD DEL AGUA DE LA ESTACIÓN**  
**CAG-2 (2017)**

Parámetros	Unidad de medida	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	D1: Riego de vegetales		D2: Bebida de animales
		CAG-2	CAG-2	CAG-2	CAG-2	CAG-2	CAG-2	Agua para riego no restringido (c)	Agua para riego restringido	Bebida de animales
Aceite y Grasas	mg/L	<0.50	< 0.50	< 0.50	< 0.50	<1.0	<1.0	5		10
Bicarbonatos	mg/L	-	61	15	10	9.1	<1.0			
Cianuro Wad	mg/L	<0.002	< 0.002	< 0.002	< 0.002	< 0.002	<0.002	0.1		0.1
Cloruros	mg/L	5.96	4.72	5.73	7.51	6.71	3.55	500		**
Color (b)	UC	<3.5	< 3.5	< 3.5	< 3.5	0.9	<0.5	100 (a)		100 (a)
Conductividad	(µS/cm)	235	<b>2 570</b>	2134	2067	2090	107.2	2500		5000
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO <sub>5</sub> )	mg/L	5.6	2.18	3.44	7.29	<2.0	2.2	15		15
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	<10.00	22.02	13.22	17.33	8.9	7.4	40		40
Detergentes (SAAM)	mg/L	<0.025	< 0.025	< 0.025	< 0.025			0.2		0.5
Fenoles	mg/L	<0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	<0.0010	<0.010	0.002		0.01
Fluoruros	mg/L	<b>1.516</b>	<b>1.181</b>	0.983	0.875	0.61	<b>0.29</b>	1		**
Nitratos + Nitritos	mg/L	4.57	4.79	5.3	5.92	6.15	3.085	100		100
Nitritos	mg/L	0.26	0.3	0.23	0.4	0.54	0.1	10		10
Oxígeno Disuelto (valor mínimo)	mg/L	8	6.43	6.39	6.21	6.8	7.3	≥ 4		≥ 5
Potencial de Hidrógeno (pH)	Unidad de pH	7.5	6.8	6.8	6.6	7.13	6.53	6,5 – 8,5		6,5 – 8,4
Sulfatos	mg/L	<b>1667.05</b>	<b>1 588.46</b>	<b>1 302.04</b>	<b>1315.09</b>	<b>1305.42</b>	<b>614.75</b>	1000		1000
Temperatura	°C	9.5	14.3	15.9	15.4	12.2	9.5	-		-
Aluminio	mg/L	1.41	1.73	0.95	0.19	0.7202	2.0163	5		5
Arsénico	mg/L	<0.008	< 0.008	< 0.008	<0.008	0.009	0.1159	0.1		0.2
Bario	mg/L	0.026	0.027	0.024	0.029	0.0291	0.0184	0.7		**
Berilio	mg/L	<0.0003	< 0.0003	< 0.0003	<0.0003	<0.0006	<0.0006	0.1		0.1
Boro	mg/L	0.298	0.284	0.24	0.286	0.3423	0.1678	1		5
Cadmio	mg/L	0.074	<b>0.087</b>	<b>0.127</b>	0.077	<b>0.0988</b>	0.0702	0.01		0.05
Cobre	mg/L	0.032	0.037	0.028	0.055	0.0309	0.0896	0.2		0.5

Cobalto	mg/L	<0.00 2	0.009	0.018	0.014	0.0155		0.05	1	
Cromo Total	mg/L	<0.00 4	< 0.004	< 0.004	< 0.004	<0.0005	0.0008	0.1	1	
Hierro	mg/L	0.29	0.28	0.14	0.21	0.2088	1.2717	5	**	
Litio	mg/L	0.121	0.109	0.088	0.09	0.85	0.0378	2.5	2.5	
Magnesio	mg/L	23.12	35.33	21.57	29.15	27.2761	13.9858	**	250	
Manganeso	mg/L	24.6	43.972	40.357	33.747	44.8504	14.741	0.2	0.2	
Mercurio	mg/L	0.000 3	< 0.0001	0.0002	0.0009	<0.0001	<0.0001	0.001	0.01	
Níquel	mg/L	<0.00 2	0.002	< 0.002	< 0.002	0.0049	0.0046	0.2	1	
Plomo	mg/L	0.04	< 0.01	< 0.01	0.02	0.016	0.1349	0.05	0.05	
Selenio	mg/L	<0.02	< 0.02	< 0.02	< 0.02	0.0008	0.0003	0.02	0.05	
Zinc	mg/L	7.208	6.402	8.74	8.002	6.734	9.286	2	24	
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 ml	5400	240	<1.8	170			1000	2000	1000
<i>Escherichia coli</i>	NMP/100 ml	5400	240	<1.8	79			1000	**	**
Huevos de Helminths	Huevo/L	<1	0	0	0	<1	0	1	1	**

**ANEXO 24**  
**RESULTADOS DE MONITOREO DE CALIDAD DEL AGUA DE LA ESTACIÓN EM-01 (2017)**

Parámetro	Unidad	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	D.S. N°010-2010-MINAM	
		EM-01	EM-01	EM-01	EM-01	EM-01	EM-01	Limite	
								En cualquier momento	Para el promedio anual
pH	-	7.6	8.1	7.2	7.9	8.42	8.84	6-9	6-9
Sólidos Totales en Suspensión	mg/L	9	< 5	< 5	5			50	25
Aceites y grasas	mg/L	<0.50	< 0.50	< 0.50	< 0.50	1.1	1	20	16
Cianuro Total	mg/L	<0.00 3	< 0.003	< 0.003	0.004	<0.002	<0.002	1	0.8
Arsénico Total	mg/L	<0.00 8	< 0.008	< 0.008	0.008	0.0129	0.0065	0.1	0.08
Cadmio Total	mg/L	0.033	0.047	0.118	0.036	-	0.0255	0.05	0.04
Cromo Hexavalente	mg/L	<0.00 4	< 0.01	< 0.01	< 0.01	<0.010	<0.010	0.1	0.08
Cobre Total	mg/L	0.007	< 0.003	0.004	0.008	0.0057	0.0014	0.5	0.4
Hierro Disuelto	mg/L	0.02	0.08	< 0.01	< 0.01	<0.0031	<0.0031	2	1.6
Plomo Total	mg/L	<0.01	< 0.01	0.02	<0.01	0.004	0.0019	0.2	0.16
Mercurio Total	mg/L	0.000 3	< 0.0001	0.0001	0.0009	<0.0001	<0.0001	0.002	0.0016
Zinc Total	mg/L	1.22	0.327	3.9	0.534	1.1032	3677	1.5	1.2

**ANEXO 24**  
**RESULTADOS DE MONITOREO DE CALIDAD DEL AGUA DE LA ESTACIÓN**  
**CAG-2 (2018)**

Parámetros	Unidad de medida	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	D1: Riego de vegetales		D2: Bebida de animales
		CAG-2	CAG-2	CAG-2	CAG-2	CAG-2	CAG-2	CAG-2	CAG-2	CAG-2	CAG-2	CAG-2	CAG-2	CAG-2	Agua para riego no restringido (c)	Agua para riego restringido
Aceite y Grasas	mg/L	<1.0	<0.50	<0.50	<0.50	<0.50	<0.50	<0.50	<0.50	<0.50	<0.50	<0.50	0.82	5		10
Bicarbonatos	mg/L	-	11	<1.22	3.66	12.2	12.2	8	12.2	32.94	12.2	12.2	1.22			
Cianuro Wad	mg/L	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	-	0.1		0.1
Cloruros	mg/L	0.52	3.71	0.99	0.6	2.85	4.14	5.23	4.94	8.12	6.16	5.11	-	500		**
Color (b)	UC	<5.0	<3.5	<3.5	<3.5	<3.5	<3.5	<3.5	<3.5	<3.5	<3.5	<3.5	-	100 (a)		100 (a)
Conductividad	( $\mu$ S/cm)	1589	2171	489	276	953	1822	1599	2029	1909	2280	1271	341	2500		5000
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO <sub>5</sub> )	mg/L	<2.0	3	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	7.4	3.8	2.2	6.3	15		15
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	18.5	<10.00	10	20	18	<10	25	13	37	22	12	22	40		40
Detergentes (SAAM)	mg/L	-	<0.025	<0.025	<0.025	<0.025	<0.025	<0.025	<0.025	<0.025	<0.025	<0.025	-	0.2		0.5
Fenoles	mg/L	<0.0010	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.002		0.01
Fluoruros	mg/L	<b>&lt;0.05</b>	0.911	0.255	0.091	0.651	1.562	1.235	<b>1.26</b>	1.294	1.008	0.572	-	1		**
Nitratos+ Nitritos	mg/L	0.502	4.94	1.04	0.65	2.41	5.19	4.77	24.59	4.78	3.43	2.31	1.61	100		100



Manganeso	mg/L	7.952	36.231	7.474	7.603	18.027	63.274	39.531	68.504	65.03	52.272	21.586	4.079	0.2	0.2	
Mercurio	mg/L	<0.0001	0.0004	0.0004	0.0001	<0.0001	<0.0001	0.0003	<0.0001	0.0006	<0.0001	<0.0001	0.0003	0.001	0.01	
Níquel	mg/L	0.0037	0.003	0.007	<0.002	<0.002	<0.002	0.014	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	0.2	1	
Plomo	mg/L	0.1645	<0.01	0.05	0.06	<0.01	0.05	<0.01	<0.01	0.02	<0.01	<0.01	0.05	0.05	0.05	
Selenio	mg/L	<0.0002	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	0.02	0.05	
Zinc	mg/L	11.0253	7.666	13.867	15.719	5.546	11.374	14.557	9.543	16.504	7.983	12.273	10.7	2	24	
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 ml	17	23	33	<1.8	<1.8	<1.8	<1.8	<1.8	<1.8	<1.8	<1.8	<1.8	1000	2000	1000
<i>Escherichia coli</i>	NMP/100 ml	2	23	33	<1.8	<1.8	<1.8	<1.8	<1.8	<1.8	<1.8	<1.8	-	1000	**	**
Huevos de Helmintos	Huevo/L	0	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	-	1	1	**

**ANEXO 25**  
**RESULTADOS DE MONITOREO DE CALIDAD DEL AGUA DE LA ESTACIÓN EM-01 (2018)**

Unidad													D.S. N°010-2010-MINAM	
	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Limite	
	EM-01	EM-01	EM-01	EM-01	EM-01	EM-01	EM-01	EM-01	EM-01	EM-01	EM-01	EM-01	En cualquier momento	Para el promedio anual
Unidad de pH	7.04	7.3	6.8	7.2	7.2	7.6	7.3	8	7.5	7.4	8.5	7.5	6-9	6-9
mg/L	-	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	6	<5	50	25
mg/L	<1.0	<0.50	<0.50	<0.50	<0.50	<0.50	<0.50	<0.50	<0.50	<0.50	<0.50	1.37	20	16
mg/L	<0.002	<0.003	<0.003	0.006	<0.003	<0.003	<0.003	<0.003	<0.003	<0.003	<0.003	0.009	1	0.8
mg/L	0.068	0.01	0.034	<0.008	<0.008	<0.008	<0.008	<0.008	<0.008	<0.008	<0.008	<0.008	0.1	0.08
mg/L	0.024	0.088	0.048	0.061	<0.00	<0.00	<0.00	0.014	0.01	0.005	0.03	0.011	0.05	0.04
mg/L	<0.010	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.1	0.08
mg/L	0.0251	<0.003	0.006	<0.003	0.013	0.005	<0.003	<0.003	0.018	<0.003	<0.003	0.022	0.5	0.4
mg/L	<0.003	0.01	0.02	0.06	0.01	<0.01	0.03	0.02	<0.01	0.04	<0.01	0.02	2	1.6
mg/L	0.011	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.2	0.16
mg/L	<0.0001	0.0002	0.0004	0.0002	<0.0001	0.0001	<0.0001	<0.0001	0.0009	0.0001	0.0002	0.0002	0.002	0.0016
mg/L	0.9366	1.924	0.725	0.283	1.035	0.017	0.031	0.171	0.32	0.302	0.416	0.168	1.5	1.2

**ANEXO 26**  
**RESULTADOS DE MONITOREO DE CALIDAD DEL AGUA DE LA ESTACIÓN**  
**CAG-2 (2019)**

Parámetros	Unidad de medida	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	D1: Riego de vegetales		D2: Bebida de animales
		CAG-2	CAG-2	CAG-2	CAG-2	CAG-2	Agua para riego no restringido (c)	Agua para riego restringido	Bebida de animales
Aceite y Grasas	mg/L	<0.50	<0.50	<0.50	<0.50	<0.50	5		10
Bicarbonatos	mg/L	<1	<1	<1	<1		518		**
Conductividad	(µS/cm)	698	777	51.3	1019	889	2500		5000
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO <sub>5</sub> )	mg/L	5.8	<2.0	<2.0	<2.0	3.2	15		15
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	13	17	17	<10	69	40		40
Fenoles	mg/L	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.002		0.01
Nitratos + Nitritos	mg/L	1.992	0.946	0.386	2	3.7	100		100
Nitritos	mg/L	0.032	0.026	0.006	0.05	0.11	10		10
Oxígeno Disuelto (valor mínimo)	mg/L	6.22	6.62	7.23	6.54	6.61	≥ 4		≥ 5
Potencial de Hidrógeno (pH)	Unidad de pH	5.9	6.7	8.3	6.9	6.8	6,5 – 8,5		6,5 – 8,4
Sulfatos	mg/L	394	457	129	580	421	1000		1000
Temperatura	°C	14.9	11.9	9.1	13.2	5.7	-		-
Aluminio	mg/L	2.41	2.02	0.62	1.23	2.01	5		5
Arsénico	mg/L	0.107	0.546	0.071	0.172	0.167	0.1		0.2
Bario	mg/L	0.018	0.018	0.008	0.017	0.021	0.7		**
Berilio	mg/L	0.0004	<0.0003	<0.0003	<0.0003	<0.0003	0.1		0.1
Boro	mg/L	0.063	0.07	0.02	0.118	0.115	1		5
Cadmio	mg/L	0.069	0.059	0.017	0.092	0.123	0.01		0.05
Cobre	mg/L	0.125	0.117	0.031	0.051	0.066	0.2		0.5
Cobalto	mg/L	0.011	0.004	<0.002	<0.002	0.005	0.05		1
Cromo Total	mg/L	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004	0.1		1
Hierro	mg/L	1.19	5.640	0.85	1.52	1.79	5		**
Litio	mg/L	0.022	0.027	0.011	0.022	<0.004	2.5		2.5
Magnesio	mg/L	8.8	11	3.09	11.5	9.95	**		250
Manganeso	mg/L	8.365	11.344	2.786	17.007	13.086	0.2		0.2
Mercurio	mg/L	0.0007	<0.0001	0.0001	<0.0001	0.0003	0.001		0.01
Níquel	mg/L	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	0.2		1
Plomo	mg/L	0.2	0.27	0.05	0.17	0.31	0.05		0.05
Selenio	mg/L	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	0.02		0.05

Zinc	mg/L	11.82 5	9.678	2.61	11.047	18.198	2		24
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 ml	<1.8	5400.00 0	49	7.8	16000	1000	2000	1000
Coliformes Totales	NMP/100 ml	13	28000	130	540	35000	**	**	**

**ANEXO 27**  
**RESULTADOS DE MONITOREO DE CALIDAD DEL AGUA DE LA ESTACIÓN EM-01 (2019)**

Parámetro	Unidad	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	D.S. N° 010- 2010 -MINAM
		EM-01	EM-01	EM-01	EM-01	EM-01	Límite en cualquier momento
Potencial de Hidrógeno (pH)	Unidad de pH	7.5	7.8	8.2	7.1	7.2	6.0 - 9.0
Caudal	m³/día	632.2	316.1	403.1	341.05	352.6	**
Cianuro Total	mg/L	<0.003	<0.005	0.007	<0.005	<0.005	1
Cromo Hexavalente	mg/L	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.1
Sólidos Totales Suspendidos	mg/L	<5	7	<5	<5	<5	50
Aceites y Grasas	mg/L	<0.50	0.52	<0.50	<0.50	<0.50	20
Mercurio Total (Hg)	mg/L	0.0003	0.0001	0.0002	<0.0001	0.0003	0.002
Arsénico Total (As)	mg/L	<0.008	0.062	<0.008	0.042	<0.008	0.1
Cadmio Total (Cd)	mg/L	0.066	0.075	0.099	1.541	0.378	0.05
Cobre Total (Cu)	mg/L	0.005	0.017	0.004	0.014	0.006	0.5
Hierro Disuelto (Fe)	mg/L	0.02	0.76	<0.01	<0.01	0.82	2
Plomo Total (Pb)	mg/L	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.2
Zinc Total (Zn)	mg/L	5.628	1.872	3.249	87.698	5.223	1.5

## ANEXO 28

### Plano de la ubicación de las estaciones de monitoreo de la calidad agua EM - 1y CAG - 2.

