

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA HIDRÁULICA



TESIS

**“ESTIMACIÓN DEL POTENCIAL HÍDRICO SUBTERRÁNEO DEL
SECTOR LA MOLINA, BAÑOS DEL INCA, CAJAMARCA”**

Para optar el título profesional de:

INGENIERO HIDRÁULICO

Autor:

Bach. JENNY LORENA TERAN ROMERO

Asesor:

Dr. Ing. GASPAR V. MÉNDEZ CRUZ

CAJAMARCA – PERU

2023



CONSTANCIA DE INFORME DE ORIGINALIDAD

- FACULTAD DE INGENIERÍA -

1. Investigador: JENNY LORENA TERAN ROMERO
DNI: 73528806
Escuela Profesional: INGENIERÍA HIDRÁULICA
2. Asesor: Dr. GASPAR VIRILO MÉNDEZ CRUZ
Facultad: INGENIERÍA
3. Grado académico o título profesional
 Bachiller Título profesional Segunda especialidad
 Maestro Doctor
4. Tipo de Investigación:
 Tesis Trabajo de investigación Trabajo de suficiencia profesional
 Trabajo académico
5. Título de Trabajo de Investigación:
"ESTIMACIÓN DEL POTENCIAL HÍDRICO SUBTERRÁNEO DEL SECTOR LA MOLINA,
BAÑOS DEL INCA, CAJAMARCA"
6. Fecha de evaluación: 19 de junio del 2024
7. Software antiplagio: TURNITIN URKUND (OURIGINAL) (*)
8. Porcentaje de Informe de Similitud: 19% (diecinueve por ciento)
9. Código Documento: oid:3117:361972175
10. Resultado de la Evaluación de Similitud:
 APROBADO PARA LEVANTAMIENTO DE OBSERVACIONES O DESAPROBADO

Fecha Emisión: 19 de junio 2024

Dr. Ing^o GASPAR VIRILO MENDEZ CRUZ
DNI: 26631950
ASESOR



Firmado digitalmente por:
FERNANDEZ LEON Yvonne
Katherine FAU 20149258601 soft
Motivo: Soy el autor del
documento
Fecha: 19/06/2024 21:25:11-0500

UNIDAD DE INVESTIGACIÓN FI

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por permitirme llegar hasta aquí, fortalecerme y poder superar todos los obstáculos a lo largo de mi vida. Especial agradecimiento a mi Asesor de Tesis el Dr. Ing. Gaspar Méndez Cruz, al Ing. Marino Fuentes, por el soporte durante la realización de este logro tan significativo en mi crecimiento profesional.

A mis padres, hermanos, familiares por su apoyo incondicional y amistades.

DEDICATORIA

A Dios, por haberme dado la vida y permitirme llegar hasta este momento tan importante de mi formación profesional. A mis padres; Celinda y Sebastián, por saber guiarme para salir adelante y apoyarme en realizar mí sueño, a mis hermanos; Jessica, Veronica, Jhovana, Edgar, Danitza, Ana, que siempre son el soporte en mi vida.

CONTENIDO

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN	10
1.1 Planteamiento del problema	11
1.2 Justificación de la investigación	12
1.3 Alcances o delimitación de la investigación	13
1.5 Limitaciones	13
1.6 Objetivos	13
1.6.1 Objetivo general	13
1.6.2 Objetivos específicos	13
CAPÍTULO II: METODOLOGIA	14
CAPÍTULO III: MARCO TEÓRICO	15
2.1 ANTECEDENTES TEÓRICOS	15
2.1.1 Parámetros hidrodinámicos de los acuíferos	18
2.1.2 Piezometría	21
2.1.3 Explotación de aguas subterráneas	22
2.1.4 Modelo Matemático Modflow	22
2.1.5 Model Muse	42
2.1.6 AQVTESOLV	43
4.8. Potencial Hídrico Subterráneo	45
CAPÍTULO III. MATERIALES Y METODOS	47
3.1 Ubicación: De la zona de estudio	47
3.2 Equipos y materiales utilizados	47
3.3 Metodología	48
a. Recopilación de información	48
b. Trabajo de campo	48
c. Etapa de gabinete	49
d. Realización del modelamiento hidrológico Mod Flow	51
e. Determinación de Infiltración en Hec – Hms	52
4.8. Potencial Hídrico Subterráneo	52
CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSION	53

4.1. RESULTADOS	53
4.1.1 Determinar la ubicación de pozos en funcionamiento en la zona de estudio. (cota, coordenadas)	53
4.1.2 Estimación de las características hidrodinámicas del acuífero en cada pozo a través de la prueba de bombeo	53
4.2. Cálculos de estudio Hidrológico	63
4.3.1 Cálculo de caudal	63
4.3.2 Aforo del rio Mashcon:	64
4.3. Cálculo de la precipitación media	65
4.4. Cálculo de caudal de la cuenca	65
4.5. Cálculo de Infiltración	65
4.6. Datos geológicos	67
4.7. Aplicación del programa Model Mouse	67
4.8. Potencial Hídrico Subterráneo	74
4.9. DISCUSION DE RESULTADOS	75
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	79
CAPITULO VI. BIBLIOGRAFÍA	80
CAPÍTULO VII. ANEXOS	84

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Rango de valores del coeficiente de permeabilidad en suelos.	19
Tabla 2. Clasificación de Conductividad Hidráulica.....	19
Tabla 3. Conductividad según textura y estructura.	20
Tabla 4. Coeficiente de almacenamiento.....	21
Tabla 5. Características formación Farrat	30
Tabla 6. Características formación Huambos	31
Tabla 7. Características depósitos cuaternarios.....	31
Tabla 8. Clasificación de materiales sedimentarios.....	21
Tabla 9. Características de almacenamiento de las rocas.....	22
Tabla 10. Calculo de coeficiente de escorrentía.....	38
Tabla 11. Ubicación geográfica de los pozos en estudio.....	53
Tabla 12. Transmisividad en La Molina.	53
Tabla 13. Coordenadas Pozo N°01.....	54
Tabla 14. Coordenadas del Pozo N.° 02.	56
Tabla 15. Coordenadas Pozo N°03.....	58
Tabla 16. Coordenadas Pozo N°04.....	60
Tabla 17. Conductividad Hidráulica La Molina.....	62
Tabla 18. Porosidad Efectiva en La Molina	63
Tabla 19. Nivel estático de los pozos.....	Error! Bookmark not defined.
Tabla 20. Cálculo de Caudal	63
Tabla 21. Cálculo de Velocidad	64
Tabla 22. Caudal Aforo Rio Mashcon.....	64
Tabla 23. Características Hidrogeológicas	67
Tabla 24. Parámetros hidráulicos	71

INDICE DE FIGURAS

Gráfico 1.Patrón de Theis	17
Gráfico 2. Representación de flujo de agua subterránea. Ley de Darcy	23
Gráfico 3. Ejemplo de modelo hidrogeológico conceptual	25
Gráfico 4. Perfil Estratigráfico geológico de Cajamarca.....	29
Gráfico 5. Precipitacion areal.....	34
Gráfico 6. Valores coeficiente de escorrentía.....	37
Gráfico 7. Curvas IDF de Cuenca de estudio	Error! Bookmark not defined.
Gráfico 8. Temperatura	40
Gráfico 9. Acuífero.....	44
Gráfico 10. Prueba de bombeo de Pozo N°01	54
Gráfico 11. Prueba de bombeo Pozo N°02.....	56
Gráfico 12. Valor de la Transmisividad	56
Gráfico 13. Prueba de bombeo Pozo N°03.....	58
Gráfico 14. Valor de la Transmisividad Pozo N°03.....	58
Gráfico 15. Prueba de bombeo PozoN°04.....	60
Gráfico 16. Valor de la Transmisividad	60
Gráfico 17. Representación Gráfica del Aforo del Rio Mashcon.....	65
Gráfico 18. Cuenca de estudio	66
Gráfico 19. Grafico de cálculo de infiltración.....	66
Gráfico 20. Resultados de Infiltración en la cuenca de estudio.....	67
Gráfico 21. Ubicación de los pozos en la zona de estudio.....	68
Gráfico 22. Levantamiento topográfico de la zona de estudio en Google Earth.....	68
Gráfico 23. Introducción de Shapefile de contorno de área de trabajo.....	68
Gráfico 24. Discretizacion de celdas.....	69
Gráfico 25. Implementacion de topografía.....	70
Gráfico 26. Dominio de modelo y Celdas activas.....	70
Gráfico 27. Introducción de datos de recarga (Infiltración)	71
Gráfico 28. Conductancia unidades hidrogeológicas	72
Gráfico 29. Condiciones de borde del modelo	73
Gráfico 30. Simulación de programa	73
Gráfico 31. Perfil A-A´	73
Gráfico 32. Perfil B-B´	73

INDICE DE MAPAS

Mapa. 1. Mapa geológico	28
Mapa. 2. Curva Numero	36
Mapa. 3. Mapa de Pendiente.....	37
Mapa. 4. Precipitación Método de Thiessen.....	39
Mapa. 6. Cobertura vegetal y uso de suelo	41
Mapa. 7. Tipo de suelo en área de estudio.....	42
Mapa. 8. Mapa de ubicación de la zona de estudio	47
Mapa. 9. Perfiles de Terreno	47

RESUMEN

La presente investigación trata de estimar el potencial hídrico subterráneo del sector La Molina, distrito de Baños del Inca, provincia y departamento de Cajamarca, la zona de estudio está definida en un área de 685.163 m². En esta zona se realizaron 4 pruebas de bombeo en pozos perforados y excavados, con profundidades que van desde 3.00 m hasta 8.00 m aproximadamente. Durante la visita a campo se realizaron lecturas del nivel freático, mediante las pruebas de bombeo correspondiente; permitió obtener información de las características hidrodinámicas, con el fin de poder determinar el potencial hídrico subterráneo e analizar de manera breve las entradas y salida de flujo del área en estudio mediante el modelamiento en el programa modelo mouse. La conductividad hidráulica (K) se determinó utilizando el método de Theis, en el acuífero los cuales varían desde 0.12 m/día hasta 0.0491 m/día, asimismo la transmisividad se determinó con el mismo método en el programa AQTESOLV, presentando un valor entre 5.79 m² /día y 15.09 m² /día, concluyendo ser una zona con una permeabilidad de media a baja ,con capacidad de ceder agua a la superficie, el coeficiente de almacenamiento varia entre 0.01 y 0.033 lo que implica ser un acuífero libre, y una porosidad efectiva varia entre 0.032 y 0.0706. El análisis en Modflow mostró que las entradas en la zona de estudio fueron de 333.4855 litros y las salidas fueron de 333.4858 litros, con una diferencia negativa de $-3.0237 \cdot 10^{-4}$ litros, indicando una ligera sobreexplotación del acuífero el valor obtenido fue debido al tamaño pequeño del área de análisis. El potencial hídrico calculado para la zona de estudio es de 225096.553 m³.

Palabras Claves:

Acuífero: Un acuífero es una formación geológica que puede almacenar y liberar agua. Está formado por una o más capas de rocas permeables que acumulan agua en sus poros o grietas.

Agua subterránea: es el agua que se encuentra bajo la superficie de la Tierra, en los espacios entre las rocas y el suelo.

Nivel de agua: Es la altura o elevación de la superficie libre de un cuerpo de agua

Transmisividad: Es la altura o elevación de la superficie libre de un cuerpo de agua

Porosidad efectiva: Es la altura o elevación de la superficie libre de un cuerpo de agua.

ABSTRAC

The present investigation tries to estimate the underground water potential of the La Molina sector, district of Baños del Inca, province and department of Cajamarca, the study area is defined in an area of 685,163 m². In this area, 4 pumping tests were carried out in drilled and excavated wells, with depths ranging from approximately 3.00 m to 8.00 m. During the field visit, readings of the water table were carried out, through the corresponding pumping tests; It made it possible to obtain information on the hydrodynamic characteristics, in order to determine the underground water potential and briefly analyze the flow inputs and outputs of the area under study through modeling in the mouse model program. The hydraulic conductivity (K) is determined using the Theis method, in the aquifer which varies from 0.12 m/day to 0.0491 m/day, likewise the transmissivity is determined with the same method in the AQTESOLV program, presenting a value . between 5.79 m² /day and 15.09 m² /day, concluding that it is an area with medium to low permeability, with the capacity to transfer water to the surface, the storage coefficient varies between 0.01 and 0.033, which implies being a free aquifer, and An effective porosity varies between 0.032 and 0.0706. The analysis in Modflow showed that the inputs to the study area were 333.4855 liters and the outputs were 333.4858 liters, with a negative difference of $-3.0237 \cdot 10^{-4}$ liters, indicating a slight overexploitation of the aquifer. The value obtained was due to the small size of the analysis area. The water potential calculated for the study area is 225096,553 m³.

Aquifer: An aquifer is a geological formation that can store and release water. It is formed by one or more layers of permeable rocks that accumulate water in their pores or cracks.

Groundwater: is the water found beneath the Earth's surface, in the spaces between rocks and soil.

Water level: It is the height or elevation of the free surface of a body of water.

Transmissivity: It is the height or elevation of the free surface of a body of water.

Effective porosity: It is the height or elevation of the free surface of a body of water.

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

En la región Cajamarca el recurso hídrico superficial es limitado en muchas zonas lo que genera la explotación de agua subterránea de forma inadecuada sin tener en cuenta el impacto perjudicial en el medio ambiente y en la población por ello se hace más difícil obtener el recurso en condiciones aptas para el consumo y uso.

Esta tesis consiste en el estudio del estado actual del acuífero mediante las pruebas de bombeo realizadas en la zona de La Molina, para luego ser modelada mediante el programa Modflow, donde se determinó el potencial hídrico subterráneo, se identificó 4 pozos para la realización de pruebas de bombeo con el fin de obtener las características hidrodinámicas del acuífero, obteniendo un valor del cual se puede concluir que hay una sobreexplotación de acuíferos en la zona de estudio.

Actualmente el agua subterránea está siendo afectado por la población, agravando cada vez más su disponibilidad (cantidad y calidad), es necesario mencionar que la expansión poblacional en zonas vulnerables a desastres naturales ha generado incremento de índice de pobreza por la carencia de servicios básicos en cada hogar, dentro de los servicios más importantes y carentes en las zonas aledañas en la región Cajamarca es el servicio de agua potable, que por la distribución inadecuada del agua superficial ha contribuido a que las personas en su gran mayoría busquen nuevas alternativas de abastecimiento de agua para la satisfacción de necesidades, dentro de ellas está la extracción de agua subterránea de forma inadecuado.

La importancia de las aguas subterráneas radica en la disponibilidad de agua a largo plazo, calidad natural para suministro de agua potable y un servicio a bajo costo que favorece a regiones con ausencia de sistemas de abastecimiento, por lo que se vuelve esencial monitorear y preservar estos recursos y también proteger su calidad (Herrera, 2017; Tiwari and Kushwaha, 2020).

Sin embargo, en diferentes regiones del mundo las reservas de agua subterránea están bajo una intensa presión, estas zonas se ven afectadas por las distintas actividades que se realizan en el territorio, muchos de los principales acuíferos del mundo están experimentando aceleradas tasas de reducción en sus reservas debido a la creciente demanda de agua (Roy et al., 2020).

1.1 Planteamiento del problema

1.1.1 Contextualización del problema:

La Región Cajamarca posee 13 provincias y 127 distritos siendo la zona de estudio en el distrito de Baños del Inca, sector La Molina; en la región los cambios sociales ,económicos ,industriales en la región ha causado impacto en la sociedad como la expansión poblacional en zonas vulnerables a desastres naturales generando incremento de índice de pobreza por la carencia de servicios básicos en cada hogar, dentro de los servicios más importantes y carentes en las zonas aledañas en la región es el servicio de agua potable, que por la explotación inadecuada del agua superficial ha contribuido a que las personas en su gran mayoría busquen nuevas alternativas de abastecimiento de agua para la satisfacción de necesidades, dentro de ellas está la extracción de agua subterránea de forma inadecuado.

En el sector La Molina se tiene una población, según el catastro 2016 del distrito Baños del Inca, de 4460 personas ,el cual el servicio de agua es limitado por ello es que la gran mayoría de viviendas se han concentrado en construcción de pozos y estos cada vez se ven afectados por el uso racional y a medida que hay incremento demográfico habrá aumento de necesidad de contar con el recurso esencial para vivir y esto a la vez conlleva a que cada hogar construya uno para poder satisfacer sus necesidades básicas, obviando la gestión sostenible de las aguas subterráneas. Asimismo, existe carencia de datos actualizados acerca de la extracción de depósitos de agua subterránea, ya que no existe una actualización de inventario de pozos subterráneos en la Autoridad Nacional del Agua, esto conlleva al aumento considerable de pozos informales y por ende al posible descenso del nivel freático a niveles críticos por sobreexplotación del acuífero que en el futuro pondrán en riesgo el servicio fundamental para la vida y la salud de las personas.

1.1.2 Descripción del problema

En el sector La Molina no tiene un sistema de abastecimiento de agua potable, esto conlleva a suministrarse con pozos construidos en cada vivienda lo cual implica un riesgo de sobreexplotación del acuífero.

1.1.3 Formulación del problema

El recurso hídrico subterráneo en La Molina está siendo explotado sin un control ambiental e hídrico mediante la construcción de pozos subterráneos para el abastecimiento de cada hogar, para ello es necesario saber el potencial hídrico subterráneo y determinar si hay o no explotación en ese acuífero, con el fin de dar a conocer a las entidades como el ANA la importancia de incidir en investigar este tema de manera más detallada. Para ello en esta investigación se obtendrá los parámetros hidrodinámicos de los 04 pozos estudiados con el fin de obtener información del comportamiento del flujo como la capacidad de almacenamiento, permeabilidad, así como saber si hay o no explotación del acuífero ubicado en la zona de estudio. Para obtener estos resultados se realizaron pruebas de bombe de recuperación y descenso, modelamiento en Modflow.

1.2 Justificación de la investigación

1.2.1 Justificación Científica

La escasez del recurso hídrico subterráneo es un problema local y mundial. La importancia de conocer el potencial hídrico subterráneo radica en conocer el comportamiento del flujo de acuerdo a características hidrológicas y geológicas, y el modelamiento en Modflow, saber si hay o no explotación en el acuífero.

1.2.2 Justificación Técnica Practica

El uso de los softwares permite la facilidad de obtener información de cualquier índole AQT SOLV, permitió la obtención de parámetros hidrodinámicos de los pozos a partir de las pruebas de bombeo.

1.2.3 Justificación institucional y personal

Mediante esta investigación se permitirá que la entidad del ANA pueda incidir en la investigación de un inventario de pozos subterráneos en la zona con el de planificar una explotación de acuíferos de manera responsable y adecuada.

El presente trabajo de investigación tiene como especial interés motivacional obtener el grado de Ingeniero Hidráulico de la UNC y la razón que conlleva a realizar la presente investigación es aportar conocimientos e información para investigaciones futuras.

1.3 Alcances o delimitación de la investigación

La presente investigación en el Sector La Molina se calculara el rendiimienti de las aguas subterránea 2022.

desarrollará mediante modelamiento matemático MODFLOW lo cual permitirá determinar el estado actual del sistema acuífero, en base a la simulación realizada luego de haber obtenido los datos de campo de los pozos en estudio seleccionados; parámetros de permeabilidad, caudal explotado y piezometrías de los pozos que serán adquiridos en campo, para luego ser cargado en el programa y dar como resultado un caudal del acuífero que permitirá visualizar si hay o no sobreexplotación de este.

La investigación estará dada por el inventario de información hidrogeológica que se hará en la zona de estudio ya que no se cuenta con ningún registro en el ANA.

1.5 Limitaciones

No se tiene registro de inventario de información de pozos en el ANA 2022.

1.6 Objetivos

1.6.1 Objetivo general

- ✓ Estimar el rendimiento hídrico subterráneo en base a pruebas de bombeo del sector la molina Baños del Inca, Cajamarca.2022.

1.6.2 Objetivos específicos

- ✓ Determinar la ubicación de pozos en funcionamiento en la zona de estudio. (cota, coordenadas)
- ✓ Seleccionar 4 pozos para realizar la investigación de estudio.
- ✓ Estimar e interpretar las características hidrodinámicas en cada pozo a través de la prueba de bombeo.
- ✓ Describir la estratigrafía de la zona de estudio.
- ✓ Describir las entradas y salidas del flujo subterráneo en el área de estudio mediante Software Mod Flow.

CAPÍTULO II: METODOLOGIA

2.1 Tipo, nivel, diseño y método de investigación

Tipo. La presente investigación es de tipo aplicada porque utiliza la guía metodológica de MODFLOW como metodología para valorar la influencia del modelamiento de los niveles de aguas subterránea.

Nivel. La investigación es explicativa, puesto que se explica el comportamiento de una variable con respecto a otras, es decir, relación causa efecto. Además, se describe detalladamente como se obtiene los parámetros de entrada para la realización del modelo hidrológico

Diseño. El diseño de investigación será experimental.

Método de investigación. El método para emplear es el método cuantitativo.

CAPÍTULO III: MARCO TEÓRICO

2.1 ANTECEDENTES TEÓRICOS

En el desarrollo de esta investigación se utilizaron fuentes mencionadas a continuación.

(Vargas, 2022) en su investigación efectuó la evaluación hidráulica y estimación del potencial hídrico para el abastecimiento del agua potable en La Asada Buena Vista De Liberia, Guanacaste, Costa Rica, se realizó mediante recopilación de información hidrológica (área de cuenca, caudal de cuenca, infiltración, pruebas de bombeo, parámetros hidrodinámicos de pozos) y geológica (unidades hidrogeológicas), donde se determinó que el área de influencia de estudio cuenta con un potencial hídrico subterráneo de 104321431.100 m³.

(Calderón, 2021) en su investigación se analizó el potencial hídrico subterráneo de la cuenca hidrográfica del río Cañas, mediante estudios geológicos, pruebas de infiltración, aforos diferenciales, muestreo de suelos, parámetros hidráulicos del acuífero partir del balance hídrico de suelos, se determinó que la recarga potencial para toda la zona de estudio es de 91 935 331.13 m³/año ó lo que es lo mismo un volumen total de 2915.25 l/s. Esto representa un 18.86% de la precipitación total en la zona de estudio (1721.4 mm/año ó 15 456.90 l/s).

(Tito, 2021) en su investigación aplicó el modelo matemático Modflow, donde obtuvo las características hidrodinámicas del acuífero mediante información del ANA con el que se determinó el estado actual del sistema acuífero con una sobreexplotación de 657,108.00 litros, en base a la simulación realizada.

(Domingo, 2019) en su investigación, evaluó los efectos hidrodinámicos acontecidos en los últimos años en los campos de Cartagena donde hubo sobreexplotación de acuíferos que en épocas de sequía era muy notoria, se utilizó el software MODFLOW para el modelamiento, donde se obtuvo que el equilibrio hídrico que existe en los acuíferos estudiados con una extracción de 90 hm³/año y unas entradas pluviométricas de 35 mm/año, por lo que ocurre una favorable recuperación de los niveles de agua, debido a que el caudal de explotación es mayor que el caudal explotado.

(Diaz, 2015) en su investigación aplicó el modelo matemático Visual MODFLOW, donde visualizó el comportamiento del acuífero. Como resultado se obtuvo que el caudal que se podría extraer del acuífero del valle del río Lurín sin producir un descenso acelerado es de 46516.32 m³/día, equivalente a un caudal instantáneo de 0.53 m³/seg.

(Saavedra, 2013) en su investigación, evaluó el potencial del simulador Processing MODFLOW para la modelación acoplada, hidráulica y de calidad del agua para humedales. (Gomez, 2013), en su investigación “Aplicación Del Modelo Visual Modflow para la Evaluación de la Hidrodinámica del acuífero subyacente a un vertedero de residuos sólidos urbanos”, concluye que mediante la aplicación de este software se logró identificar el perfil estratigráfico de la zona estudiada; asimismo se logró identificar volumen estimado de lixiviados generados en el vertedero de residuos es de 9862 m³/años así como la conductividad que puede ser conducido por los estratos de los contaminantes con un valor de a (4.35 a 8.74 m/día).

(Huaccha, 2020), menciona que en su investigación Aplicación de Modflow 6 con Model Mouse 4 para el modelamiento del flujo subterráneo de la microcuenca Macari – Melgar, se obtuvo el balance hídrico en la zona de estudio siendo el único ingreso de agua al acuífero por recarga mediante la infiltración con un total de 1.4971 m³/s, y la descarga que por drenaje (flujo base) que tiene un promedio 0.9474 m³/s, mientras que la descarga por evapotranspiración (consumo de agua por la vegetación), es de 0.5498 m³/s, permitiendo explicar que en la zona estudiada no existe cantidad de bofedales, plantas solo pastizales donde el flujo no es aprovechado en gran cantidad donde el porcentaje mayor se va por el drenaje.

2.2 BASES TEÓRICAS

2.2.1 Aguas subterráneas

Es aquella parte del agua existente bajo la superficie terrestre que puede ser colectada mediante perforaciones, túneles o galerías de drenaje o la que fluye naturalmente hacia la superficie a través de manantiales o filtraciones a los cursos fluviales. (Galvez, 2011)

2.2.2 Acuíferos

Son toda formación geológica que acumula y permite la circulación de agua en el suelo a través de sus poros y/o grietas. Pueden ser muy variados y formarse por materiales que van desde las gravas de río a las calizas altamente fracturadas, areniscas porosas poco cementadas, arenas de playa, algunas formaciones volcánicas, etc. (Custodio, 1983)

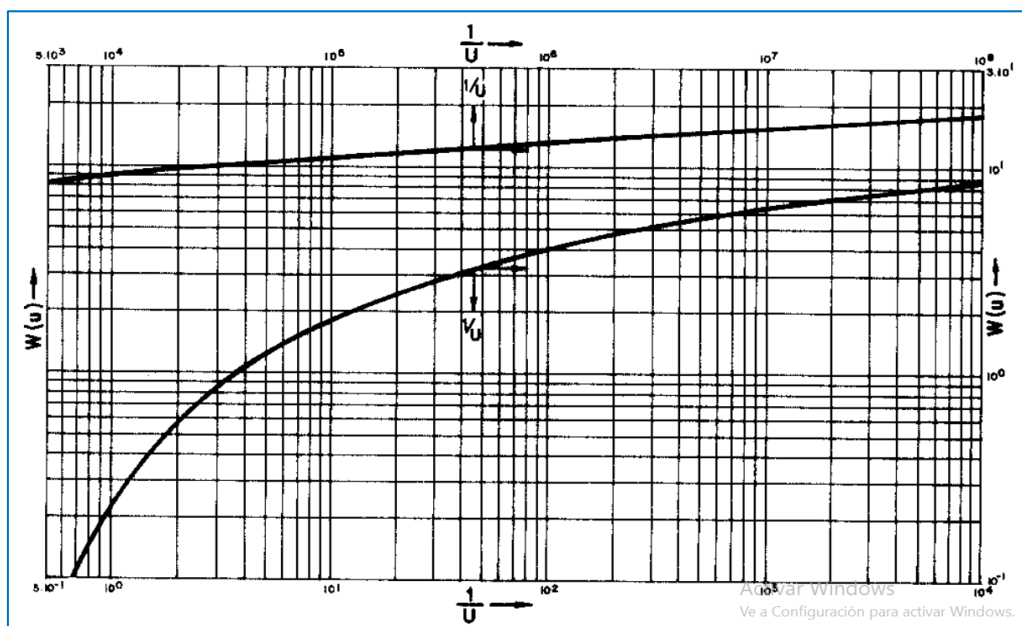
Los acuíferos según (Gálvez, 2011) lo clasifica en:

- **Acuíferos libres.** Son aquellos en los que el nivel de agua se encuentra por debajo del techo de la formación permeable. Liberan agua por desaturación, es decir, el agua que ceden es la procedente del drenaje de sus poros.
- **Acuíferos confinados (cautivos).** Son aquellos cubiertos por una capa impermeable confinante. El nivel de agua en los acuíferos cautivos está por encima del techo de la formación acuífera. El agua que ceden procede de su expansión y de la descompresión de la estructura permeable vertical, cuando se produce la depresión en el acuífero.
- **Acuíferos semiconfinados.** Se pueden considerar un caso particular de los acuíferos cautivos, en los que muro, techo o ambos no son totalmente impermeables, sino que permiten una circulación vertical del agua.

2.2.3 Prueba de bombeo

La prueba de bombeo radica en observar los efectos provocados en la superficie freática o piezométrica del acuífero por la extracción de un caudal determinado. Los efectos (abatimientos) se observan y se registran en los pozos de bombeo y en el pozo de control (piezómetro). En esta prueba se determina los parámetros hidráulicos (conductividad hidráulica, coeficiente de almacenamiento y conductividad hidráulica) para ello es necesario analizar las pruebas de ascenso y descenso. Además, es necesario tener en cuenta el patrón de Theis que se utilizara cuando el caudal de bombeo Q es constante. **CARRASCO (1988).**

Gráfico 1. Patrón de Theis.



Fuente: Carrasco (1988).

2.1.1 Parámetros hidrodinámicos de los acuíferos.

Mediante la prueba de bombeo y otros métodos se calcula los parámetros siguientes.

- **Transmisividad (T)**

La transmisividad o transmisibilidad de un sistema acuífero, es la que mide la cantidad de agua, por unidad de ancho, que puede ser transmitida horizontalmente a través del espesor saturado de un acuífero, con un gradiente hidráulico igual a 1 (unitario). Se obtiene haciendo el producto del espesor saturado, b , y su conductividad hidráulica, K , y tiene dimensiones de $[L^2 T^{-1}]$ (Espinoza, 2004).

La ecuación de Theis - Jacob, se basa en determinar la Transmisividad en función del caudal de bombeo y la Pendiente de la recta tiempo – abatimiento (rebatimiento) que se obtiene en la gráfica mediante la prueba de bombeo.

$$T = 0.183 * Q C (1)$$

Donde:

T: Transmisividad ($m^2 / día$)

Q: Caudal de bombeo constante ($m^3/hora$)

C: Pendiente de la recta tiempo – abatimiento (rebatimiento), en un ciclo logarítmico. (m).

- **Conductividad hidráulica (k)**

Es conocida como permeabilidad hidráulica, se conceptúa como el caudal de agua que circula por una sección de acuífero y representa la capacidad de un medio poroso para admitir el movimiento del agua a través de él por unidad de área transversal y se expresa como:

$$K = k_0 * \frac{\gamma}{\mu}$$

Donde:

γ = Peso específico del agua

μ = Viscosidad cinemática del agua

k_0 = Permeabilidad intrínseca del suelo: $k_0 = C d_2$

C = Factor forma; depende de la roca (estratificación, textura, porosidad, etc)

d_2 = Diámetro medio curva granulométrica corresponde al paso del 50%

El coeficiente de permeabilidad describe la ecuación de la Ley de Darcy, esta ley fue descubierta en el año 1856 por el científico Darcy quien investigó las características del flujo de agua que se describe a continuación. (Vélez, 1999).

$$V = \frac{K(h_1 - h_2)}{L}$$

Donde:

V = Velocidad del flujo *m/día*.

h_1 = Presión en el punto de entrada en *mca*.

h_2 = Presión en el punto de salida en *mca*.

L = Longitud de la sección del conducto en *m*.

K = Permeabilidad.

Tabla 1. Rango de valores del coeficiente de permeabilidad en suelos.

TIPO DE SUELO	K (cm/seg)	K (m/día)
Grava mal graduada (GP)	>1	>864
Grava uniforme (GP)	2x10 ⁻¹ – 1	172.8 – 864
Grava bien graduada (GW)	5x10 ⁻² - 3x10 ⁻¹	43.2 - 259.2
Arena uniforme (SP)	5x10 ⁻³ - 2x10 ⁻¹	4.32 – 172.8
Arena bien graduada (SW)	1x10 ⁻³ - 1x10 ⁻¹	0.864 - 86.4
Arena limosa (SM)	1x10 ⁻³ - 5x10 ⁻³	0.864 – 4.32
Arena Arcillosa (SC)	1x10 ⁻⁴ - 1x10 ⁻³	0.0864 – 0.864
Limo de baja plasticidad (ML)	5x10 ⁻⁵ - 1x10 ⁻⁴	0.0432 – 0.0864
Arcillas de baja plasticidad (CL)	1x10 ⁻⁵ - 1x10 ⁻⁸	0.00864 – 0.000009

Fuente: Gonzales, V. L. (2002).

En una prueba de bombeo la conductividad permite clasificar de la siguiente manera

Tabla 2. Clasificación de Conductividad Hidráulica.

CLASE	K(m/día)
Muy Baja	Menor a 0.05
Baja	Entre 0.05 y 0.3
Media	Entre 0.3 y 1
Alta	Entre 1 y 5
Muy Alta	Mayor a 5

Fuente: Pizarro, C. F. (1978).

- Cabe mencionar que la clasificación de la conductividad según la textura y estructura del

suelo se explica a continuación:

Tabla 3. Conductividad según textura y estructura.

TEXTURA Y ESTRUCTURA	K (m/día)
Arena gruesa con grava	10 – 50
Franco arenoso, arena fina	1 – 5
Franco arcilloso bien estructurado	1 – 3
Franco arenoso muy fino	0.5 – 2
Arcilla con grietas	0.5 – 2
Arena muy fina	0.2 – 0.5
Franco arcillo, arcilloso mal estructurado	0.02 – 0.2
Arcilla compacta	<0.002

Fuente: Martínez, B. J. (1986).

- **Coefficiente de almacenamiento (S)**

Es el volumen de agua tomada del almacenamiento de este, por unidad de área transversal cuando se produce un cambio unitario de carga, en los acuíferos de nivel freático, S es equivalente al rendimiento específico del material desecado durante el bombeo. El coeficiente de almacenamiento es un término adimensional. (Johnson. D, 1975)

Tabla 4. Coeficiente de almacenamiento

ACUIFERO	COEFICIENTE DE ALMACENAMIENTO
Freatico o libre	0.01 - 0.35
Cautivo	0.00001 - 0.001

- **Porosidad efectiva**

Porosidad efectiva definida como la cantidad de espacios porosos interconectados que permiten la transmisión de fluidos en una formación saturada. Se expresa como el porcentaje del volumen total de la formación que es capaz de transmitir fluidos. La porosidad efectiva (m_e) es crucial en hidrogeología, ya que indica la cantidad de agua que un acuífero puede liberar por gravedad, es decir, el agua verdaderamente utilizable. Esta medida es fundamental para comprender la capacidad de explotación de agua de un acuífero.

2.1.2 Piezometría

Es la carga hidráulica sobre la elevación del punto donde se colocó el piezómetro más la columna de presión sobre el punto. Las lecturas pueden realizarse con equipos simples y fáciles de confeccionar. Para la medición generalmente se emplean cintas mojables, sondas acústicas o sondas eléctrica. (Salgado, 2002).

- **La cinta mojable** consiste en una wincha metálica o de género, graduada y con un peso en su extremo la cual es introducida dentro del tubo hasta una profundidad superior a la cual se encuentra el agua. Se registra la lectura en el punto superior, se extrae la cinta y por diferencia con respecto al punto en que la cinta quedo mojada se obtiene la distancia desde el nivel freático al punto de referencia. Para obtener la profundidad neta del agua, a la lectura anterior se debe restar el largo del tubo por sobre el nivel del suelo. (Salgado, 2002).
- **La sonda acústica**, consiste en un pequeño trozo de tubo metálico (cobre o acero) de 1 a 2 cm de diámetro y 5 a 7 cm de largo, cerrado en su extremo superior y conectado a una huincha graduada metálica o de género. Cuando la sonda se introduce dentro del pozo y hace contacto con el agua provoca un sonido característico que permite registrar

el nivel con gran precisión). (Salgado, 2002).

- **La sonda eléctrica** consiste de un cable eléctrico doble con los electrodos descubiertos en el extremo inferior. El extremo superior se encuentra conectado a un dispositivo tal como voltímetro, ampolleta o timbre alimentado mediante una batería. Cuando la cinta se introduce en la tubería y los electrodos tocan la superficie del agua se cierra el circuito eléctrico y activa el indicador (movimiento de la aguja, luz o sonido, respectivamente). Si el alambre se encuentra graduado o adherido a una cinta graduada, la lectura se hace en forma directa (Salgado, 2002).

2.1.3 Explotación de aguas subterráneas

(Galvez, 2011), explica que el volumen mundial de las aguas subterráneas representa el 96% del agua dulce líquida del planeta. Las aguas subterráneas (AS) proporcionan útiles funciones y servicios a los seres humanos y al medio ambiente.

- 60% del agua extraída se utiliza para la agricultura en zonas de clima árido y semiárido
- 25-40% del agua potable del mundo proviene de las AS
- 50% de las megaciudades y cientos de otras ciudades importantes dependen de manera significativa el uso de las AS

El AS es, a escala global, la fuente más importante de agua dulce para la sociedad, el AS es un recurso estratégico que puede conseguir "el alivio de la pobreza" y "la seguridad alimentaria", en especial en las zonas áridas y semiáridas.

2.1.4 Modelo Matemático Modflow

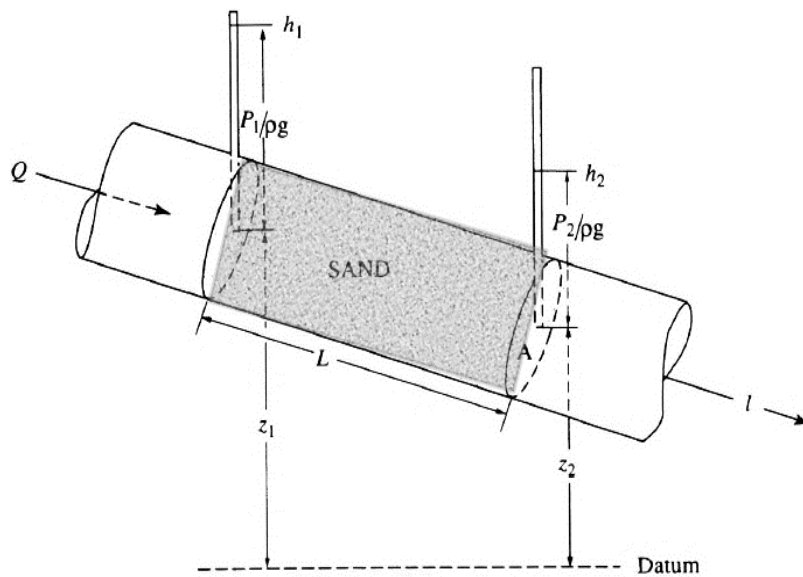
El software Modflow, desarrollado por el Servicio Geológico de los Estados Unidos, consiste en un modelo de flujo saturado en diferencias finitas y un programa modular de ordenador asociado. A pesar de ser diseñado para modelar en 3D, es usado comúnmente para la modelación multicapa. (Harbaugh, 2005). La división del programa en módulos, permite examinar características hidrológicas específicas del modelo independiente y además facilita el desarrollo de capacidades adicionales al poder añadir paquetes al programa. Cuando se crea un modelo en el programa requiere varios parámetros como flujos, conductividad hidráulica, fluidos entre otros. Eso depende de cuál sea la aplicación que uno necesite, para poder simular el movimiento del agua subterránea y poder añadir pozos de observación, bombeo, ríos, drenes, infiltración de las precipitaciones y cargas constantes.

(GIDAHATARI, 2005). MODFLOW utiliza el método de diferencias finitas para resolver las ecuaciones matemáticas que describen el flujo de agua subterránea

2.1.4.1 Ecuaciones de flujo

(GIDAHATARI, 2005), menciona que de forma general las ecuaciones de flujo del agua subterránea se basan en la Ley de Darcy cuyo flujo se explica a través de la sección siguiente:

Gráfico 2. Representación de flujo de agua subterránea. Ley de Darcy



Fuente: (GIDAHATARI, 2005)

$$Q = -K \times A \times \frac{(h_2 - h_1)}{L}$$

También expresado como:

$$q = -K \times \frac{(h_2 - h_1)}{L}$$

Donde:

Q = caudal o descarga [L³/T]

q = descarga específica [L/T]

K = conductividad hidráulica [L/T]

∇h = gradiente hidráulico [L/L]

A = área transversal [L²]

h = carga hidráulica [L]

L = longitud [L]

Sin embargo, MODFLOW realiza simulaciones en 3D. Por lo tanto, para un medio anisotrópico y heterogéneo:

$$q = -\mathbf{K} \times \nabla h = -\begin{pmatrix} \mathbf{K}_{xx} & \mathbf{0} & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & \mathbf{K}_{yy} & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & \mathbf{0} & \mathbf{K}_{zz} \end{pmatrix} \times \nabla h$$

Haciendo un balance hídrico en un volumen de control:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(K_{xx} \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(K_{yy} \frac{\partial h}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(K_{zz} \frac{\partial h}{\partial z} \right) + Q'_s = SS \frac{\partial h}{\partial t}$$

Donde:

Q'_s = flujo volumétrico por volumen unitario [1/T]

Ss = almacenamiento específico [1/T]

2.1.4.2 Estructura de dominio de modelo MODFLOW

(GIDAHATARI, 2005), menciona que:

- Los volúmenes de control discretos que comprenden el dominio del modelo se denominan celdas.
- Cada una tiene un punto llamado nodo ubicados en el centro de ellas, en donde su carga hidráulica es calculada.
- El conjunto de celdas del modelo y la asociación de sus conexiones se denomina grilla del modelo.

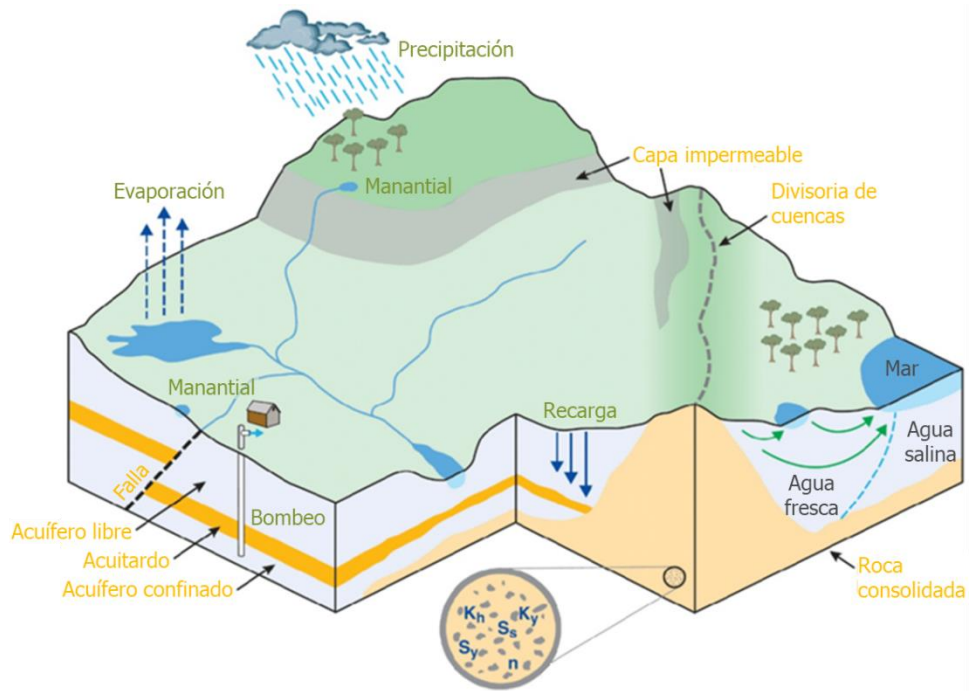
2.1.4.3 Grilla del modelo

Es el conjunto de celdas del modelo de aguas subterráneas y la agrupación de sus vínculos. Ambos delimitan tanto la extensión del modelo como la enunciación de las ecuaciones del modelo numérico. (GIDAHATARI, 2005)

2.1.4.4 Modelamiento hidrogeológico conceptual

Es la interpretación del sistema hidrogeológico en término de los procesos que lo dominan. Se fundamenta en el conocimiento del área de estudio (geología, hidrografía, clima, uso de suelo, etc.) y la relación coherente entre los procesos relacionados a los recursos hídricos que se espera que ocurran. Para que se realice un modelamiento hidrogeológico es necesario contar con los elementos siguientes según, (GIDAHATARI, 2005).

Gráfico 3. Ejemplo de modelo hidrogeológico conceptual



Fuente: Enemark et al. (2019)

2.1.4.4.1 Hidráulica de pozos

Se denomina hidráulica de pozos a las pruebas de bombeo o recuperación que permiten parametrizar las propiedades del acuífero (p.ej. transmisividad, conductividad hidráulica y coeficiente de almacenamiento). Asimismo, a las series de datos de cargas hidráulicas estáticas medidas en piezómetros ofrecen información de cargas iniciales en el modelo y de datos observados para la calibración.

2.1.4.4.2 Topografía

Define el relieve del área de estudio. Así como permite identificar características particulares en el terreno que afecten el comportamiento del agua subterránea (p.ej. acequias o galerías filtrantes).

2.1.4.4.3 Geología

En Cajamarca emergen por lo general rocas sedimentarias del Cretáceo las cuales muestran

un fuerte fruncimiento, estas rocas hacia el Noroeste de Cajamarca se encuentran cubiertas en parte por rocas volcánicas (flujos piroclásticos del Terciario) y por sedimentos Cuaternarios de diferente granulometría, desde materiales detríticos muy finos (limos, arcillas), hasta depósitos aluviales. A continuación, se presenta la Columna estratigráfica del área de Cajamarca y se detallan las unidades litológicas presentes en el área de estudio. (VASQUEZ, 2021).

I. Unidades Hidrogeológicas

La zona de estudio está formada los siguientes depósitos y formaciones

a) Formación Farrat (Ki- f)

Según la investigación (VASQUEZ, 2021), menciona que:

- **Composición**, esta formación está formada arenisca blancas de grano medio a grueso.
- **Edad y correlación**, se han encontrado especímenes correspondientes al Cretáceo inferior. Esta formación infrayace a sedimentos de los niveles más altos del Aptiano por lo que se le asigna una edad aptiana.
- **Potencia**, la formación tiene un grosor promedio de 500 m. En algunos lugares se observa estratificación cruzada y marcas de oleaje.

b) Formación Carhuaz (Ki- f)

(VASQUEZ, 2021), explica lo siguiente :

- **Composición**, esta formación está formada de areniscas (rojizas, violetas y verdosas; características principales para diferenciarla en campo) con lutitas grises. Hacia la parte superior contiene bancos de areniscas cuarzosas blancas que se intercalan con lutitas y arenisca.
- **Edad y correlación**, yace con suave discordancia sobre la formación Santa e infrayace concordante a la formación Farrat.
- **Potencia**, la formación tiene un grosor promedio de 500 m.

c) Volcánico Huambo (Nm- vh)

(VASQUEZ, 2021), menciona que:

- **Composición**, la litología común muestra fragmentos de cuarzo hasta de 3 mm. De diámetro y cristales de biotita en una matriz feldespática que probablemente corresponde a una toba dacítica
- **Edad y correlación**, esta formación se desarrolló en una etapa posterior a los comienzos del levantamiento Andino, probablemente se inició en el mioceno tardío o plioceno
- **Potencia**, el volcánico Huambos tiene un grosor promedio de 50 a 100 m. y un máximo de aproximadamente 400 m en la localidad de Huambos.

d) Depósitos Cuaternarios (Qal)

(VASQUEZ, 2021), explica la clasificación como se detalla a continuación:

i. Deposito aluvial

Depósitos que se acumulan en áreas favorables en los flancos de los valles y quebradas tributarias, están conformados por conglomerados polimícticos poco consolidados, con clastos de tamaño heterogéneo englobados en una matriz limo arcillosa.

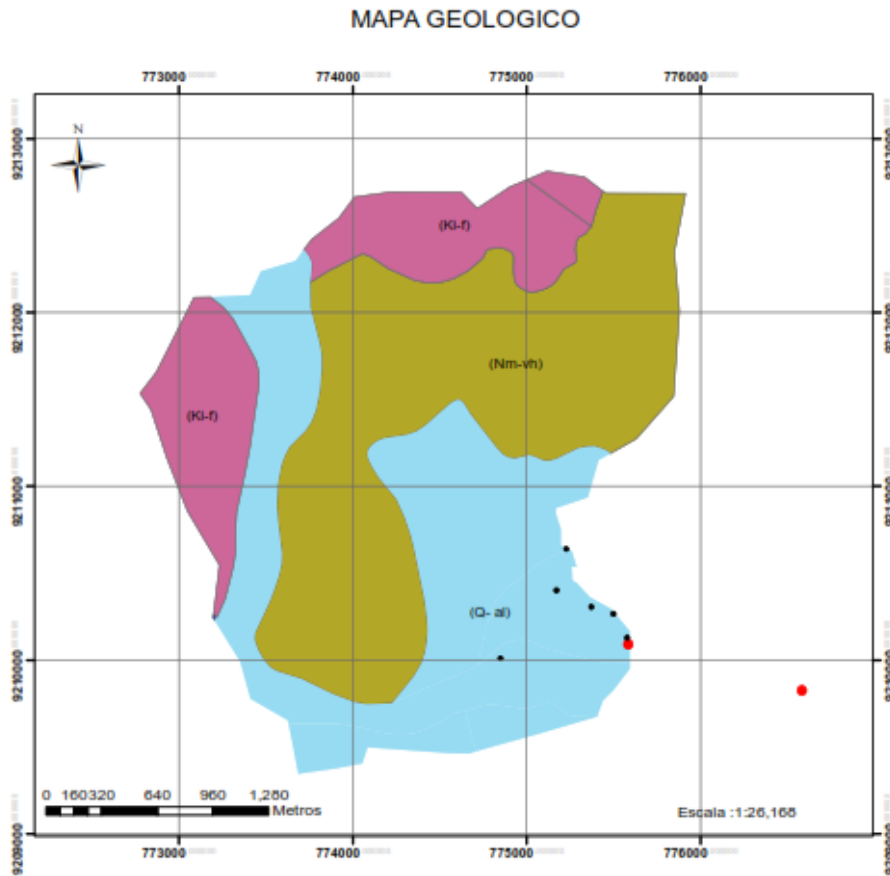
ii. Deposito lacustrino

Está constituido por material fino areno-arcilloso, a los que algunas veces se intercalan gravas y delgados conglomerados.

iii. Deposito fluvial

Están representados por la acumulación de materiales transportados por cursos fluviales, depositados en el fondo y riberas de los ríos. Consisten de gravas gruesas y finas, arenas sueltas y depósitos limo arcillosos.

Mapa. 1. Mapa geológico



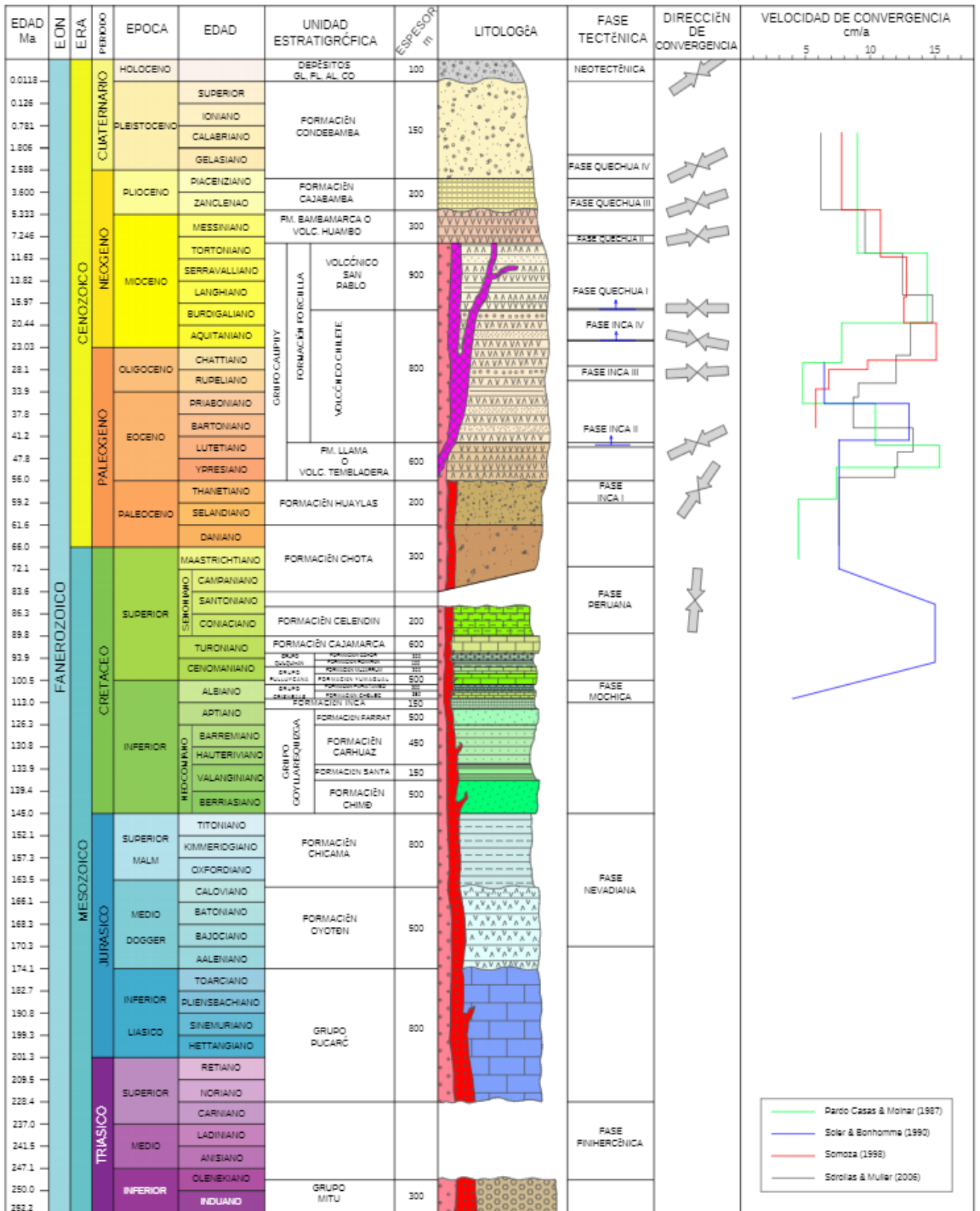
Leyenda

- UNIDAD HIDROGEOLOGICA**
- Depósito Cuaternario (Q-al)
 - Formación Farral (K-f)
 - Formación Huambos (Nm-vh)

	MAPA DE CURVA NUMERO
	UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA FACULTAD DE INGENIERIA INGENIERIA HIDRAULICA
	NOMBRE: JENNY LORENA TERAN ROMERO ASESOR: GASPAR MENDEZ VIRILO FECHA: 25/08/2023

Fuente: Elaboración Propia

Gráfico 4. Perfil Estratigráfico geológico de Cajamarca



Fuente: Vásquez, 2021

II. Conductividad Hidráulica de Formaciones

(Huaripata, 2017), en la investigación “HIDROGEOLOGÍA DE LA MICROCUENCA DEL RÍO CHONTA, EN EL DISTRITO DE BAÑOS DEL INCA”, menciona que para determinar los parámetros hidrogeológicos de las formaciones geológicas usa la tabla siguiente teniendo en cuenta los tipos de rocas.

Gráfico 5. Valores estimados de la conductividad hidráulica (metros /día)

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

Fuente: Sanders, 1998.

a) Formación Farrat

(Huaripata, 2017), determinó que el espesor y la conductividad es como data en la tabla siguiente:

Tabla 5. Características formación Farrat

FORMACION FARRAT	
Espesor Promedio(m)	K(m/dia)
500	0.00016

Fuente: (Huaripata, 2017)

b) Formación Huambos

(Huaripata, 2017), determinó que el espesor y la conductividad es como data en la tabla siguiente:

Tabla 6. Características formación Huambos

FORMACION HUAMBOS	
Espesor Promedio(m)	K(m/día)
50	0.00001

Fuente: (Huaripata, 2017)

c) Depósitos Cuaternarios

(Huaripata, 2017), determinó que el espesor y la conductividad es como data en la tabla siguiente:

Tabla 7. Características depósitos cuaternarios

DEPOSITOS CUATERNARIOS	
Espesor Promedio(m)	K(m/día)
20	0.01
	25-2500

Fuente: (Huaripata, 2017)

d) Formaciones geológicas como acuíferos

Los acuíferos comunes, están mayormente compuestos por depósitos no consolidados de materiales sueltos como arenas y gravas, con diversos orígenes geológicos como fluvial, deltaico y sedimentario. La permeabilidad o conductividad hidráulica es un factor clave en su clasificación. (Huaripata, 2017)

Tabla 8. Clasificación de materiales sedimentarios

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

Fuente: Adaptado de Custodio y Llamas, 1983

Tabla 9. Características de almacenamiento de las rocas.

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

Fuente: Gonzales, 2004.

2.1.4.4.4 Hidrografía

2.1.4.4.4.1 Infiltración HEC-HMS

Para el cálculo de infiltración se modela en Hec Hms para ello se recopila información hidrológica del área de estudio.

- **Cuenca:** Es un conjunto de elemento hidrológicos formado por un río principal que abarca todo el espacio geográfico desde el origen hasta la desembocadura
- **Delimitación de cuenca:** La delimitación de cuencas es un área natural de terreno donde se escurre aguas provenientes de las lluvias hacia un punto de desembocadura o salida que puede ser un río, mar o lago
- **Estación meteorológica:** Estas son administradas por las entidades públicas como son el ANA y el SENAMHI, son las encargas de registrar los eventos hidrológicos o climatológicos suscitados en una determinada área como son (las precipitaciones, la temperatura, la humedad relativa entre otros). (PCE, 2018)
- **Hidrograma:** ($Q = f(t)$) resultante de un escurrimiento correspondiente a un volumen unitario (1 cm, mm de lluvia por la cuenca) proveniente de una lluvia con una determinada duración y determinadas características de distribución en la cuenca hidrográfica. 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. (Orellana, 2016)
- **Datos pluviométricos:** Son los valores de las lluvias medidas en mm por cada 12 o

24 horas según la estación.

- **Pendiente de la Cuenca:** Es un parámetro muy importante en el estudio de cuencas, pues influye entre otras cosas en el tiempo de concentración de las aguas en un determinado punto del cauce. Existen diversos criterios para la estimación de este parámetro. (Araujo, 2014)
- **Histograma:** Es una gráfica de la distribución de un conjunto de datos. Es un tipo especial de gráfica de barras, en la cual una barra va pegada a la otra, es decir no hay espacio entre las barras. Cada barra representa un subconjunto de los datos. (UNAM)
- **Caudal:** Volumen de agua que pasa a través de una sección transversal del río, producto de las precipitaciones, en la unidad de tiempo, se expresa en metros cúbicos por segundo m^3/s o litros por segundos (l/s).
- **Tiempo de concentración:** Está determinado por el tiempo que tarda en llegar la lluvia que cae al punto más alejado de la cuenca hasta el punto de salida o punto de descarga. Puede ser determinado utilizando diferentes métodos como: Método de Kirpich, Método de California, Método Giandotti, Método de Témez, Método de Ragan-Flemin, Método del SCS.
- **Número de curva:** Es la que nos indica la capacidad de escorrentía o infiltración de la cuenca cuando más se acerca a 100 significa que hay mayor escorrentía si el valor se acerca a 0 significa que hay mayor infiltración que se puede determinar empleando algunas características como son el tipo de cobertura vegetal, el tipo de suelo y el uso la pendiente de la cuenca.
- **Método del Muskingum- Cunge:** Consiste en determinar los parámetros K y X del cauce principal del área de estudio que es determinado a base al caudal unitario, la pendiente del cauce principal y el coeficiente de onda. (Bateman, 2007)

a) **Características de la cuenca hidrográfica**

- Tiene un área de 7.60 km^2
- Rio principal: El Mashcon

CUENCA DE ESTUDIO		
DATOS DE CUENCA	VALOR	UNIDAD
AREA	7.572013	Km2
LONGITUD DE RIO PRINCIPAL	2.53	m
DESNIVEL	413	413
PENDIENTE QGIS	0.2044	0.2044
COTA MAXIMA	3089	
COTA MINIMA	2676	

Fuente: Elaboración Propia

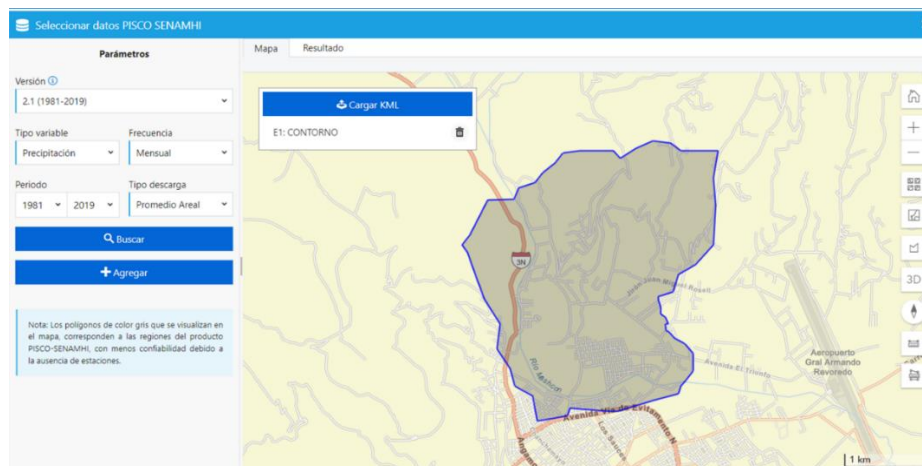
b) Obtención de información hidrológica

Precipitación: Se obtuvo de la página del ANA mediante el link siguiente:

<https://snirh.ana.gob.pe/ANDREA/Integrado.aspx>

- La precipitación areal mensual, se obtuvo a partir de la importación del área de estudio en formato KML, para obtener como resultado la data de precipitación mensual de 38 años. Así como se muestra a continuación:

Gráfico 5. Precipitación areal.



Fuente: Autoridad Nacional del Agua (ANA)

- Realizamos la distribución de probabilidades pluviométricas mediante Gumbel para obtener el cálculo de las precipitaciones diarias máximas probables para distintas frecuencias.
- Determinamos las precipitaciones máximas para diferentes tiempos de duración de lluvias teniendo en cuenta los coeficientes para las relaciones a la lluvia de duración 24 horas.

➤ Generamos las curvas de Intensidad, duración y periodo de retorno (IDTr) a partir de las precipitaciones máximas diarias P24h utilizando el criterio de Dick Peschke. Utilizando la siguiente fórmula

- PD: Precipitación máxima de duración D, en el intervalo 15 min < 1440 min, en

$$P_d = P_{24} \left(\frac{d}{1440} \right)^{0.25}$$

mm

- D: duración de la lluvia, en min
 - P24hr: precipitación máxima diaria (en 24 horas), en mm.
- Determinamos las curvas intensidad-duración -periodo de retorno (IDTr), para ello se hizo uso de la siguiente ecuación para determinar las intensidades y poder graficar las curvas (IDTr)

$$I = \frac{K * T^m}{D^n}$$

- I: intensidad (mm)
 - T: periodo de retorno en años
 - D: duración (mm)
 - K, m y n coeficientes
- Hallamos el número de curva para cada subcuenca utilizando los mapas de tipo de suelo pendiente y cobertura vegetal mediante el programa Argis.

Tabla 10: Número de curva para cuenca

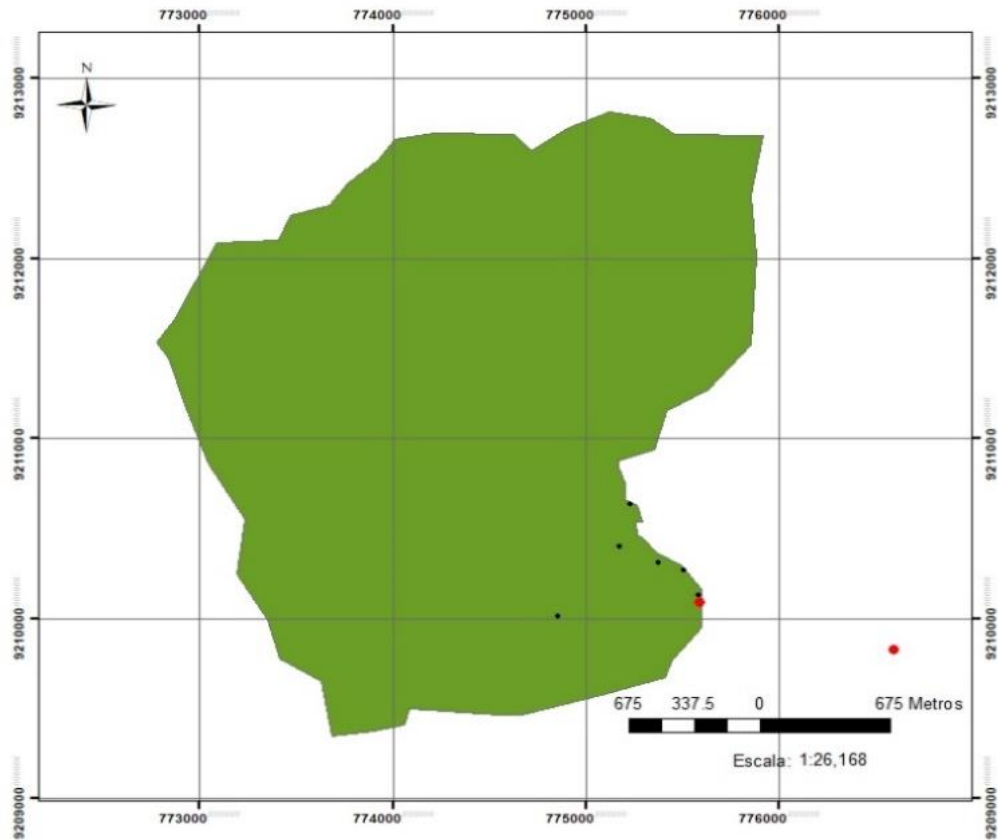
PAISAJE	NC	Área (Km2)	NC*AREA
Lomadas, colinas y montañas	74	3.83	283.34
Lomadas, colinas y montañas	74	0.62	45.62
Lomadas, colinas y montañas	81	3.14	254.4
SUMA=		7.59	583.4
NC=		76.90	

Fuente: Elaboración Propia


Se encontró el número de curva para la cuenca de estudio determinando la cantidad de cobertura vegetal y el tipo de suelos que abarcan estas y asignándolo el grupo al que pertenece. Para esta cuenca sales un NC de 76.90.

Mapa. 2. Curva Numero

MAPA CURVA NUMERO



Leyenda
◻ <todos los demás valores>
Rango
◼ 74 - 81

	MAPA DE CURVA NUMERO
	UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA FACULTAD DE INGENIERIA INGENIERIA HIDRAULICA
	NOMBRE: JENNY LORENATERAN ROMERO ASESOR: GASPAR MENDEZ VIRILO
	FECHA: 25/08/2023

Fuente: Elaboración Propia

- Determinamos el coeficiente de escorrentía a partir del tipo de suelo, cobertura vegetal y pendiente del terreno, siendo la misma de 20.4 %, ver mapa 5.

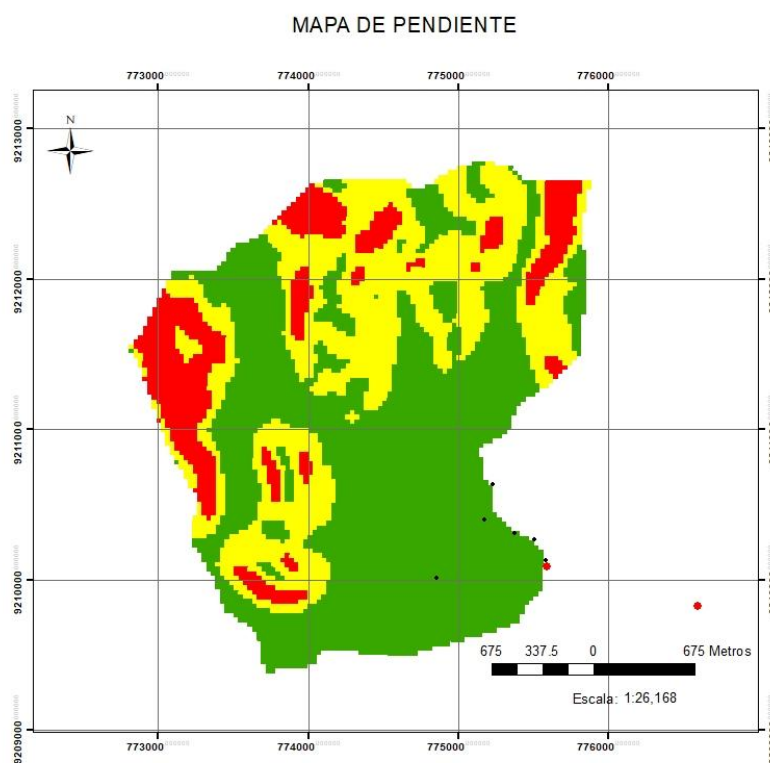
El coeficiente de escorrentía nos permite determinar el caudal de salida para la cuenca de estudio que en este caso es de 0.33.

Gráfico 6. Valores coeficiente de escorrentía

COBERTURA DEL SUELO	TIPO DE SUELO	PENDIENTE (%)				
		> 50	20-50	5-20	1-5	0-1
Sin vegetación	Impermeable	0,80	0,75	0,70	0,65	0,60
	Semipermeable	0,70	0,65	0,60	0,55	0,50
	Permeable	0,50	0,45	0,40	0,35	0,30
Cultivos	Impermeable	0,70	0,65	0,60	0,55	0,50
	Semipermeable	0,60	0,55	0,50	0,45	0,40
	Permeable	0,40	0,35	0,30	0,25	0,20
Pastos, vegetación ligera	Impermeable	0,65	0,60	0,55	0,50	0,45
	Semipermeable	0,55	0,50	0,45	0,40	0,35
	Permeable	0,35	0,30	0,25	0,20	0,15
Hierba	Impermeable	0,60	0,55	0,50	0,45	0,40
	Semipermeable	0,50	0,45	0,40	0,35	0,30
	Permeable	0,30	0,25	0,20	0,15	0,10
Bosque, vegetación densa	Impermeable	0,55	0,50	0,45	0,40	0,35
	Semipermeable	0,45	0,40	0,35	0,30	0,25
	Permeable	0,25	0,20	0,15	0,10	0,05

Fuente: (Benítez, 1980)

Mapa. 3. Mapa de Pendiente



Leyenda

<VALOR>
0 - 17.62327531
17.62327532 - 43.07911742
43.07911743 - 99.86522675

	MAPA DE CURVA NUMERO
	UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA FACULTAD DE INGENIERIA INGENIERIA HIDRAULICA
	NOMBRE: JENNY LORENATERAN ROMERO ASESOR: GASPAR MENDEZ VIRILO
	FECHA: 25/08/2023

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 11. Cálculo de coeficiente de escorrentía

SUBCUENCA	USO DE SUELO	USO DE SUELO	USO DE SUELO	TIPO DE SUELO	COEFICIENTE	AREA(KM2)	C*AREA
S1	Lomadas, colinas y montañas	Agricultura costera y andina	Cultivos Permanentes Arboreos	Regosol éútrico - Andosol móllico	0.35	3.83	1.34
S1	Lomadas, colinas y montañas	Área urbana	Áreas Pantanosas	Regosol éútrico - Andosol móllico	0.15	0.62	0.09
S1	Lomadas, colinas y montañas	Matorral arbustivo	Bosque denso alto	Regosol éútrico - Andosol móllico	0.35	3.14	1.10
						7.59	2.53
						COEFICIENTE DE ESCORRENTIA	0.33

Fuente: Elaboración propia

- Cálculo de la precipitación media mediante el método de Thiessen, cabe mencionar que este método es una técnica utilizada para estimar la precipitación media en una determinada área, basándose en la ubicación y la distancia entre estaciones meteorológicas. Consiste en dividir el área en polígonos alrededor de cada estación y asignar el valor de precipitación de esa estación al polígono que la rodea, considerando la proporción de área que cubre cada polígono, para luego ser introducido al HEC HMS para el cálculo de la infiltración. Mediante la fórmula siguiente:

$$P_{med} = \frac{1}{A_t} \sum_i^n = A_i \cdot P_i$$

P med = Precipitación media.

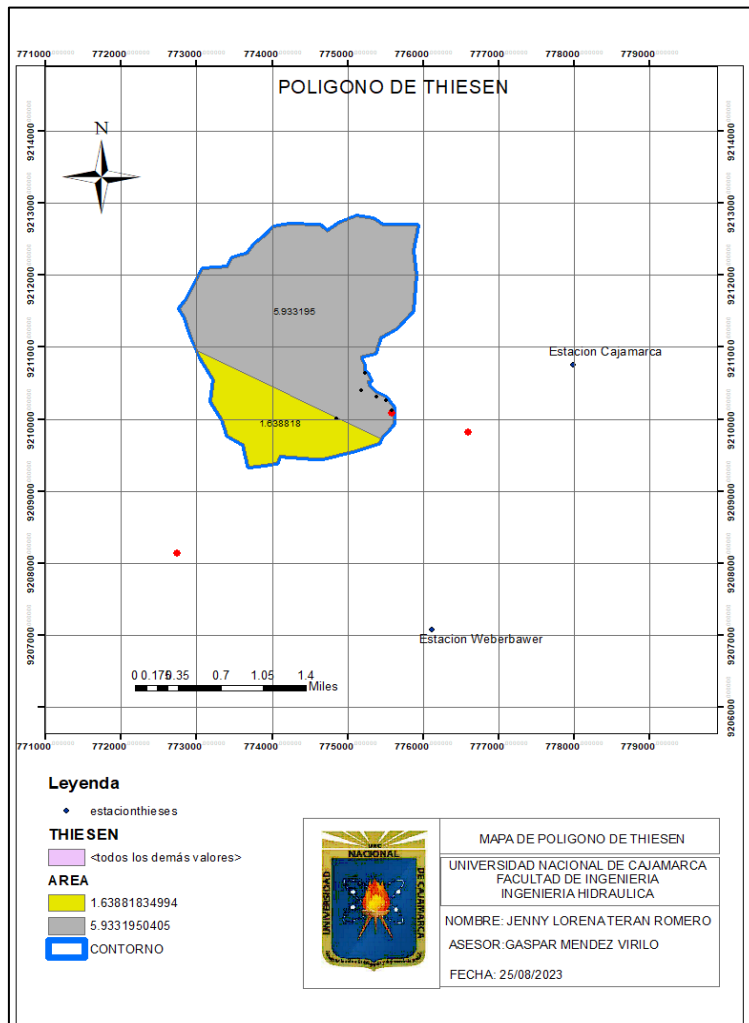
AT = Área total de la cuenca

Ai = Área de influencia parcial del polígono de Thiessen.

Pi = Precipitación de la estación i

N = Número de estaciones tomadas en cuenta.

Mapa. 4. Precipitación Método de Thiessen



Fuente: Elaboración Propia

La gráfica representa la duración de lluvia que se da en un cierto periodo de tiempo y la frecuencia que usualmente se expresa el periodo de retorno en la cual se va suscitar nuevamente dichas lluvias.

- El cálculo de la precipitación media.
- Utilizando el programa Hec-Hms obtenemos nuestros hidrogramas la cuenca y obtenemos la infiltración.

2.1.4.4.5 Clima y uso de suelo

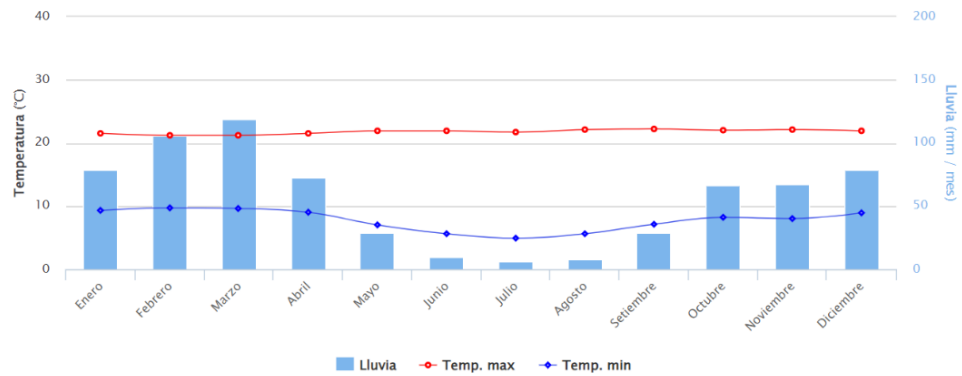
La evaluación conjunta de ambos tipos de estudios permite determinar la recarga (a real)

sobre los acuíferos. Permite identificar zonas impermeables (sin recarga). Además, su modificación y adaptación son la base para la evaluación de escenarios de cambio climático.

2.1.4.4.5.1 Temperatura en la zona de estudio

En la zona de estudio se tiene una temperatura promedio que varía entre 21.7 y 4.9 °C según Senamhi en los últimos meses.

Gráfico 7. Temperatura



Fuente: Senamhi

2.1.4.4.5.2 Cobertura Vegetal

a) Agricultura costera y andina

De acuerdo con el área de estudio se determina que el área de este tipo de cobertura es de 3.83 Km².

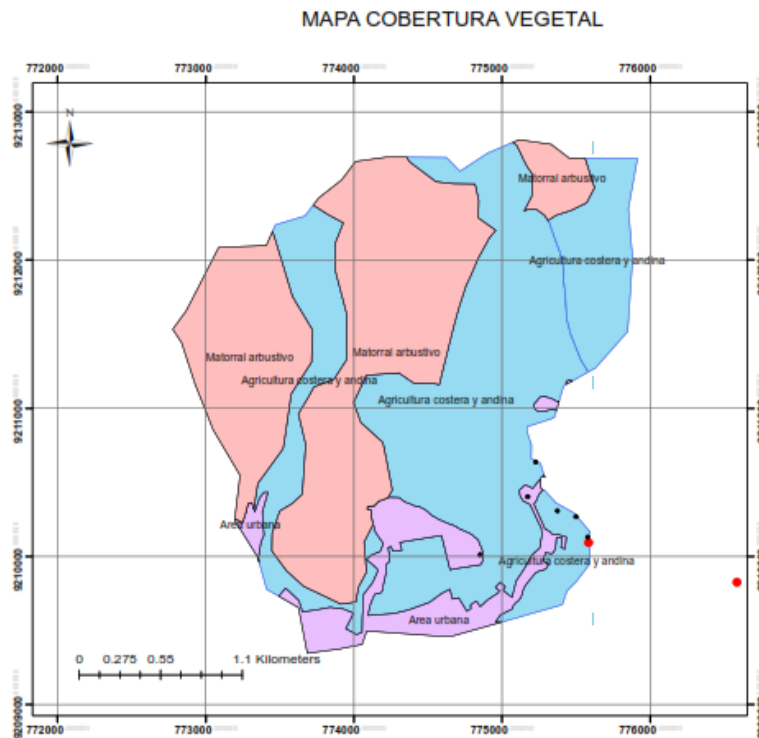
b) Área urbana

De acuerdo con el área de estudio se determina que el área de este tipo de cobertura es 0.62 Km².

c) Matorral arbustivo

De acuerdo con el área de estudio, el área de este tipo de cobertura es 3.14 Km².

Mapa. 5.Cobertura vegetal y uso de suelo



Leyenda Cobertura Vegetal

- Agricultura costera y andina
- Área urbana
- Matorral arbustivo

	MAPA COBERTURA VEGETAL
	UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA FACULTAD DE INGENIERIA INGENIERIA HIDRAULICA
	NOMBRE: JENNY LORENA TERAN ROMERO ASESOR: GASPAR MENDEZ VIRILO
	FECHA: 25/05/2023

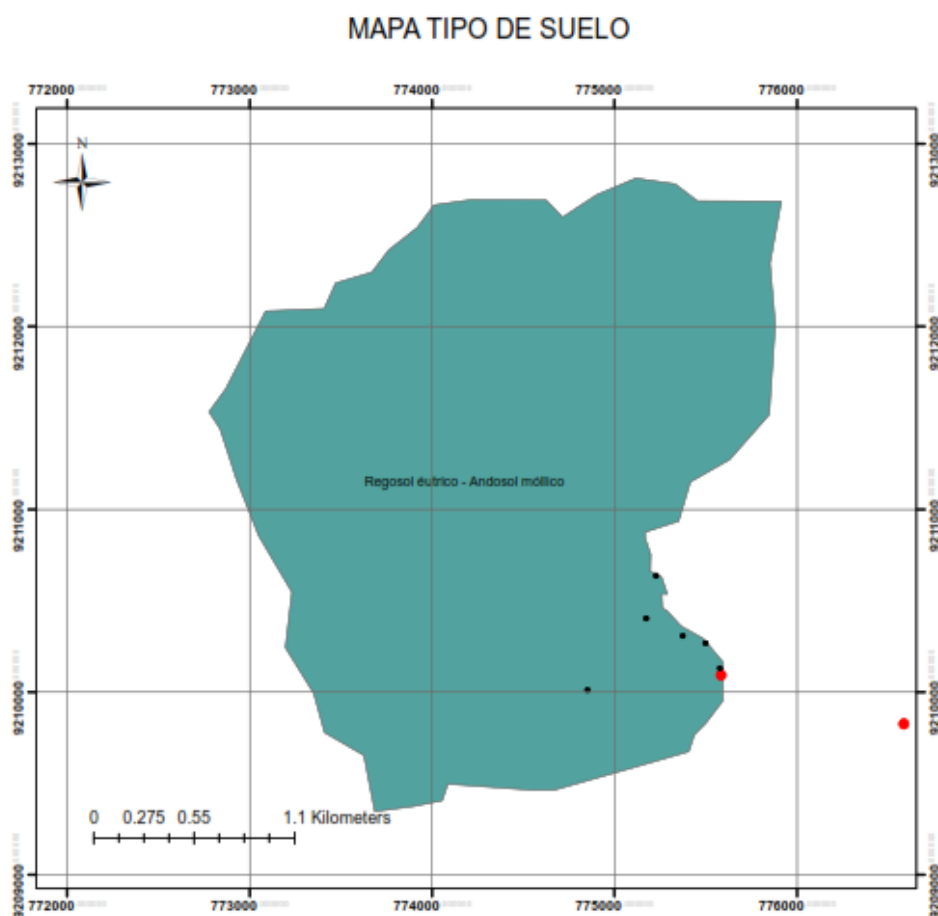
Fuente: Elaboración Propia

2.1.4.4.5.3 Tipo de suelo

d) Regosol éutrico RGe

El suelo es joven y está compuesto en un 51% por materiales no consolidados. Tiene un único horizonte A claro, con poco carbono orgánico y es delgado y duro cuando se seca. No tiene propiedades sálicas y es susceptible a la erosión moderadamente alta. Se encuentra principalmente al pie de las sierras, donde es depositado por los ríos cargados de sedimentos. (FAO-Unesco, 1989)

Mapa. 6. Tipo de suelo en área de estudio.



Leyenda Tipo de Suelo

PAISAJE

Regosol Eutríco

	MAPA TIPO DE SUELO
	UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA FACULTAD DE INGENIERIA INGENIERIA HIDRAULICA
	NOMBRE: JENNY LORENA TERAN ROMERO ASESOR: GASPAR MENDEZ VIRILO
	FECHA: 25/08/2023

Fuente: Elaboración Propia

2.1.5 Model Muse

El modelo muse es una interfaz gráfica para que el usuario pueda trabajar los diferentes modelos de aguas subterránea que requiere, es de uso público. En esta interfaz se puede representar el flujo del agua subterránea como el drenaje, la interacción entre los ríos, la recarga y la evapotranspiración. Además de buscar que el trabajo se vuelva más interactivo

con esta interfaz también presenta ventajas al momento de simular el modelo que se requiere a través de mapas de calor, curvas y gráficas, Un modelo numérico de aguas subterráneas está conformado por la adaptación de los diferentes componentes que dan forma al modelo conceptual. Estos componentes principalmente son: Discretización espacial: horizontal y vertical, área activa del modelo, parámetros hidráulicos, condiciones de borde, discretización temporal. (GIDAHATARI, 2005).

Respecto a las condiciones de borde usado en esta interfaz se usa las siguientes condiciones de borde:

- ✓ Ríos (RIV)
- ✓ Drenes (DRN)
- ✓ Pozos (WEL)
- ✓ Recarga (RCH)

2.1.5.4 Balance Hídrico

El balance de aguas en MODFLOW es el resultado del detalle de entradas y salidas de agua del sistema hidrogeológico:

- ✓ Entrada de agua al acuífero $\rightarrow (+)$
- ✓ Salida de agua del acuífero $\rightarrow (-)$

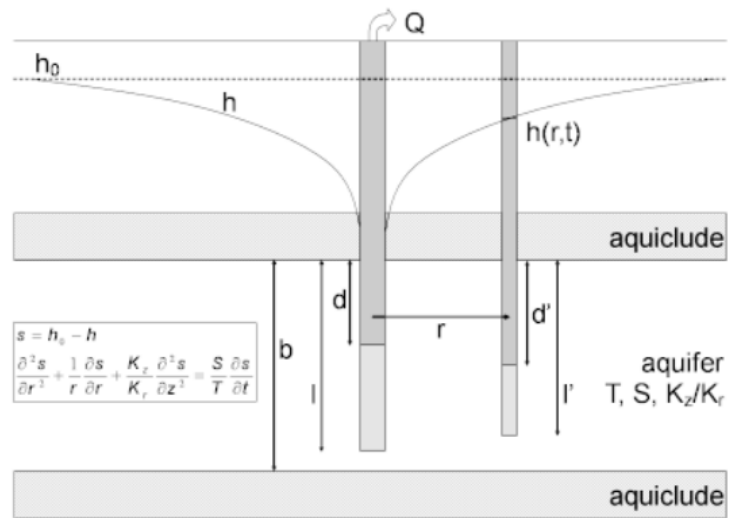
MODFLOW presenta los resultados en el archivo de salida. lst. En este se detalla el balance de aguas por condición de borde

2.1.6 AQVTESOLV

Es un software usado para el diseño e interpretación de pruebas de acuíferos (pruebas de bombeo, pruebas de slug, pruebas de cabeza constante) en acuíferos confinados, con fugas, no confinados y fracturados, herramientas de software para el diseño, interpretación y predicción de pruebas de acuíferos.

De acuerdo con el manual de AQTESOLV se menciona que:

Gráfico 8.Acuifero



Fuente: Hantush, M.S., 1961a.

La solución de Theis (1935) para un pozo de bombeo totalmente penetrante en un acuífero confinado, modificado para incluir pérdidas de pozo lineales y no lineales en una prueba de reducción escalonada, se expresa de la siguiente manera según, (Theis, C.V., 1935.)

$$s_w = \frac{Q}{4\pi T} [W(u) + 2S_w] + CQ^P$$

$$u = \frac{r^2 S}{4Tt}$$

$$S_D = \frac{4\pi T}{Q} S$$

$$t_D = \frac{Tt}{r^2 S}$$

Dónde

- CQP es pérdida de pozo no lineal [L]
- Q es la tasa de bombeo [L³/T]
- r es la distancia radial [L]
- s_w es la reducción en el pozo bombeado [L]
- S es capacidad de almacenamiento [adimensional]

- S_w es el factor de daño del pozo [adimensional]
- t es tiempo [T]
- T es transmisividad [L^2/T]

AQTESOLV también le permite simular pozos parcialmente penetrantes con esta solución. El radio efectivo del pozo empleado en esta solución para incorporar la piel del pozo (pérdida lineal del pozo) conduce a una correlación en las ecuaciones entre S (almacenamiento) y S_w (factor de piel del pozo). Por lo tanto, debe estimar S o S_w para una prueba de un solo pozo. (HYDROSOLV, 2014)

A continuación se detallará los parámetros que calcula el software así como también las opciones de solución y los requisitos.

Parámetros estimados	Opciones de Solución	Requisitos
<ul style="list-style-type: none"> • T (transmisividad) S (almacenamiento) • S_w (factor de daño del pozo) • C (coeficiente de pérdida de pozo no lineal) • P (exponente de pérdida de pozo no lineal) 	<ul style="list-style-type: none"> • Caudal de bombeo variable incluida la recuperación • Múltiples pozos de bombeo • Múltiples pozos de observación • Pozos parcialmente penetrantes 	<ul style="list-style-type: none"> • Ubicaciones de pozos de observación y bombeo • Tasa(s) de bombeo • Mediciones de pozos de observación (tiempo y desplazamiento) • Profundidades de penetración parciales (opcional) • Espesor saturado (para pozos parcialmente penetrantes) • Relación de anisotropía de conductividad hidráulica (para pozos parcialmente penetrantes)

4.8. Potencial Hídrico Subterráneo

El potencial hídrico de las fuentes de abastecimiento está unido a la disponibilidad de ellas con respecto a la demanda del recurso hídrico.

El potencial hídrico de una región se define a partir de la evaporación, la transpiración, la humedad del suelo, el agua superficial y freática, el agua costera y marítima, dentro de una perspectiva integral, sustentada por las unidades hidrológicas básicas, las cuencas y los acuíferos, en una zona de estudio. Castro (2022)

Ademas en esta investigacion citada se relaciona al potencial hidrico subterraneo con las reservas que se estiman mediante el cálculo del volumen del agua del acuífero que se puede liberar, la cual comprende el substrato impermeable y la superficie piezométrica, en este caso “se determina el volumen de la roca almacén y se multiplica por la porosidad efectiva en el caso de acuíferos libres, o por el coeficiente de almacenamiento en el caso de acuíferos confinados” (Pérez, 1995; citado por Rafael, 2008). (Vargas, 2022)

$$W_T = V_T \times P_E = \left| \sum (A \cdot H_m)_T \right| \cdot P_E$$

En donde,

W_T = Reservas totales

V_T = Volumen total

P_E = Porosidad efectiva

Teniendo en cuenta lo mencionado anteriormente en esta investigacion se detemrina que en el area de estudio el tipo de acuífero es acuífero libre por ello se usa la formula siguiente: (Vargas, 2022)

$$\text{Potencial Hidrico Subterraneo} = A \times \text{Abatimiento}(m) \times m_e$$

En donde,

A = Area de cuenca(m²)

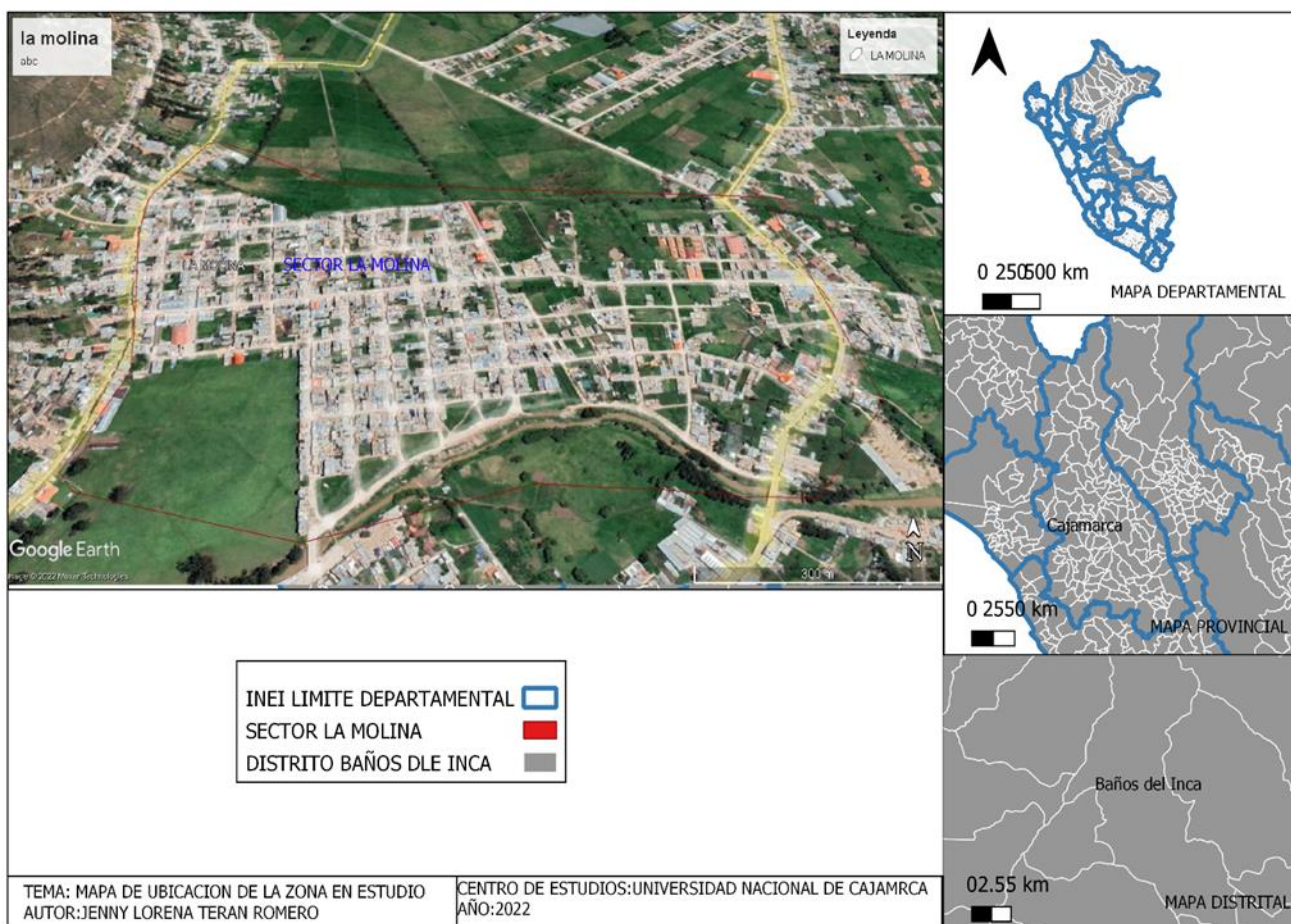
m_e = Porosidad efectiva.

CAPÍTULO III. MATERIALES Y METODOS

3.1 Ubicación: De la zona de estudio

El área de estudio se localiza en la región de Cajamarca, en la Provincia de Cajamarca, distrito de Los Baños del Inca, sector La Molina en un área de 685.163 m².

UBICACIÓN POLITICA	
REGION	Cajamarca
PROVINCIA	Cajamarca
DISTRITO	Baños del Inca
SECTOR	La Molina



Mapa. 7. Mapa de ubicación de la zona de estudio

3.2 Equipos y materiales utilizados

- Equipo de campo

- ✓ GPS Etrex
- ✓ Wincha de acero

- ✓ Formato para tomar datos
- ✓ Sonda eléctrica
- ✓ Celular para las fotografías
- **Equipo de gabinete**
 - ✓ Computadora COREI 7
 - ✓ Software (Modflow, Word, Excel, ArcGIS)

3.3 Metodología

La metodología utilizada en el presente trabajo de investigación comprende cuatro etapas que son identificación de tema a investigar, recopilación de información, trabajo de campo, y trabajo de gabinete.

a. Recopilación de información

En esta etapa se verifico mediante el GOOGLE EARTH la ubicación de la zona, con el fin de solicitar información de inventario de pozos subterráneos, a la Autoridad Local del Agua de Cajamarca para poder obtener alcances de los pozos subterráneos registrados en la zona de estudio y que me permita con mayor facilidad ubicar los pozos e ir al campo para solicitar pruebas de bombeo a los propietarios, obteniendo como resultado un informe de estudio hidrológico.

b. Trabajo de campo

- **Determinar la ubicación de los pozos y prueba de bombeo**

Mediante el GPS se determinó las coordenadas y cotas de los 4 pozos en investigación.

Se realizo la prueba de bombeo de cada pozo, en esta etapa se obtuvieron las siguientes actividades como mediciones y la toma de los siguientes datos:

- La ubicación de las fuentes de agua subterránea (pozos) en coordenadas UTM georreferenciadas con GPS (sistema de posicionamiento geográfico) y cota de terreno.
- La lectura del nivel freático, durante la prueba de bombeo se realizó mediante una sonda de nivel de agua de 30 metros.

c. Etapa de gabinete

En esta etapa se realizaron actividades de procesamiento de información de las pruebas de bombeo con el fin de realizarse los cálculos de parámetros como conductividad, transmisividad, coeficiente de almacenamiento, caudal que se calcularon mediante el programa AQTESOLV..ç

Posteriormente se llevó los datos obtenidos y verificados al programa MODFLOW que presenta una interfaz llamada Model muse, introducidos todos los datos para la realización del modelo matemático MODFLOW y obtener así los gráficos para poder interpretarlos posteriormente.

✓ Determinación de espesor de acuífero

PEÑA LAUREANO, Fluquer; SEVERYN (2014), explica que los sedimentos cuaternarios del valle de Cajamarca alcanzan espesores entre 30-60 m y constituyen un acuífero superior de materiales poroso no consolidados, que contiene aguas frías; asimismo (HERNANDEZ, 2019) considera en su investigación el espesor del acuífero en el valle de Cajamarca como 55. Basándonos en estas investigaciones en este proyecto se consideró el valor de 55 metros como espesor del acuífero.

✓ Interpretación de los datos de prueba de bombeo y recuperación

Para poder hallar los parámetros hidráulicos se realizó a través de la ecuación de Theis – Jacob. Una vez obtenido los datos de abatimiento y tiempo mediante la prueba de bombeo se realizó una gráfica semilogarítmica para obtener la pendiente de la misma. Formula modificada de no equilibrio (Theis - Jacob) para la determinación de la trasmisividad se realizó mediante el programa AQTESOLV, para ello se usó los datos siguientes, caudal, tiempo y abatimientos de los pozos.

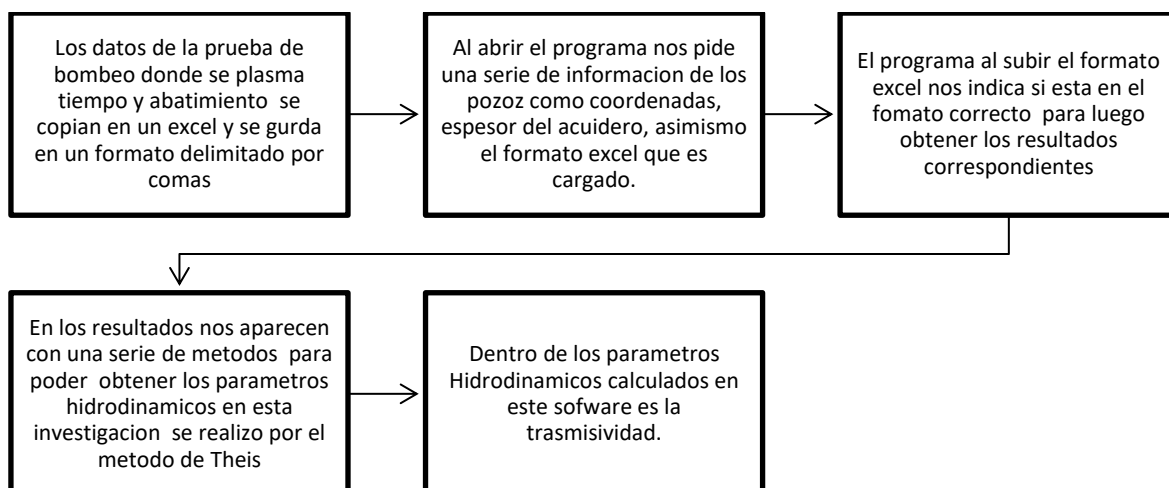
• Determinación de la permeabilidad, coeficiente de almacenamiento y transmisividad.

Para la determinación de este parámetro se realizó mediante el programa AQTESOLV, este programa me permitió obtener los datos más exactos de ese parámetro hidrodinámico.0.0.

1. Se introdujo datos básicos del pozo como primeramente se seleccionaron las unidades.
2. Posteriormente los datos del acuífero por lo general esta tesis ha considerado que el espesor del acuífero es 55 de acuerdo (HERNANDEZ, 2019)
3. Se introduce el tipo de pozo este caso es verticales, también las coordenadas, y el caudal que se adquirió en las pruebas de bombeo.
4. Por último, se introdujo los tiempos y el abatimiento en formato Delimitado por comas (CCV) y se analiza mediante Theis obteniendo el resultado de la transmisividad, coeficiente de almacenamiento. De una forma más exacta.

- **AQVSOLV**

Este programa sigue de forma general el siguiente procedimiento.



- **Determinación de la conductividad**

El valor de la transmisividad calculada en el programa se divide entre el espesor del acuífero, este valor está considerado con 55 metros.

$$K = T/e$$

Donde:

e = espesor del acuífero

- **Determinación de la porosidad efectiva.**

Los valores de porosidad son obtenidos a partir de la siguiente relación empírica desarrollada por Van Beers.

$$me = \sqrt{K}$$

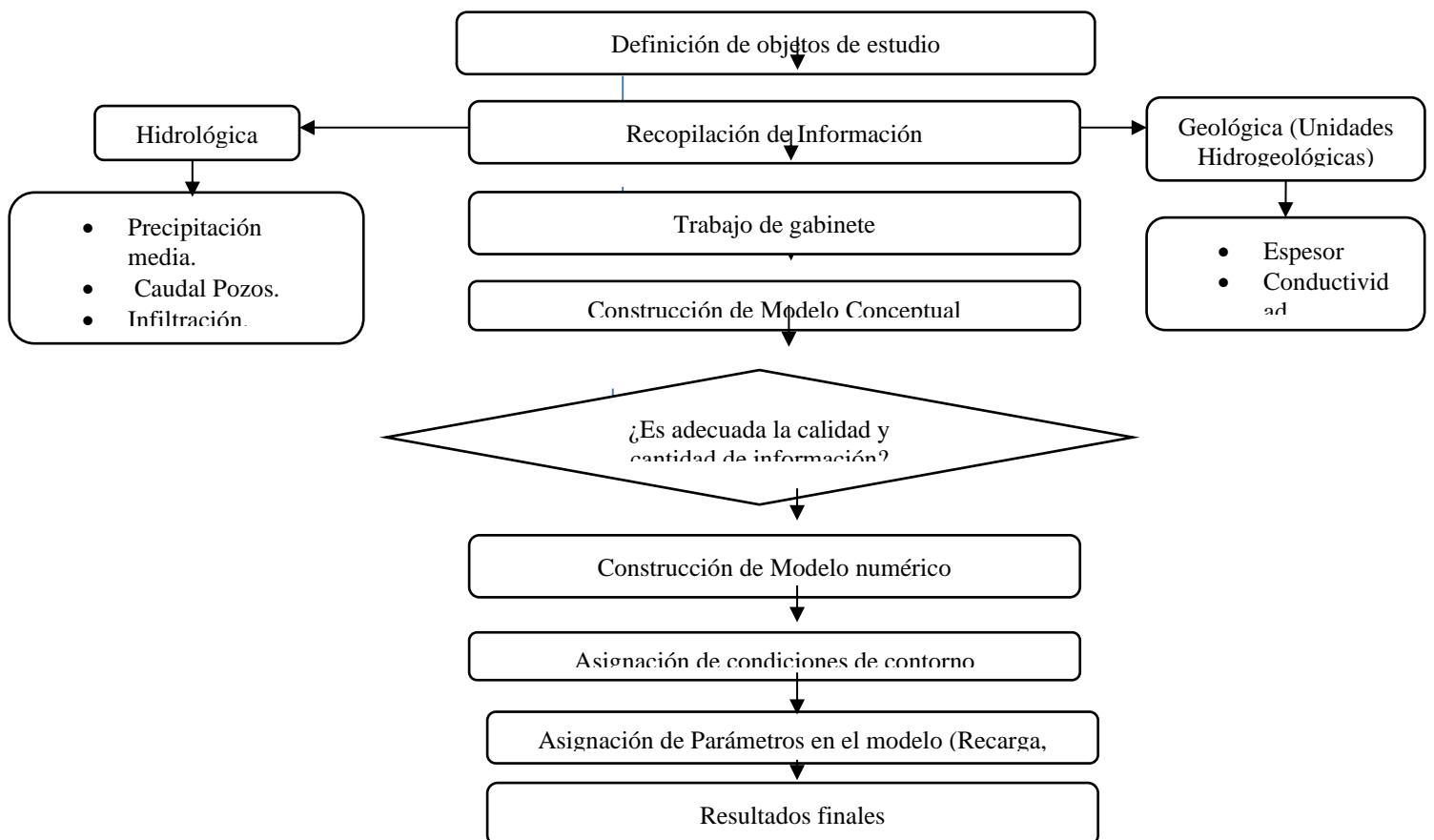
Donde:

me = porosidad efectiva (%).

K =conductividad hidráulica (cm/día)

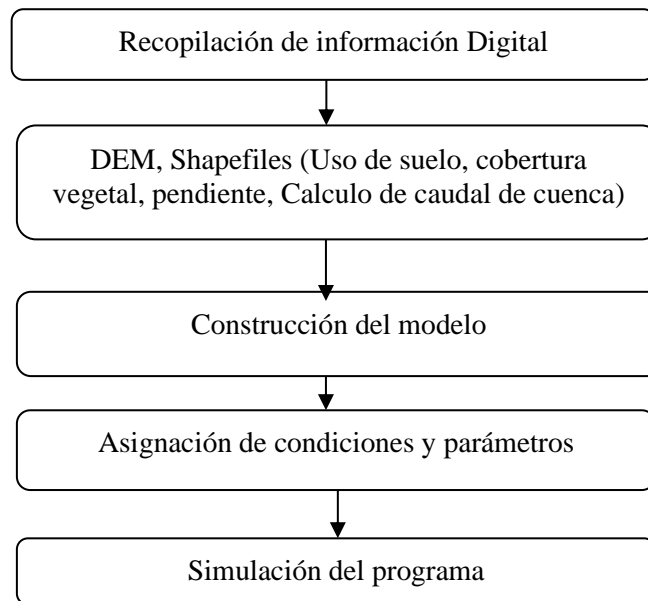
d. Realización del modelamiento hidrológico Mod Flow

Para la realización de los resultados del programa Mod Flow con el complemento Model Mouse, es necesario tener en cuenta el procedimiento como se adjunta a continuación:



e. Determinación de Infiltración en Hec – Hms

Para el cálculo de la infiltración se usó el Hec-Hms, para ello se siguió el procedimiento siguiente:



4.8. Potencial Hídrico Subterráneo

El cálculo se realiza mediante la fórmula siguiente, teniendo en cuenta la metodología aplicada. (Vargas, 2022)

$$\text{Potencial Hidrico Subterraneo} = A \times \text{Abatimiento}(m) \times m_e$$

En donde,

A= Área de cuenca(m²)

me= Porosidad efectiva.

CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSION

4.1. RESULTADOS

4.1.1 Determinar la ubicación de pozos en funcionamiento en la zona de estudio. (cota, coordenadas)

Los pozos de estudio se ubicaron en las coordenadas siguientes:

Tabla 12. Ubicación geográfica de los pozos en estudio.

COORDENADAS DE POZOS			
DESCRIPCION	NORTE	ESTE	ELEVACION
POZO1	774534.69	9209879.59	2708
POZO2	774525.06	92099818.3	2707
POZO 3	775243.7	9210236.67	2701
POZO 4	774664.65	9210169.89	2705

4.1.2 Estimación de las características hidrodinámicas del acuífero en cada pozo a través de la prueba de bombeo

Las pruebas de bombeo se realizaron durante el año 2022. Las características hidrodinámicas de los pozos son las siguientes

Transmisividad

Estos parámetros fueron obtenidos mediante pruebas de bombeo de corta duración en los pozos de muestreo, estas pruebas fueron realizadas en 4 pozos de estudio.

Tabla 13. Transmisividad en La Molina.

CARACTERISTICAS HIDRODINAMICAS DE LOS POZOS TRASMISIVIDAD			
DESCRIPCION	FASE DE DESCENSO	FASE DE RECUPERACION	UNIDAD
POZO1	12.26	10.06	m2/día
POZO2	7.96	5.79	m2/día
POZO 3	15.09	14.73	m2/día
POZO 4	10.54	8.9	m2/día

- ✓ Para determinar la transmisividad de la fase de descenso se usó el programa AQTE SOLV y se obtuvieron los resultados siguientes

1. POZO N°01

✓ Prueba de descenso

Caudal: 0.20 l/s.

Tabla 1.Coordenadas Pozo N°01.

Norte	774534.69
Este	9209879.59
Altitud	2708

Gráfico 9.Prueba de bombeo de Pozo N°01

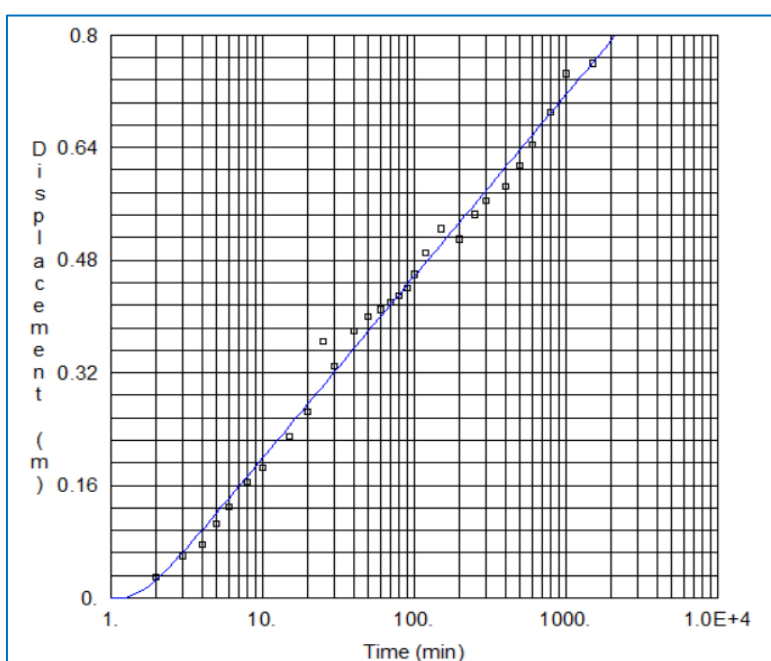


Gráfico 11. Valor de la Transmisividad prueba de descenso, Coeficiente de Almacenamiento

PRUEBA DESCENSO					
Data Set:		Time: 17:40:25			
Date: 05/21/23					
PROJECT INFORMATION					
Company: JENNY TERAN ROMERO					
Client: UNC					
Project: 01					
Location: LA MOLINA					
Test Well: POZO N° 1					
Test Date: 7/07/2022					
WELL DATA					
Pumping Wells			Observation Wells		
Well Name	X (m)	Y (m)	Well Name	X (m)	Y (m)
POZO N°01	774534.69	9209879.59	POZO N°01	774534.69	9209879.59
SOLUTION					
Aquifer Model: Confined			Solution Method: Theis		
T = 12.26 m ² /day			S = 0.03263		
Kz/Kr = 1			b = 1 m		

✓ Prueba de recuperación

Gráfico 102. Prueba de bombeo de Pozo N°01

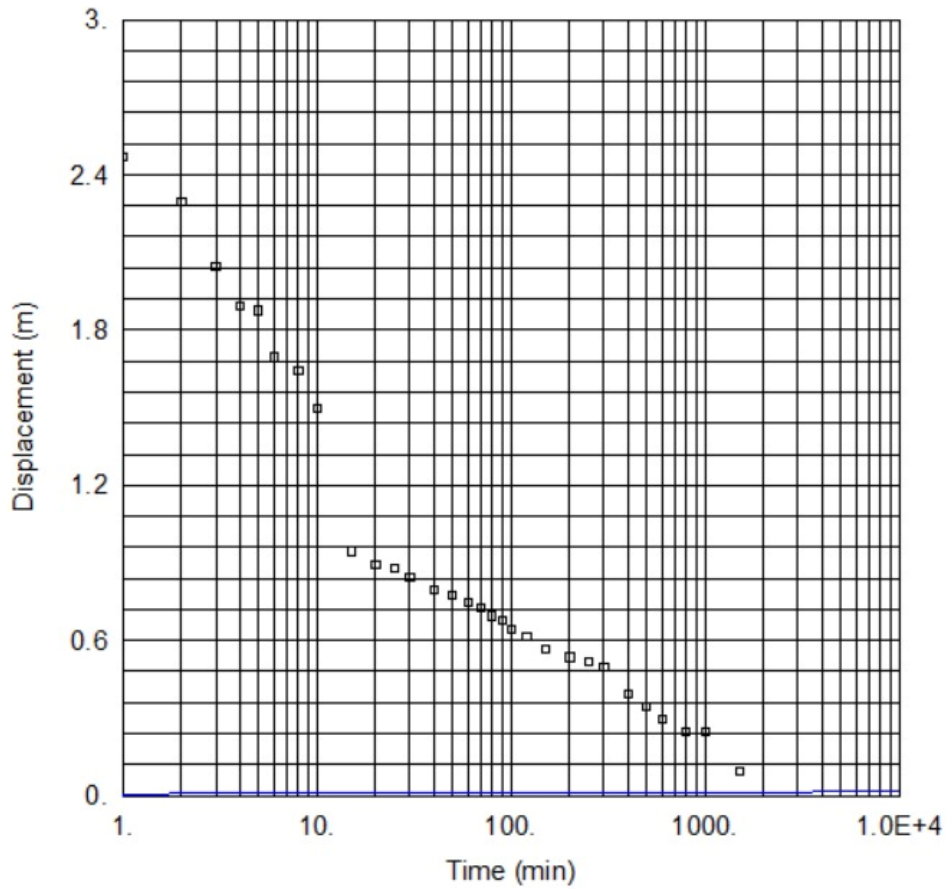


Gráfico 113. Valor de la Transmisividad prueba de descenso, Coeficiente de Almacenamiento

<u>WELL TEST ANALYSIS</u>					
Data Set:		Time: 17:38:21			
Date: 02/28/24					
<u>PROJECT INFORMATION</u>					
Company: JENNY TERAN ROMERO					
Client: UNC					
Project: 01					
Location: LA MOLINA					
Test Well: POZO N° 1					
Test Date: 07/07/2022					
<u>WELL DATA</u>					
Pumping Wells			Observation Wells		
Well Name	X (m)	Y (m)	Well Name	X (m)	Y (m)
New Well	774534.69	9209879.59	□ New Well	774534.69	9209879.59
<u>SOLUTION</u>					
Aquifer Model: <u>Confined</u>			Solution Method: <u>Theis</u>		
T = <u>10.06</u> m ² /day			S = <u>0.001</u>		
Kz/Kr = <u>1</u>			b = <u>1</u> m		

2. POZO N.º 02

✓ Prueba de descenso

- Caudal: 0.51 l/s
- Coordenadas:

Tabla 14. Coordenadas del Pozo N.º 02.

Norte	774525.06
Este	92099818.34
Altitud	2707

Gráfico 124. Prueba de bombeo Pozo Nº02

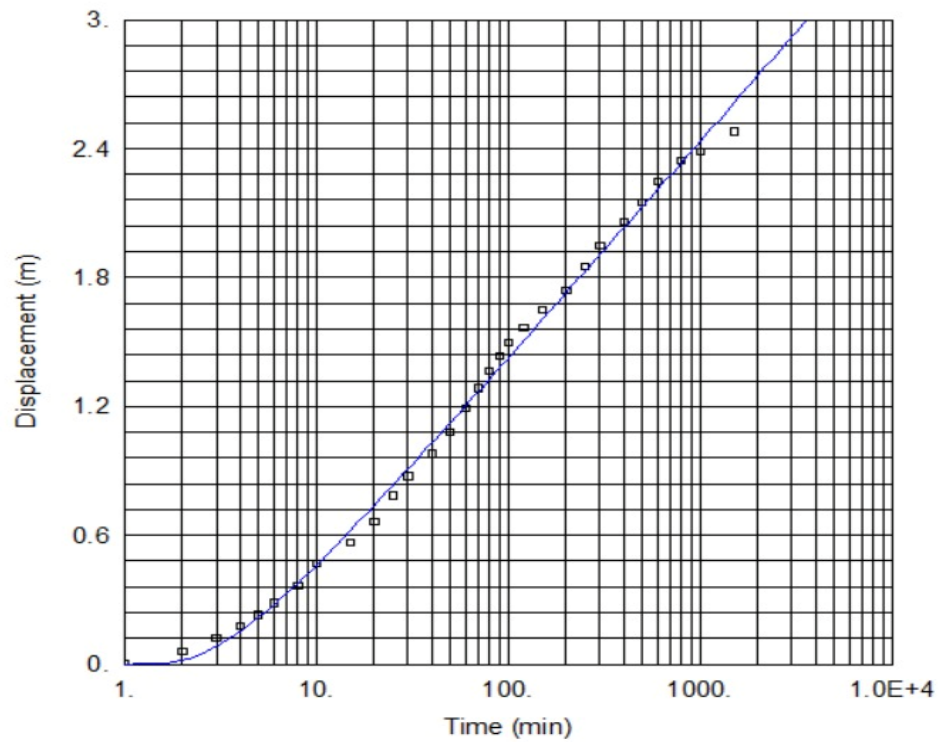


Gráfico 135. Valor de la Transmisividad prueba de descenso, Coeficiente de Almacenamiento

PRUEBA DE DESCENSO					
Data Set:		Time: 14:05:25			
Date: 05/21/23					
PROJECT INFORMATION					
Company: JENNY TERAN ROMERO					
Client: UNC					
Project: 02					
Location: LA MOLINA					
Test Well: POZO Nª 2					
Test Date: 21/07/2022					
WELL DATA					
Pumping Wells			Observation Wells		
Well Name	X (m)	Y (m)	Well Name	X (m)	Y (m)
New Well	774525.06	92099818.34	a New Well	774525.06	92099818.34
SOLUTION					
Aquifer Model: Confined			Solution Method: Theis		
T = 7.96 m ² /day			S = 0.04938		
Kz/Kr = 1			b = 0.5 m		

✓ Prueba de recuperación

Gráfico 146. Prueba de bombeo Pozo N°02

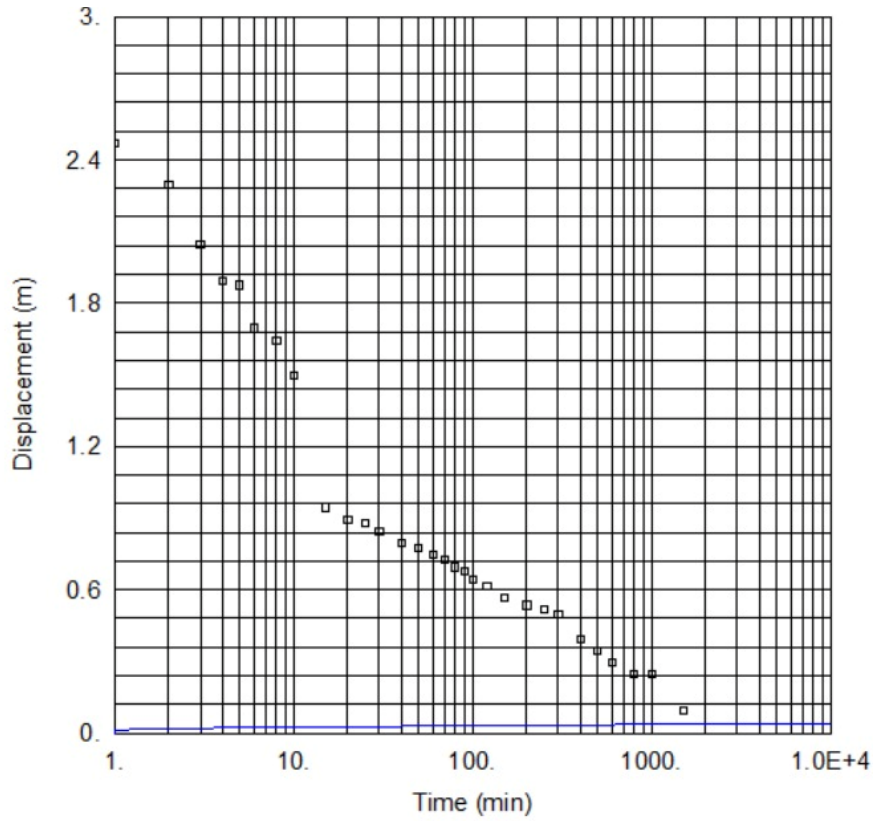


Gráfico 157. Valor de la Transmisividad prueba de descenso, Coeficiente de Almacenamiento

WELL TEST ANALYSIS					
Data Set:		Time: 18:14:40			
Date: 02/28/24					
PROJECT INFORMATION					
Company: JENNY TERAN ROMERO					
Client: UNC					
Project: 02					
Location: LA MOLINA					
Test Well: POZO N° 2					
Test Date: 21/07/2022					
WELL DATA					
Pumping Wells			Observation Wells		
Well Name	X (m)	Y (m)	Well Name	X (m)	Y (m)
Pozo N°02	774525.06	2099818.34	Pozo N°02	774525.06	2099818.34
SOLUTION					
Aquifer Model: Confined			Solution Method: Theis		
T = 5.79 m ² /day			S = 0.001		
Kz/Kr = 1			b = 0.55 m		

3. POZO N.º 03

✓ **Prueba de descenso**

Caudal: 0.63 l/s

Coordenadas:

Tabla 15.Coordenadas Pozo N°03.

Norte	775243.7
Este	9210236.67
Altitud	2701

Gráfico 168.Prueba de bombeo Pozo N°03.

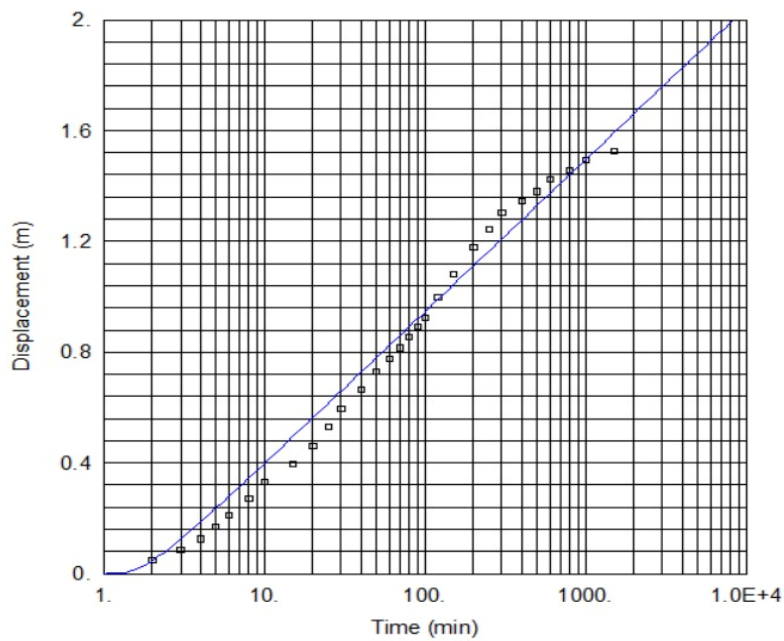


Gráfico 179.Valor de la Transmisividad, Coeficiente de Almacenamiento.

WELL TEST ANALYSIS					
Data Set:		Time: 15:51:10			
Date: 02/28/24					
PROJECT INFORMATION					
Company: JENNY TERAN ROMERO					
Client: UNC					
Project: 03					
Location: LA MOLINA					
Test Well: POZO N° 3					
Test Date: 25/07/2022					
WELL DATA					
Pumping Wells			Observation Wells		
Well Name	X (m)	Y (m)	Well Name	X (m)	Y (m)
New Well	775243.7	9210236.67	o New Well	775243.7	9210236.67
SOLUTION					
Aquifer Model: Confined			Solution Method: Theis		
T = 17.85 m ² /day			S = 0.05293		
Kz/Kr = 1			b = 1 m		

✓ Prueba de recuperación

Gráfico 20. Prueba de bombeo Pozo N°03 recuperación.

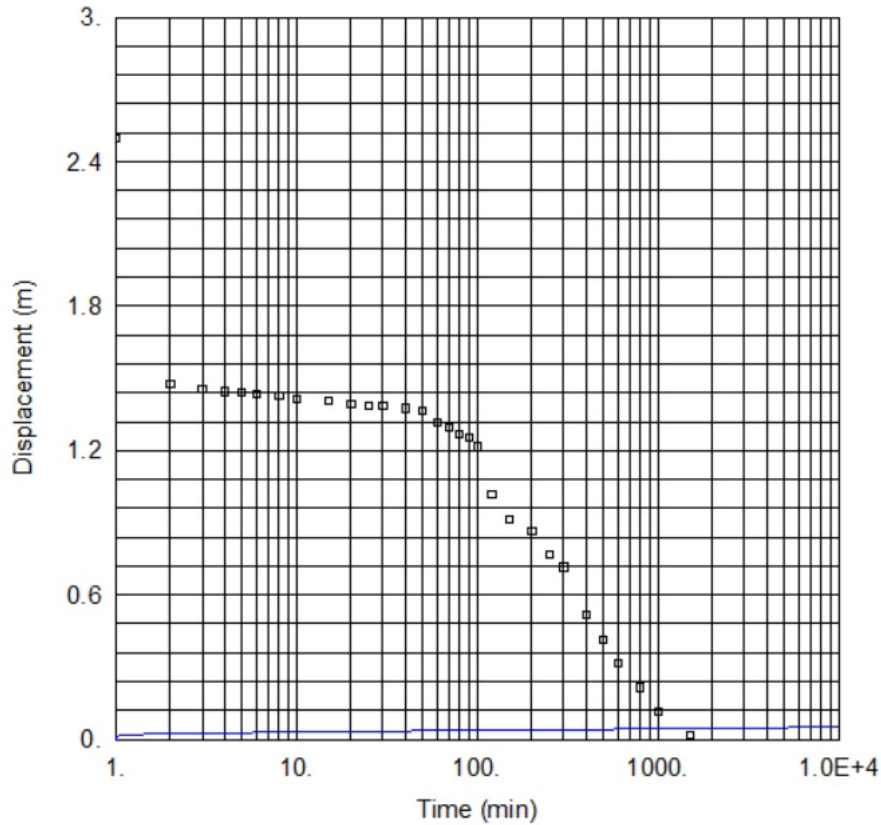


Gráfico 21. Valor de la Transmisividad, Coeficiente de Almacenamiento.

WELL TEST ANALYSIS					
Data Set:		Time: 18:49:50			
Date: 02/28/24					
PROJECT INFORMATION					
Company: JENNY TERAN ROMERO					
Client: UNC					
Project: 03					
Location: LA MOLINA					
Test Well: POZO N° 3					
Test Date: 21/07/2022					
WELL DATA					
Pumping Wells			Observation Wells		
Well Name	X (m)	Y (m)	Well Name	X (m)	Y (m)
Pozo N°03	775243.7	9210236.67	□ Pozo N°03	775243.7	9210236.67
SOLUTION					
Aquifer Model: Confined			Solution Method: Theis		
T = 14.73 m ² /day			S = 0.001		
Kz/Kr = 1			b = 1 m		

4. POZO 4

✓ Prueba de descenso

Caudal: 0.54 l/s

Coordenadas:

Tabla 16.Coordenadas Pozo N°04.

Norte	774664.65
Este	9210169.89

Gráfico 22.Prueba de bombeo PozoN°04

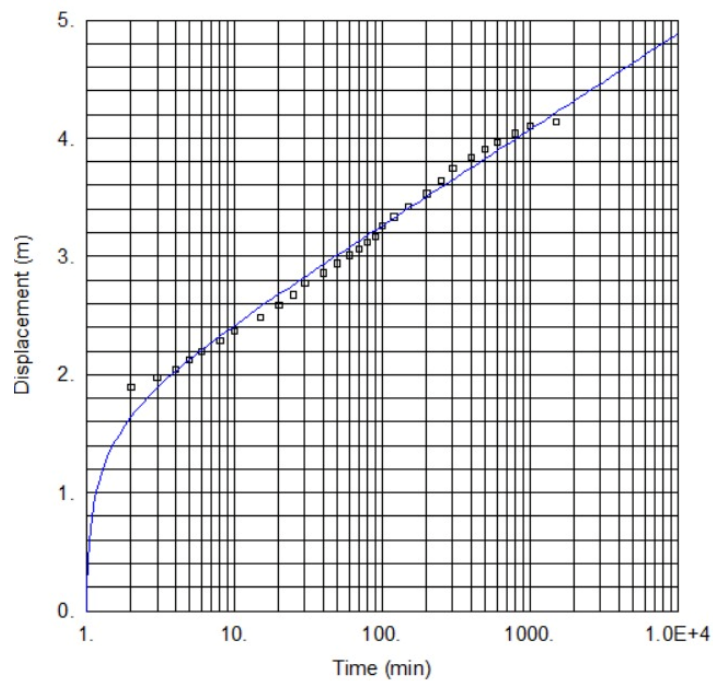


Gráfico23. Valor de la Transmisividad prueba de descenso, Coeficiente de Almacenamiento

PRUEBA DE DESCENSO					
Data Set:		PRUEBA DE DESCENSO			
Date: 05/21/23		Time: 13:58:15			
PROJECT INFORMATION					
Company: JENNY TERAN ROMERO					
Client: UNC					
Project: 03					
Location: LA MOLINA					
Test Well: POZO N° 4					
Test Date: 15/08/2022					
WELL DATA					
Pumping Wells			Observation Wells		
Well Name	X (m)	Y (m)	Well Name	X (m)	Y (m)
POZO N° 4	774664.65	9210169.89	POZO N° 4	774664.65	9210169.89
SOLUTION					
Aquifer Model: <u>Confined</u>			Solution Method: <u>Theis</u>		
T = <u>10.54</u> m ² /day			S = <u>0.006401</u>		
Kz/Kr = <u>1</u>			b = <u>0.5</u> m		

✓ Prueba de recuperación

Gráfico 24. Prueba de bombeo Pozo N°04

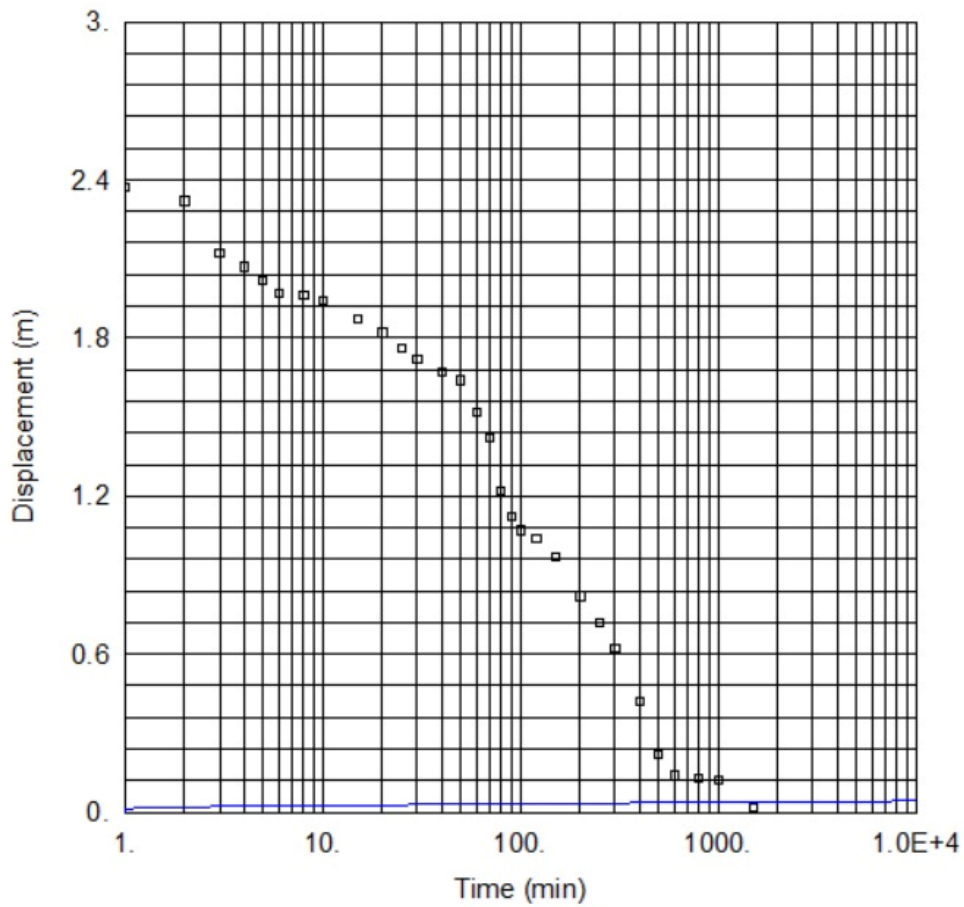


Gráfico 25. Valor de la Transmisividad prueba de descenso, Coeficiente de Almacenamiento

<u>WELL TEST ANALYSIS</u>					
Data Set:		Time: 19:09:52			
Date: 02/28/24					
<u>PROJECT INFORMATION</u>					
Company: JENNY TERAN ROMERO					
Client: UNC					
Project: 04					
Location: LA MOLINA					
Test Well: POZO N° 4					
Test Date: 15/08/2022					
<u>WELL DATA</u>					
Pumping Wells			Observation Wells		
Well Name	X (m)	Y (m)	Well Name	X (m)	Y (m)
Pozo N°04	774664.65	9210169.89	□ Pozo N°04	774664.65	9210169.89
<u>SOLUTION</u>					
Aquifer Model: Confined			Solution Method: Theis		
T = 8.90 m ² /day			S = 0.001		
Kz/Kr = 1.			b = 0.5 m		

✚ Coeficiente de almacenamiento

Estos parámetros fueron obtenidos mediante pruebas de bombeo en 4 pozos de estudio.

Tabla 27. Coeficiente de almacenamiento

CARACTERISTICAS HIDRODINAMICAS DE LOS POZOS		
COEFICIENTE DE ALMACENAMIENTO		
DESCRIPCION	FASE DE DESCENSO	FASE DE RECUPERACION
POZO 1	0.033	0.01
POZO 2	0.049	0.01
POZO 3	0.053	0.01
POZO 4	0.006	0.01

✚ Conductividad hidráulica

Para hallar la conductividad se determinó anteriormente la transmisividad la misma que se dividió entre el espesor del acuífero y se obtuvo el mencionado parámetro. Los resultados se muestran en la tabla N° 15, y los detalles de las pruebas de bombeo (descenso y recuperación) en anexos.

Tabla 18. Conductividad Hidráulica La Molina.

CARACTERISTICAS HIDRODINAMICAS DE LOS POZOS			
CONDUCTIVIDAD			
DESCRIPCION	FASE DE DESCENSO	FASE DE RECUPERACION	UNIDAD
POZO 1	0.304	0.491	m/día
POZO 2	0.121	0.105	m/día
POZO 3	0.256	0.201	m/día
POZO 4	0.186	0.162	m/día

Fuente: Elaboración Propia

✚ Porosidad efectiva

Para el cálculo de este parámetro hidrodinámico depende del valor de la conductividad hidráulica como se muestra anteriormente en el procedimiento.

Tabla 39. Porosidad Efectiva en La Molina

CARACTERISTICAS HIDRODINAMICAS DE LOS POZOS		
POROSIDAD EFECTIVA%		
DESCRIPCION	FASE DE DESCENSO	FASE DE RECUPERACION
POZO 1	0.051	0.045
POZO 2	0.055	0.070
POZO 3	0.035	0.032
POZO 4	0.043	0.040

Fuente: Elaboración Propia

4.2. Cálculos de estudio Hidrológico

4.3.1 Cálculo de caudal: Para el cálculo del caudal se tuvo en cuenta el cálculo de coeficiente de escorrentía, intensidad y el área de la cuenca, usando la formula siguiente:

$$Q = C.I.A$$

C: Coeficiente de escorrentía

I: Intensidad

A: Área de la cuenca

Tabla 20. Cálculo de Caudal

CUENCA N°1	
AREA	7.572
PENDIENTE	0.204
COBERTURA DE SUELO	Pastos y vegetación ligera
TIPO DE SUELO	Permeable
COEFICIENTE DE ESCORRENTIA	0.334
INTENSIDAD MAXIMA	11.247

Fuente: Elaboración Propia

$$Q = CIA$$

CAUDAL(m3/s)	0.730
--------------	-------

4.3.2 Aforo del rio Mashcon:

Para tener en consideración las entradas o recargas a la zona de estudio se optó por el aforo del rio para el modelamiento en el Modflow, obteniendo así los datos siguientes:

1. Cálculo de velocidad teniendo en cuenta una distancia aguas arriba y el tiempo, se tomo 3 veces, se aplicó la formula siguiente luego se promedió.

$$V = \frac{e}{t}$$

V: Velocidad (m/s)

e: Espacio o distancia (m)

t: Tiempo (s)

Tabla 21. Cálculo de Velocidad

N.º TOMA	DISTANCIA (m)	TIEMPO (s)	VELOCIDAD (m/s)
1	11	35.95	0.306
2	11	35.85	0.307
3	11	35.7	0.308
PROMEDIO			0.307

Fuente: Elaboración Propia

2. Para el cálculo de caudal se aplicó la formula siguiente, posteriormente se sacó el promedio de todos los puntos.

$$Q = A \times V$$

Q: Caudal (m³/s)

A: Área (m²)

V: Velocidad(m/s)

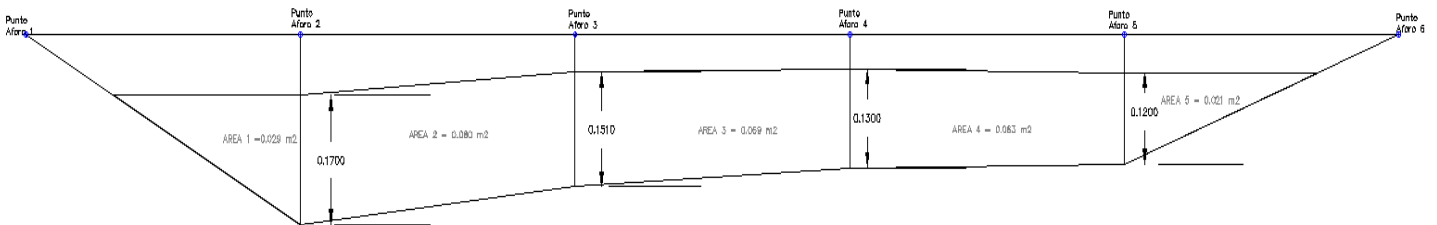
Tabla 22. Caudal Aforo Rio Mashcon

PUNTO	AREA ARPOXIMADA DE CAUCE(m ²)	VELOCIDAD PROMEDIO(m/s)	CAUDAL(m ³ /s)
1	0.029	0.307	0.009
2	0.080	0.307	0.025
3	0.069	0.307	0.021
4	0.063	0.307	0.019
5	0.021	0.307	0.006
CAUDAL PROMEDIO(m³/s)			0.016

CAUDAL PROMEDIO(Lts/s)	16.086
-------------------------------	---------------

Fuente: Elaboración Propia

Gráfico 18.Representación Gráfica del Aforo del Rio Mashcon



Fuente: Elaboración Propia

4.3. Cálculo de la precipitación media

CUENCA	AREA	AREA DE INFLUENCIA	% AREA DE INFLUENCIA	PRECIPITACION PROMEDIO	Área*Precipitación	Precipitación Media
SC1	7.572013	1.638818	22%	103.93	170.3223547	103.93
SC2		5.933195	78%		616.6369564	
Total		7.572013	100%		786.96	

La precipitación media es de 103.93 mm/mes será usado en el modelamiento de HEC-HMS para el cálculo de la infiltración.

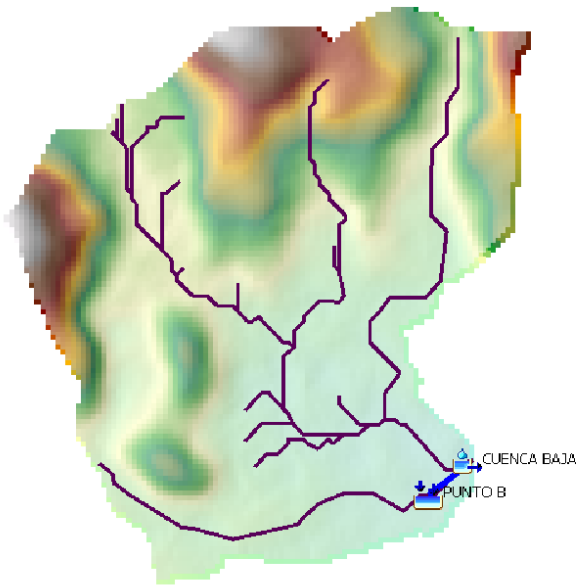
4.4. Cálculo de caudal de la cuenca

Para el cálculo de la cuenca se realizó mediante el método racional utilizando la formula siguiente:

4.5. Cálculo de Infiltración

1. Se determinó los parámetros de la cuenca y del río, se introdujo en el programa teniendo en cuenta que de la CUENCA BAJA el único aporte hídrico es la precipitación areal y así como el dato del aforo del río.

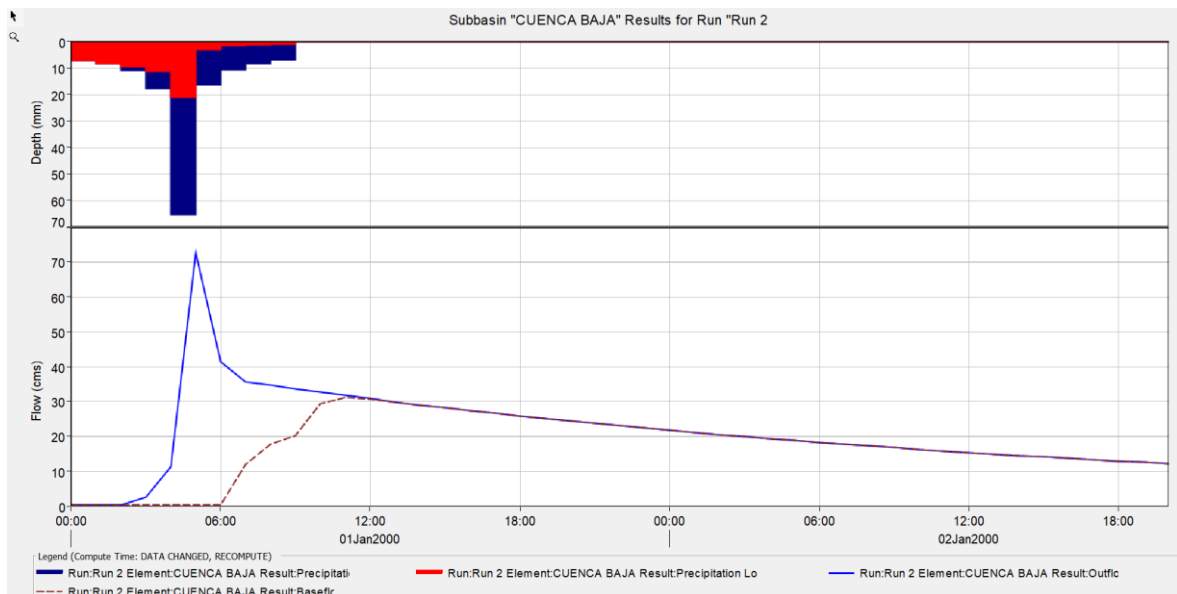
Gráfico 19.Cuenca de estudio



De acuerdo a la ubicación de la cuenca podemos apreciar que en este caso trabajamos solo una estación teniendo en cuenta que a partir de la precipitación areal se ha realizado el estudio hidrológico para la zona de estudio esta estación aportaba al río del mismo modo el comportamiento de la escorrentía y por la topografía la cuenca baja escurre al punto B para posteriormente almacenarse en el río Rio, en el tramo del río al punto de aforo que es el SINK-1 representa la suma de todos los caudales almacenados es por ello que en la gráfica de hidrograma se representa estos caudales en forma gráfica.

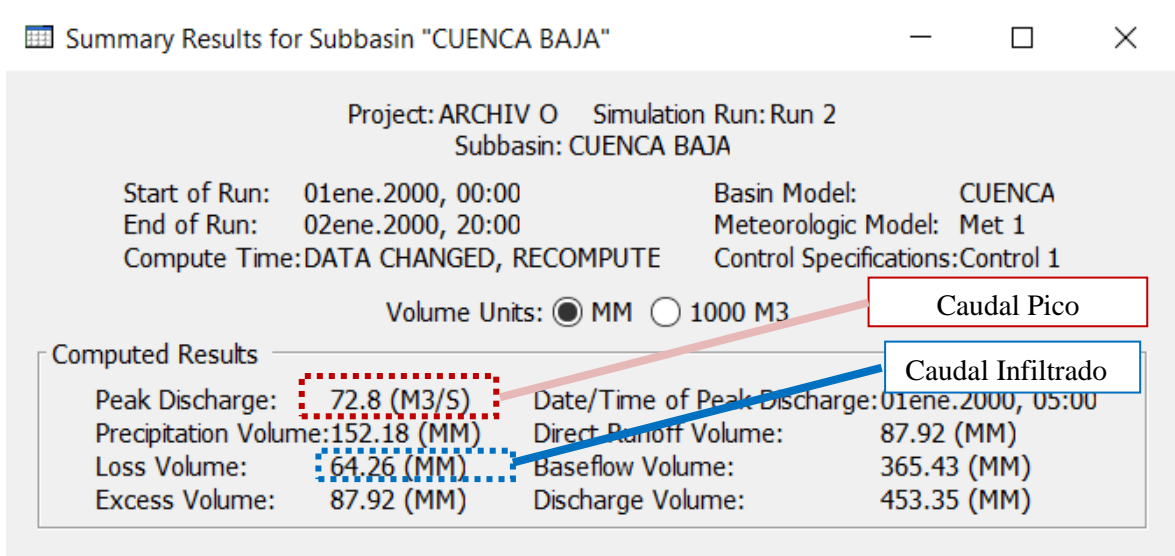
Fuente: Elaboración Propia

Gráfico 20.Grafico de cálculo de infiltración



Fuente: Elaboración Propia

Gráfico 21. Resultados de Infiltración en la cuenca de estudio



Fuente: Elaboración Propia

4.6. Datos geológicos

La zona de estudio está formada por 4 unidades geológicas que poseen características como datan a continuación; asimismo cabe mencionar que esta información es fundamental para el modelo.

Tabla 43. Características Hidrogeológicas

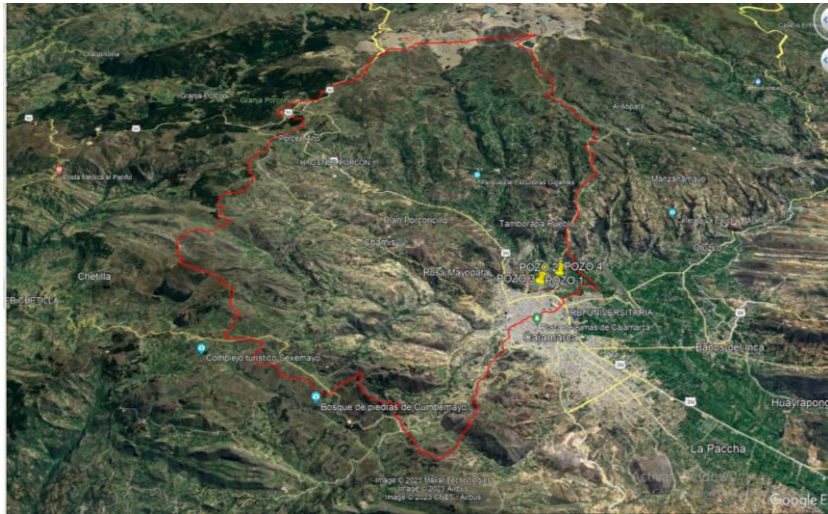
CARACTERISTICAS DE FORMACIONES HIDROGEOLOGICAS		
DESCRIPCION	Espesor(m)	K(m/día)
Depósitos Cuaternarios	20	1.1E-02
Huambos	50	1.0E-03
Farrat	100	1.16E-03

Fuente: Sanders, 1998

4.7. Aplicación del programa Model Mouse

1. Ubicación en el Google earth de los pozos en estudio.

Gráfico 22.Ubicación de los pozos en la zona de estudio.



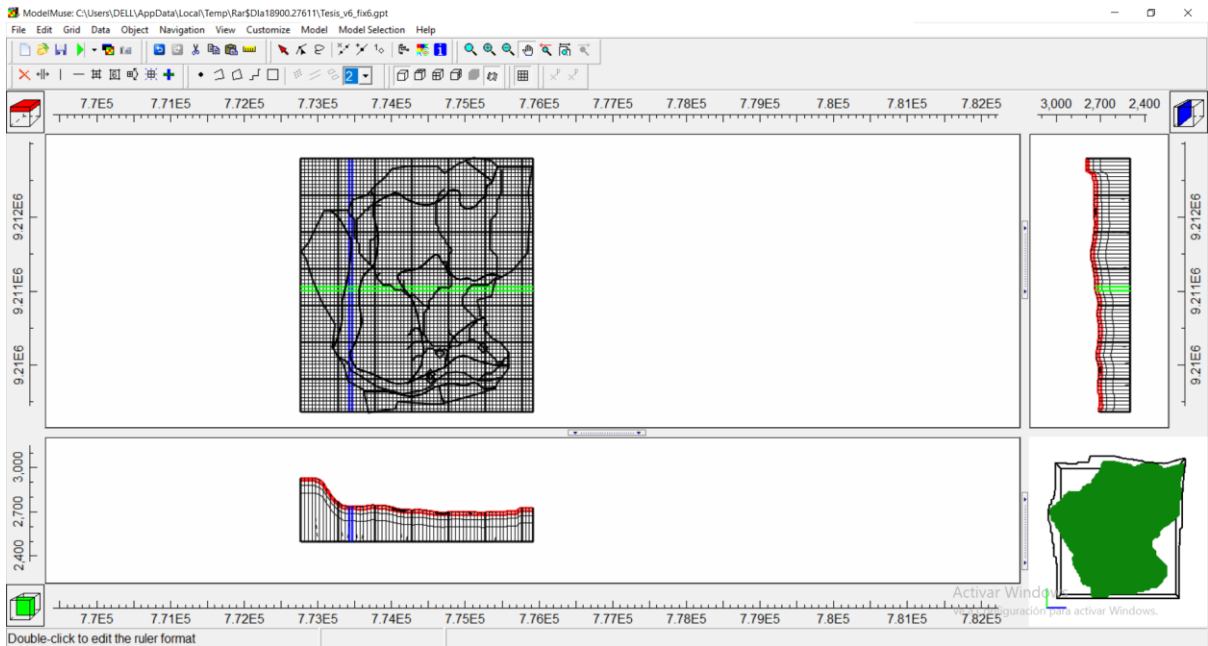
2. Levantamiento topográfico del área del terreno y con el GPS se logró transformar el archivo de Kml a GPX file para tener la ubicación y las elevaciones dentro del área de trabajo.

Gráfico 23.Levantamiento topográfico de la zona de estudio en Google Earth.



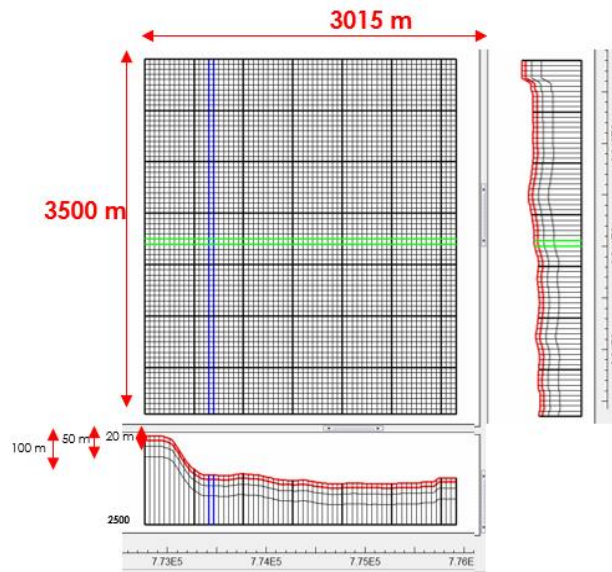
3. Importación del contorno del área del trabajo al programa para iniciar el modelamiento y la generación de las celdas.

Gráfico 24. Introducción de Shapefile de contorno de área de trabajo.



4. Para la construcción del terreno se genero la grilla del modelo numérico mediante la discretización horizontal vertical, con los datos adjuntados.

Gráfico 25.Discretizacion de celdas.



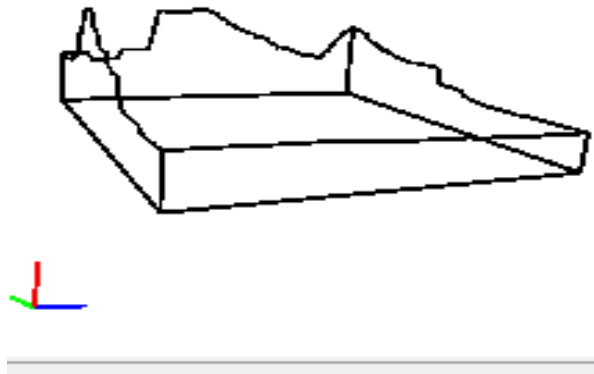
5. Para la implementación de la topografía se tiene en cuenta la geología en la zona en este caso estuvo conformada por UH Depósitos, UH Huambos, UH Farrat, así como el espesor de cada acuífero.

Topo del Modelo → Interpolación “Punto Más Cercana”

- ✓ Capa 1 → Topo – 20
- ✓ Capa 2 → Topo – 50

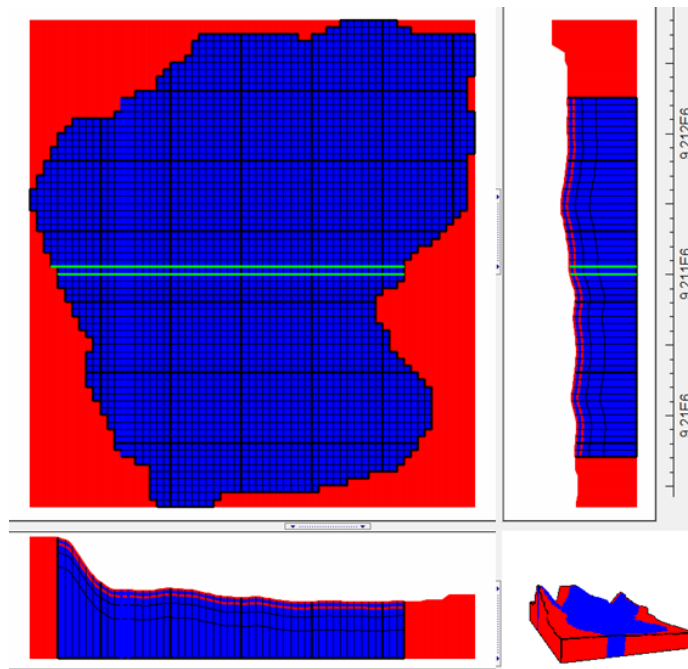
- ✓ Capa 3 → Topo – 100
- ✓ Base → 2500

Gráfico 26.Implementacion de topografía



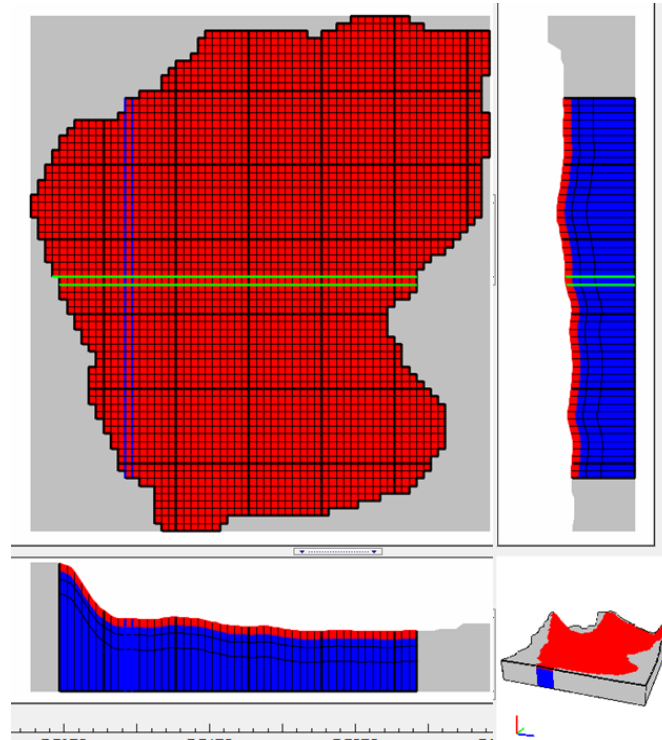
6. Dominio del Modelo / Celdas Activas, se activa las celdas donde dentro del Dominio y se coloca la condición de “Celdas Convertibles o No Confinadas”.

Gráfico 27.Dominio de modelo y Celdas activas



7. Se introduce datos de recarga, se activa el paquete de Recarga → [RCH], solo en la primera capa (contacto directo con la precipitación) que fue calculado mediante el estudio hidrogeológico $4.22E-05$ m/d.

Gráfico 28.Introducción de datos de recarga (Infiltración)

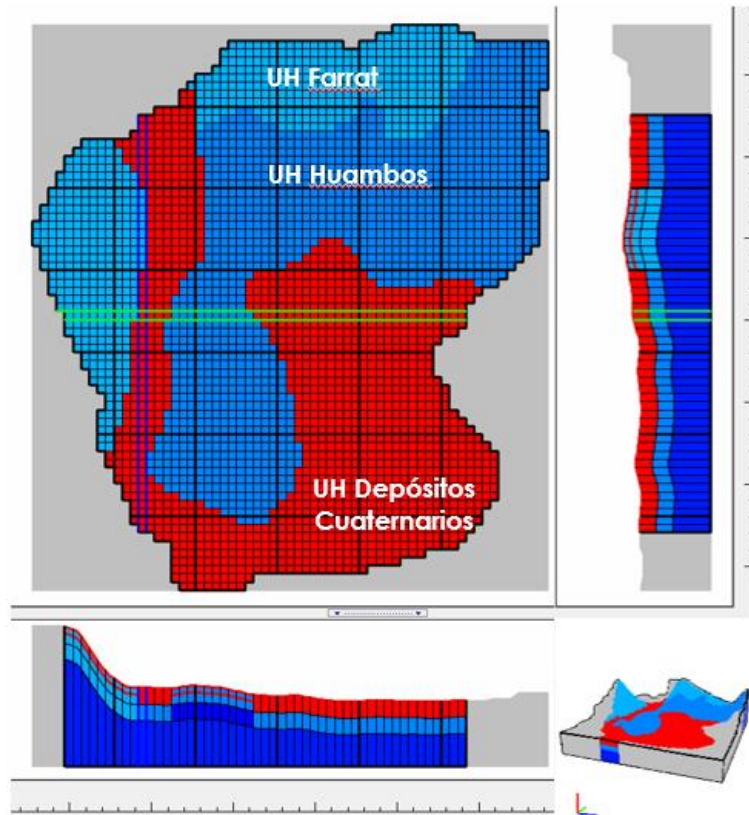


8. Se introduce los parámetros hidráulicos, específicamente la conductancia de las unidades hidrogeológicas.

Tabla 54.Parámetros hidráulicos

UH	K max [m/d]	K min [m/d]
Depósitos Cuaternarios	1.1E-02	1.1E-02
Huambos	1.0E-03	1.0E-4
Farrat	1.16E-03	1.16E-04

Gráfico 29. Conductancia unidades hidrogeológicas



9. Se introduce las condiciones de borde caudal de los pozos y el tirante y conductancia del río.

✓ **Caudal / Profundidad Pozos [WELL]:**

- Pozo N.º 01: 18 m³/d / 4.2
- Pozo N.º02: 45 m³/d / 4
- Pozo N.º03: 51 m³/d / 8
- Pozo N.º04: 51 m³/d / 8.4

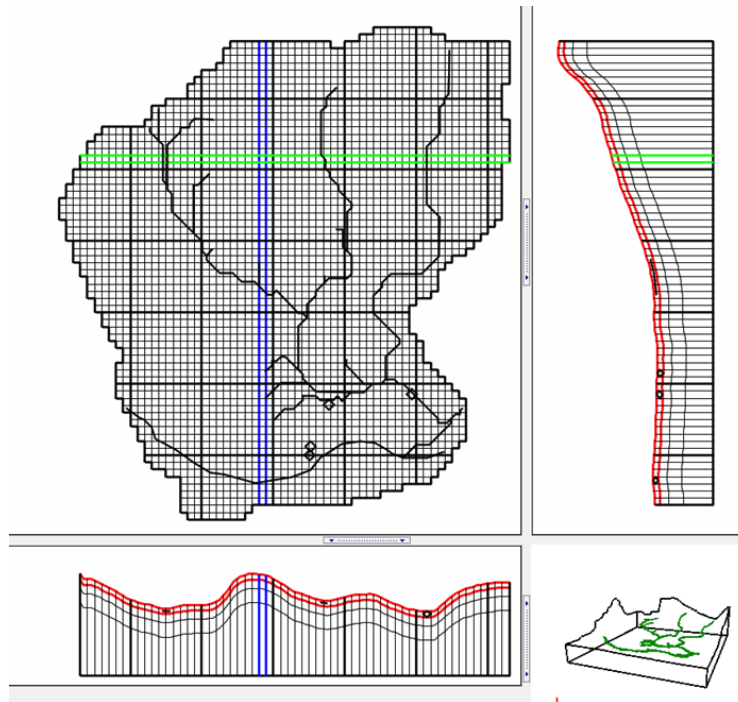
✓ **Tirante / Conductancia / Base Ríos [RIV]:**

- Tope + 0.145 / 0.017 / Tope

✓ **Elevación / Conductancia Quebradas [DRN]:**

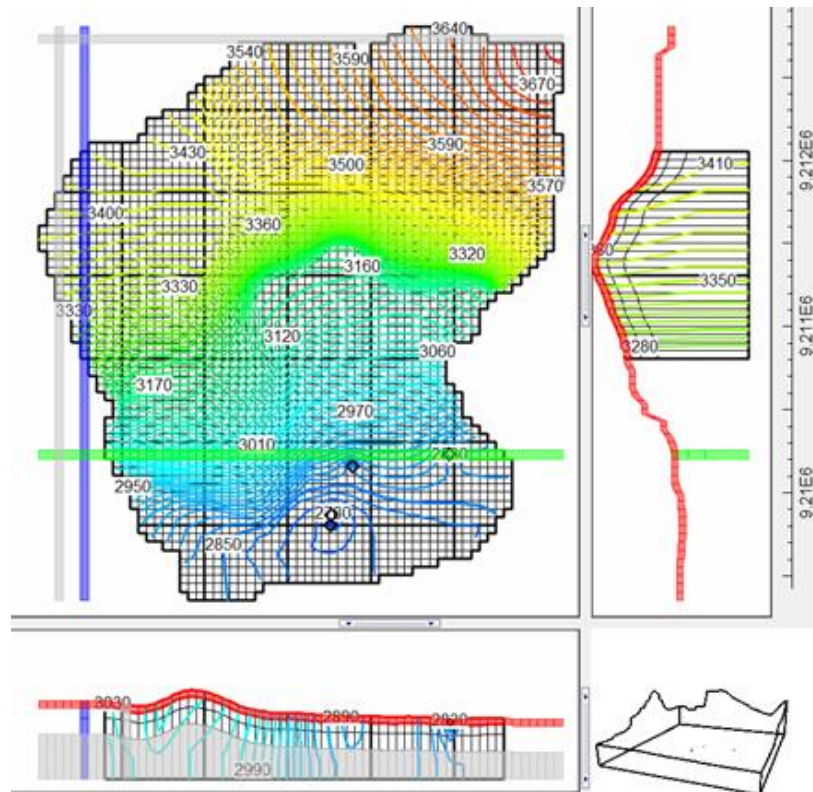
- Tope / 3.53E-06

Gráfico 30. Condiciones de borde del modelo



10. Se realiza la simulación para la obtención de resultados de balance hídrico y nivel freático.

Gráfico 31. Simulación de programa



VOLUME BUDGET FOR ENTIRE MODEL AT END OF TIME STEP 1, STRESS PERIOD 1

CUMULATIVE VOLUME	L**3	RATES FOR THIS TIME STEP	L**3/T	PACKAGE NAME
IN:		IN:		
---		---		
WEL =	0.0000	WEL =	0.0000	WEL-1
DRN =	0.0000	DRN =	0.0000	DRN-1
RIV =	0.0000	RIV =	0.0000	RIV-1
RCH =	333.4855	RCH =	333.4855	RCH-1
TOTAL IN =	333.4855	TOTAL IN =	333.4855	
OUT:		OUT:		
----		----		
WEL =	166.8300	WEL =	166.8300	WEL-1
DRN =	0.5397	DRN =	0.5397	DRN-1
RIV =	166.1161	RIV =	166.1161	RIV-1
RCH =	0.0000	RCH =	0.0000	RCH-1
TOTAL OUT =	333.4858	TOTAL OUT =	333.4858	
IN - OUT =	-3.2371E-04	IN - OUT =	-3.2371E-04	
PERCENT DISCREPANCY =	-0.00	PERCENT DISCREPANCY =	-0.00	

TIME SUMMARY AT END OF TIME STEP	SECONDS	MINUTES	HOURS	DAYS	YEARS
TIME STEP LENGTH	86400.	1440.0	24.000	1.0000	2.73785E-03
STRESS PERIOD TIME	86400.	1440.0	24.000	1.0000	2.73785E-03
TOTAL TIME	86400.	1440.0	24.000	1.0000	2.73785E-03

end timestep

Se muestra que la distribución el potencial hídrico de la zona de estudio es de 333.4858 litros, y la distribución de este potencial hídrico es de 166,83 litros en pozos, 0.5397 litros en quebradas, y 166.12 litros en rio.

4.8. Potencial Hídrico Subterráneo

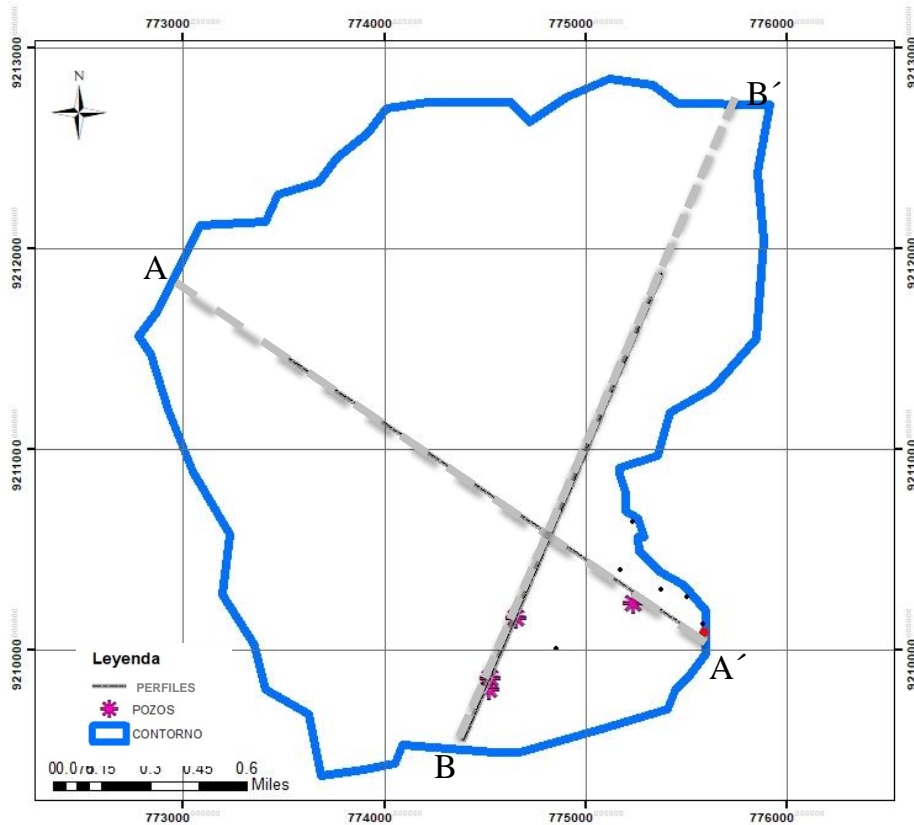
Tabla 6. Potencial hídrico subterráneo de las cuencas de estudio

CUENCA	AREA (m2)	ABATIMIENTO(m)	POROSIDAD EFECTIVA	POTENCIAL HIDRICO DEL ACUIFERO(m3)
Área Estudio La Molina	7572000	0.646	0.046	225096.553

4.9. DISCUSION DE RESULTADOS

- **Estratigrafía del área de estudio.**

Mapa. 9.Perfiles de Terreno



Mediante la proyección de perfiles dentro área del estudio como se muestra en el **Mapa.1.** y según la geología **Mapa.9.** en el perfil A'-A, la zona de estudio está formada por la formación Huambos que permite la circulación y almacenamiento de agua subterránea, debido a sus características geológicas, favoreciendo a un flujo hídrico preferencial y aumentando la capacidad para transmitir agua debido a la porosidad de las rocas piroclásticas que es su conjunto pueden formar un acuífero libre o semiconfinado. Respecto a los depósitos aluviales son por lo general arcillosos lo que da lugar a la presencia del agua permitiendo la retención del flujo para el almacenamiento. El perfil B-Posee la misma geología. Cabe mencionar que la composición arcillosa de los depósitos aluviales como se muestra en ambos perfiles influye en la recuperación lenta de los pozos ya que su composición de poca permeabilidad no permite la recarga rápida y eso es lo que se observó durante las pruebas de bombeo.

Además de ello es necesario mencionar sobre la conductividad hidráulica de las formaciones geológicas ya que es crucial para el flujo y la recarga del agua subterránea, porque determina la facilidad con la que el agua puede moverse a través de un material poroso o fracturado. De acuerdo con este parámetro, se considera que es una zona poco permeable, donde se puede clasificar de acuerdo con los materiales sedimentarios y conductividad de estos. (**Tabla 08.** y **Tabla 09.**), que en la zona de estudio existe acuíferos pobres y acuitardos que se caracteriza por tener una capacidad de almacenamiento alta, y de drenaje entre medio y alta.

Gráfico 321. Perfil A-A´

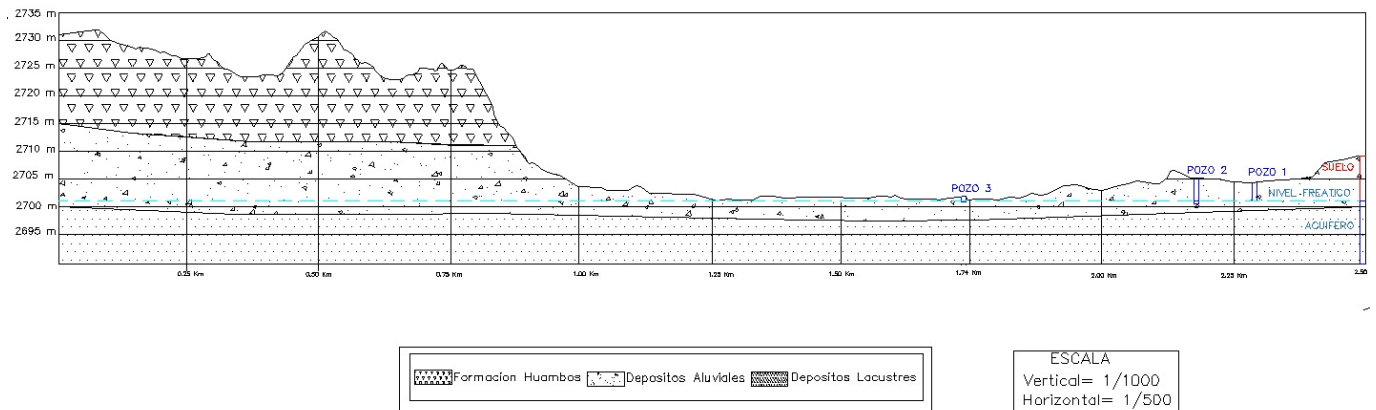
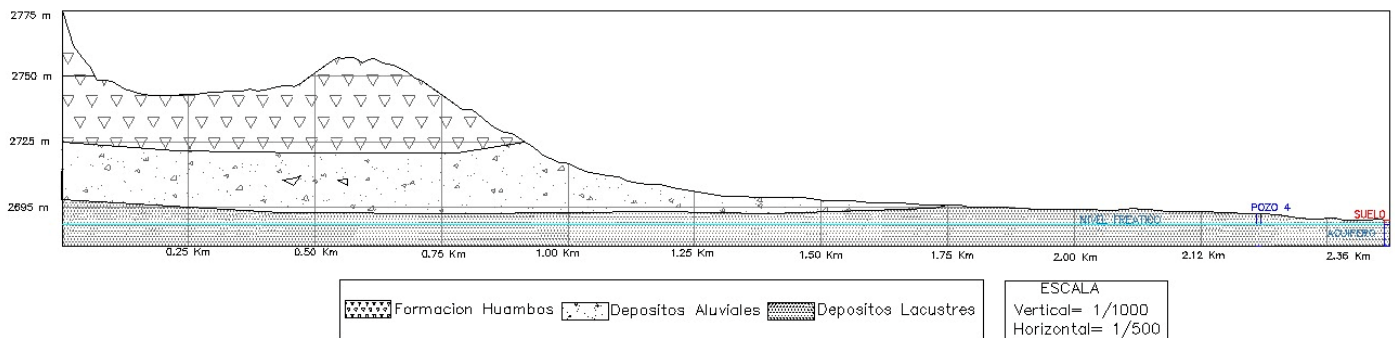


Gráfico 332. Perfil B-B´



- **Parámetros hidrogeológicos de pozos**

Las pruebas de bombeo se realizaron con el fin de obtener los parámetros hidrodinámicos, donde se obtuvo lo siguiente:

- ✓ Respecto a la porosidad efectiva, de acuerdo con los resultados de la **Tabla 16.** Se obtuvo que en la fase de descenso está en un rango de 0.035 del pozo N°03 y 0.032 en el pozo N°02 y en la etapa de recuperación con un valor de 0.032 y 0.070 del pozo N°03 y N° 02 respectivamente; cabe mencionar que en la etapa de recuperación del pozo N°02, la cantidad de agua que se libera por acción de

la gravedad es mayor debido a que el tipo de depósito que conforma el área es aluvial que se caracteriza por tener una permeabilidad de baja a media lo que permite una liberación de agua mayor que la del pozo N°03 ya que el depósito es lacustre que tiene una permeabilidad baja debido a que consta de limos y arcillas en mayor cantidad, teniendo en cuenta los perfiles. **Gráfico 32.** y **Grafico.31**

✓ Respecto a la conductividad hidráulica los valores obtenidos de acuerdo con la **Tabla.18** de la fase de descenso están en un rango de 0.12 m/día del pozo N°03 y 0.304 m/día del pozo N°01, en fase de recuperación el rango varía entre 0.201 m/día del pozo N°03 y 0.491 m/día del pozo N°01, de acuerdo con la clasificación de Conductividad Hidráulica mostrados en la **Tabla 2**. Tomando en cuenta los valores se dice que por los rangos obtenidos se evidencia que posee una conductividad clase media a baja, además se verifica que el Pozo N°01 posee el valor de la conductividad más alta siendo clase media lo cual se entiende que hay más facilidad del agua que pase a través a la superficie debido a la permeabilidad media que posee el depósito aluvial por el que geológicamente está conformada esa área en comparación con el pozo N°03.

✓ Respecto a la transmisividad los valores obtenidos de acuerdo con la **Tabla 13**.de la fase de descenso este parámetro varia de un rango de 7.96 m²/día a 15.09 m²/día, y la fase de recuperación entre 5.79 m²/día 14.73 m²/día de los pozos N°03 Y N°02 respectivamente para ambas fases, cabe mencionar que se evidencia que en el pozo N°02 hay más capacidad de ceder agua a la superficie por la caracterización geológica en la zona estudiada.

✓ En base a los valores obtenidos del coeficiente de almacenamiento calculados en la **Tabla 17**. los valores varían entre 0.01 y 0.033 concluyendo que en la zona de estudio el tipo acuífero es libre o freático de acuerdo con la clasificación mostrada en la **Tabla 4**.

- **Análisis ModFlow**

Se realizo un breve análisis del modelamiento de Modflow con el fin de determinar la recarga y distribución del flujo, desarrollado con un estudio geológico a partir de las formaciones que abarca la zona de estudio determinando ser una zona con una permeabilidad de media a baja con depósitos aluviales y lacustres; con el estudio hidrológico se evidencio que

en la zona estudiada esta conformada por un tipo de suelo tipo regosol eutrico que es susceptible a la erosión moderadamente alta, el uso de suelo en la zona es la agricultura andina, área urbana y matorral arbustivo que influyen en la infiltración del flujo que fue calculado mediante el HEC HMS obteniendo un valor de 64.26 m^3 , la precipitación media en la zona estudiada es de 103.93 mm/mes esta fue considerada como un aporte o recarga de flujo al área de estudio; asimismo el caudal del río Mashcon con un flujo de $0.016 \text{ m}^3/\text{s}$ con una velocidad de 0.307 m/s , mediante el análisis simple de esta información modelado en el modflow se determina que las entradas que existen en la zona de estudio fue de 333.4855 litros es el volumen total y las salidas que existen en el área estudiada es de 333.4858 litros . La diferencia de volumen de entrada y salida en la zona estudia fue de $-3.0237 \cdot 10^{-4} \text{ litros}$ lo que significa ya una sobreexplotación del acuífero el valor obtenido se debe a que el área de análisis es pequeña.

- **Determinación del potencial hídrico subterráneo**

El potencial hídrico calculado para la zona de estudio es de 225096.553 m^3 , este fue calculado en base al área de estudio, porosidad efectiva y la media geométrica del abatimiento de los pozos usando la metodología usada en una investigación similar.

CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- ✓ Se realizaron pruebas de bombeo de 4 pozos ubicados en la zona cuyas profundidades varían entre 4 y 8 metros.
- ✓ El valor de la Conductividad Hidráulica obtenido con el método (Theis), varían desde el 0.12 m/día hasta 0.30 m/día, estos valores según la clasificación de Martínez, B. J. (1986). corresponde a una categorización de media a baja, el material conformante es de arena muy fina y franco arcillo, arcilloso mal estructurado.
- ✓ El potencial hídrico en la zona de estudio es de 333.49 m³/día.
- ✓ Se determinó que la distribución de flujos es 166.83 m³/día a los pozos y 0.5397 m³/día a quebradas y 166.12 m³/día es del río.
- ✓ Se analizó la información levantada de la piezometría para cada uno de los pozos de la muestra con la cual se determinaron las siguientes condiciones iniciales: el pozo 01 presenta una profundidad de 8.4 m. y un caudal de 18 m³/día; el pozo N°02 presenta una profundidad de 8 m. y un caudal de 45 m³/día; el pozo N°03 presenta una profundidad de 4 m. y un caudal de 51 m³/día; el pozo N°04 presenta una profundidad de 4.2 m. y un caudal de 51m³/día.

CAPITULO VI. BIBLIOGRAFÍA

- Araujo, V. A. (29 de Octubre de 2014). Parametros cuenca delimitación - cálculos. Obtenido de Slideshare: [https://es.slideshare.net/valmisarandaaraujo/parametros-cuenca-delimitacin-clculos#:~:text=Pendiente%20de%20la%20cuenca%20\(Sg,un%20determinado%20punto%20del%20cauce.](https://es.slideshare.net/valmisarandaaraujo/parametros-cuenca-delimitacin-clculos#:~:text=Pendiente%20de%20la%20cuenca%20(Sg,un%20determinado%20punto%20del%20cauce.)
- A. Harbaugh, MODFLOW-2005, the U.S. Geological Survey Modular Ground-Water Model—the Ground-Water Flow Process USGS, 2005.
- Bateman, A. (2007). HIDROLOGIA. HIDROLOGIA BÁSICA Y APLICADA. UPC, Lima.
- Benítez. (25 de Febrero de 1980). HIDROLOGIA. Obtenido de HIDROLOGIA: <http://www.oasification.com/archivos/Coeficientes%20de%20escorrent%20C3%ADa.pdf>
- CARRASCO CANTOS, A. (1988). Hidrogeología del Campo de Nijar y acuíferos marginales, Almería. In Tecnología de la intrusión en acuíferos costeros (pp. 1-36).
- Diaz, J. P. (2015). Modelamiento hidrogeologico para estimar el caudal optimo de la parte baja del acuífero Valle del Rio Lurin. Peru: abc.
- Domingo, J. P. (2019). MODIFICACIONES HIDRODINAMICAS A LARGO PLAZO EN UN ACUIFERO MULTICAPA CON EXPLOTACION INTENSIVA CAMPO cARTAGENA(SE ESPAÑA). ESPAÑA: A.
- Galvez, J. O. (2011). Aguas Subterráneas—Acuíferos. LIMA: Sociedad Geográfica de Lima.
- GIDAHATARI. (2005). Manual de Modelamiento Numero con MODFLOW. Colombia: ABC.
- Gomez, G. (2013). APLICACIÓN DEL MODELO VISUAL MODFLOW PARA LA EVALUACIÓN DE LA. MEXICO: Rev. Int. Contam. Ambie. 29 (Sup. 3) 119-

126, 2013.

- Hantush, M.S., 1961b. Aquifer tests on partially penetrating wells, Jour. of the Hyd. Div., Proc. of the Am. Soc. of Civil Eng., vol. 87, no. HY5, pp. 171-194.
- Huaccha, J. L. (2020). Aplicación de Modflow 6 con Model Mouse 4 para el. Peru:
- Huaripata, Y. M. (2017). HIDROGEOLOGÍA DE LA MICROCUENCA DEL RÍO CHONTA, BAÑOS DEL INCA. 81-85.
- HYDROSOLV. (12 de mayo de 2014). User's Guide. Obtenido de User's Guide: <https://hwbdocuments.env.nm.gov/Los%20Alamos%20National%20Labs/General/31032.pdf>
- Laureano, F. P. (25 de Abril de 2021). MODELO HIDROGEOLÓGICO DEL FUNCIONAMIENTO DE LAS FUENTES. Obtenido de MODELO HIDROGEOLÓGICO DEL FUNCIONAMIENTO DE LAS FUENTES: https://repositorio.ingemmet.gob.pe/bitstream/20.500.12544/2708/1/Pe%C3%B1a-Modelo_hidrogeol%C3%B3gico_fuentes_termales_Ba%C3%B1os_del_Inca.pdf
- Ordoñez, J. J. (2011). Aguas subterráneas -Acuíferos. En J. J. Ordoñez, Aguas subterráneas -Acuíferos (pág. 6). Lima: Zaniel I. Novoa Goicochea.
- Orellana, C. (19 de Febrero de 2016). Hidrograma unitario. Obtenido de Slideshare: <https://es.slideshare.net/CinthiaOrellana1/hidrograma-unitario>
- Pabón de Lara, Á. (1998). Actualización de la clasificación de suelos de El Salvador con los sistemas soil taxonomy, 1995 y FAO/UNESCO, 1989
- PEÑA LAUREANO, Fluquer; SEVERYN, Otto. Modelo hidrogeológico del funcionamiento de las fuentes termales de Baños del Inca, Cajamarca-Perú. 2014.
- PCE, I. (12 de enero de 2018). Estación meteorológica. Obtenido de Estación meteorológica: <https://www.pce-iberica.es/medidor-detalles-tecnicos/que-estacion-meteorologica.htm>
- Saavedra, L. F. (2013). MODELACIÓN HIDRÁULICA Y DE calidad del agua acoplada para humedales ,mediante processing Modflow. Bogota: abc.
- Sanders, 1988. Procesos del ciclo hidrológico, Basic Probability and Distributions, Statistical Tests and Estimations
- Shiklomanov, IA. (1997). World water resources. St Petersburg, Russia:

- Tito, A. P. (2021). MODELO MATEMÁTICO MODFLOW PARA DETERMINAR EL ESTADO ACTUAL DLE SISTEMA ACUIFERO EXPLOTADO EN EL DISTRITO DE SAN JOSE DE LOS MOLINOS - PROVINCIA Y DEPARTAMENTO DE ICA. PERU: CC BY.
- Theis, C.V., 1935. The relation between the lowering of the piezometric surface and the rate and duration of discharge of a well using groundwater storage, Am. Geophys. Union Trans., vol. 16, pp. 519-524.
- UNAM. (s.f.). HISTOGRAMAS. ¿QUE ES EL HISTOGRAMA? Universidad Nacional Autónoma de México, México. Obtenido de UNAM CUATITLÁN.
- VASQUEZ, G. C. (2021). ESTUDIO GEOLOGIA. CAJAMARCA: ABC.
- Zúñiga Calderón, M. J. (2019). “Modelamiento y evaluación de la intrusión marina en el acuífero Chilca, Lima.”. PERU: UPC.
- Castro, A. M. G. (2022). Análisis histórico del índice de desempeño ambiental para Colombia (2006-2014) y desafíos actuales sobre la información ambiental del país. <https://doi.org/10.11144/javeriana.10554.21159>

CAPÍTULO VII. ANEXOS

Prueba de Descenso Bombeo Pozo N°01		POZO N° 01	
Departamento: Cajamarca	Provincia : Cajamarca	Distrito : Baños del Inca	
Fecha: 7/07/2022	Caudal de bombeo: 0.2 l/s	Lugar: La Molina	
PRUEBA DE DESCENSO			
FECHA/HORA	TIEMPO (MINUTOS)	NIVEL DE AGUA	
		PROFUNDIDAD/PR(m)	ABATIMIENTO
		14.22	
	1	14.23	0.01
	2	14.25	0.03
	3	14.28	0.06
	4	14.295	0.075
	5	14.325	0.105
	6	14.35	0.13
	8	14.385	0.165
	10	14.405	0.185
	15	14.45	0.23
	20	14.485	0.265
	25	14.585	0.365
	30	14.55	0.33
	40	14.6	0.38
	50	14.62	0.4
	60	14.63	0.41
	70	14.64	0.42
	80	14.65	0.43
	90	14.66	0.44
	100	14.68	0.46
	120	14.71	0.49
	150	14.745	0.525
	200	14.73	0.51
	250	14.765	0.545
	300	14.785	0.565
	400	14.805	0.585
	500	14.835	0.615
	600	14.865	0.645
	800	14.91	0.69
	1000	14.965	0.745
	1500	14.98	0.76
DESCRIPCIÓN: Datos de Prueba de Bombeo del Pozo N°01.			

Prueba de Recuperación Bombeo Pozo N°01**POZO N° 01**

Departamento: Cajamarca

Provincia :

Cajamarca

Distrito : Baños del Inca

Fecha: 8/07/2022

Caudal de bombeo:

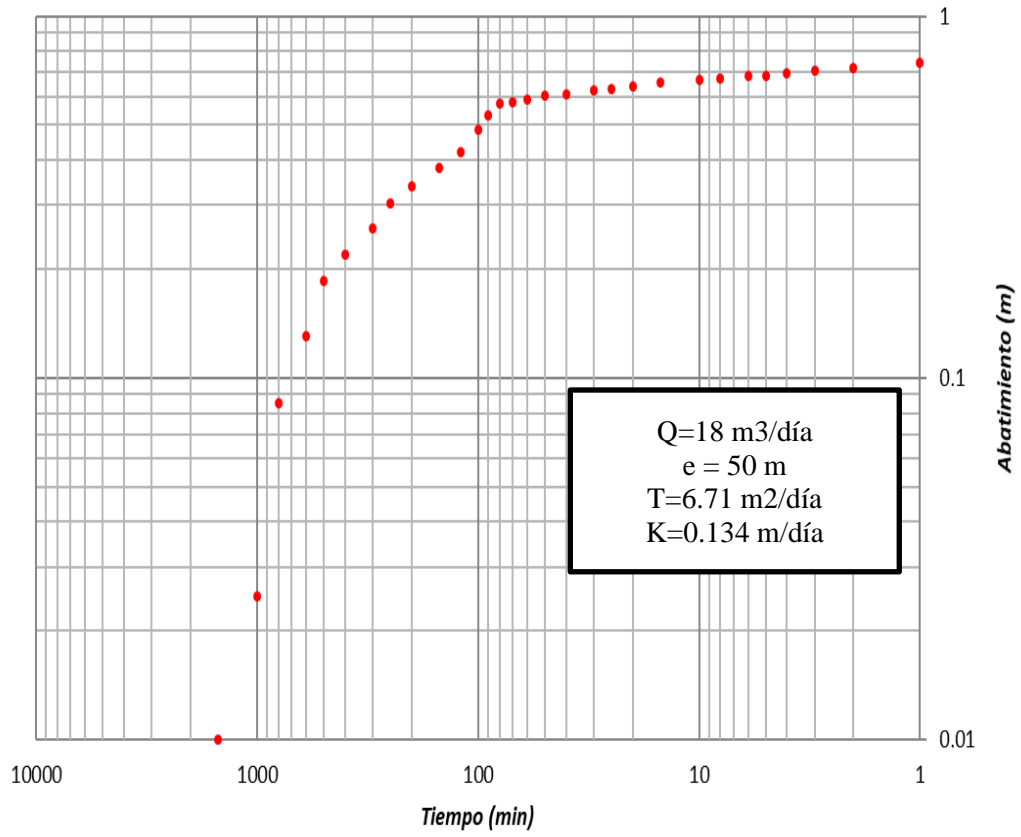
0.2 l/s

Lugar: La Molina

PRUEBA DE RECUPERACION			
FECHA/HORA	TIEMPO (MINUTOS)	NIVEL DE AGUA	
		PROFUNDIDAD/PR(m)	ABATIMIENTO
		14.22	
	1	14.965	0.745
	2	14.94	0.72
	3	14.925	0.705
	4	14.915	0.695
	5	14.905	0.685
	6	14.901	0.681
	8	14.895	0.675
	10	14.885	0.665
	15	14.875	0.655
	20	14.86	0.64
	25	14.85	0.63
	30	14.845	0.625
	40	14.83	0.61
	50	14.825	0.605
	60	14.81	0.59
	70	14.8	0.58
	80	14.795	0.575
	90	14.75	0.53
	100	14.705	0.485
	120	14.64	0.42
	150	14.6	0.38
	200	14.56	0.34
	250	14.525	0.305
	300	14.48	0.26
	400	14.44	0.22
	500	14.405	0.185
	600	14.35	0.13
	800	14.305	0.085
	1000	14.245	0.025
	1500	14.23	0.01

DESCRIPCIÓN: Datos de Prueba de Recuperación de Bombeo del Pozo N°01.

PRUEBA DE RECUPERACION



DESCRIPCIÓN: Datos de Prueba de Recuperación de Bombeo del Pozo N°01.

Prueba de Descenso Bombeo Pozo N°02**POZO N° 02**

Departamento: Cajamarca

Provincia :

Cajamarca

Distrito : Baños del Inca

Fecha: 21/07/2022

Caudal de bombeo:

0.53 l/s

Lugar: La Molina

PRUEBA DE DESCENSO			
FECHA/HORA	TIEMPO (MINUTOS)	NIVEL DE AGUA	
		PROFUNDIDAD/PR(m)	ABATIMIENTO
		9.605	
	1	9.61	0.005
	2	9.665	0.06
	3	9.725	0.12
	4	9.78	0.175
	5	9.835	0.23
	6	9.89	0.285
	8	9.97	0.365
	10	10.075	0.47
	15	10.17	0.565
	20	10.27	0.665
	25	10.39	0.785
	30	10.48	0.875
	40	10.585	0.98
	50	10.685	1.08
	60	10.795	1.19
	70	10.89	1.285
	80	10.97	1.365
	90	11.04	1.435
	100	11.1	1.495
	120	11.17	1.565
	150	11.255	1.65
	200	11.345	1.74
	250	11.455	1.85
	300	11.555	1.95
	400	11.665	2.06
	500	11.755	2.15
	600	11.85	2.245
	800	11.95	2.345
	1000	11.99	2.385
	1500	12.085	2.48

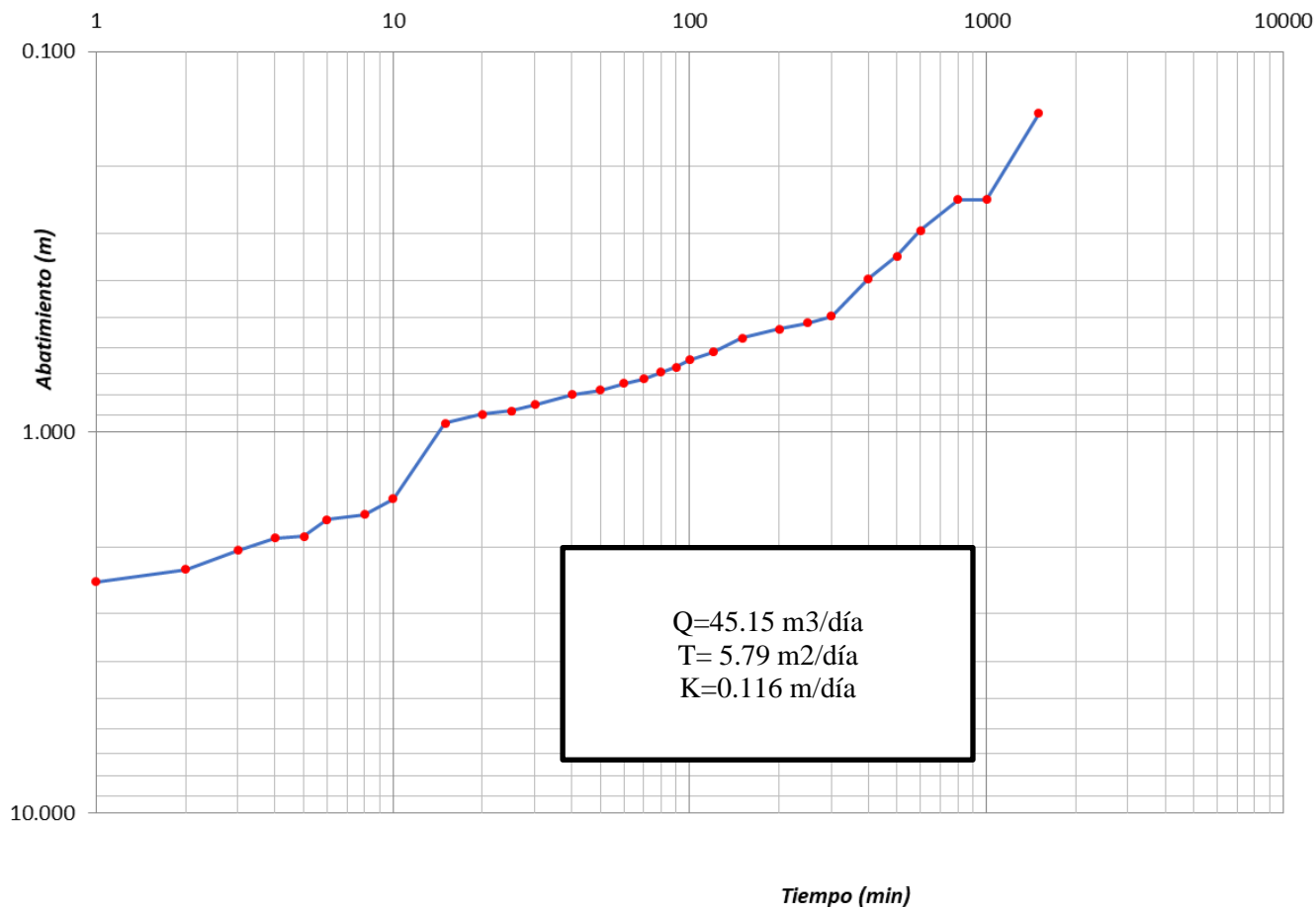
DESCRIPCIÓN: Datos de Prueba de Descenso de Bombeo del Pozo N°02.

Prueba de Recuperación Bombeo Pozo N°02**POZO N° 02**Departamento: Cajamarca
Fecha: 22/07/2022Provincia : Cajamarca
Caudal de bombeo: 0.53 l/sDistrito : Baños del Inca
Lugar: La Molina

PRUEBA DE DESCENSO			
FECHA/HORA	TIEMPO (MINUTOS)	NIVEL DE AGUA	
		PROFUNDIDAD/PR(m)	ABATIMIENTO
		9.605	
	0	12.073	2.468
	1	11.90	2.295
	2	11.65	2.045
	3	11.50	1.895
	4	11.48	1.875
	5	11.30	1.695
	6	11.25	1.645
	8	11.10	1.495
	10	10.55	0.945
	15	10.50	0.895
	20	10.483	0.878
	25	10.45	0.845
	30	10.40	0.795
	40	10.38	0.775
	50	10.35	0.745
	60	10.33	0.725
	70	10.3	0.695
	80	10.28	0.675
	90	10.25	0.645
	100	10.22	0.615
	120	10.17	0.565
	150	10.14	0.535
	200	10.12	0.515
	250	10.10	0.495
	300	10.00	0.395
	400	9.95	0.345
	500	9.9	0.295
	600	9.85	0.245
	800	9.85	0.245
	1000	9.75	0.145
	1500	9.7	0.095

DESCRIPCIÓN: Datos de Prueba de Recuperación de Bombeo del Pozo N°02.

PRUEBA DE RECUPERACION



DESCRIPCIÓN: Datos de Prueba de Recuperación de Bombeo del Pozo N°02.

Prueba de Descenso Bombeo Pozo N°03**POZO N° 03**

Departamento: Cajamarca

Provincia : Cajamarca

Distrito : Baños del Inca

Fecha: 15/08/2022

Caudal de bombeo: 0.62 l/s

Lugar: La Molina

PRUEBA DE DESCENSO			
FECHA/HORA	TIEMPO (MINUTOS)	NIVEL DE AGUA	
		PROFUNDIDA D/PR(m)	ABATIMIENT O
		1.885	
	1	1.895	1.895
	2	1.94	1.935
	3	1.97	1.97
	4	2.01	2.01
	5	2.06	2.055
	6	2.10	2.095
	8	2.16	2.155
	10	2.22	2.215
	15	2.28	2.28
	20	2.35	2.345
	25	2.415	2.415
	30	2.48	2.48
	40	2.55	2.55
	50	2.615	2.615
	60	2.66	2.66
	70	2.7	2.7
	80	2.74	2.74
	90	2.775	2.775
	100	2.81	2.81
	120	2.885	2.885
	150	2.965	2.965
	200	3.065	3.065
	250	3.13	3.13
	300	3.19	3.19
	400	3.23	3.23
	500	3.265	3.265
	600	3.31	3.31
	800	3.34	3.34
	1000	3.38	3.38
	1500	3.41	3.41

DESCRIPCIÓN: Datos de Prueba de Descenso de Bombeo del Pozo N°03.

Prueba de Recuperación Bombeo Pozo N°03**POZO N° 03**

Departamento: Cajamarca

Provincia : Cajamarca

Distrito : Baños del Inca

Fecha: 16/08/2022

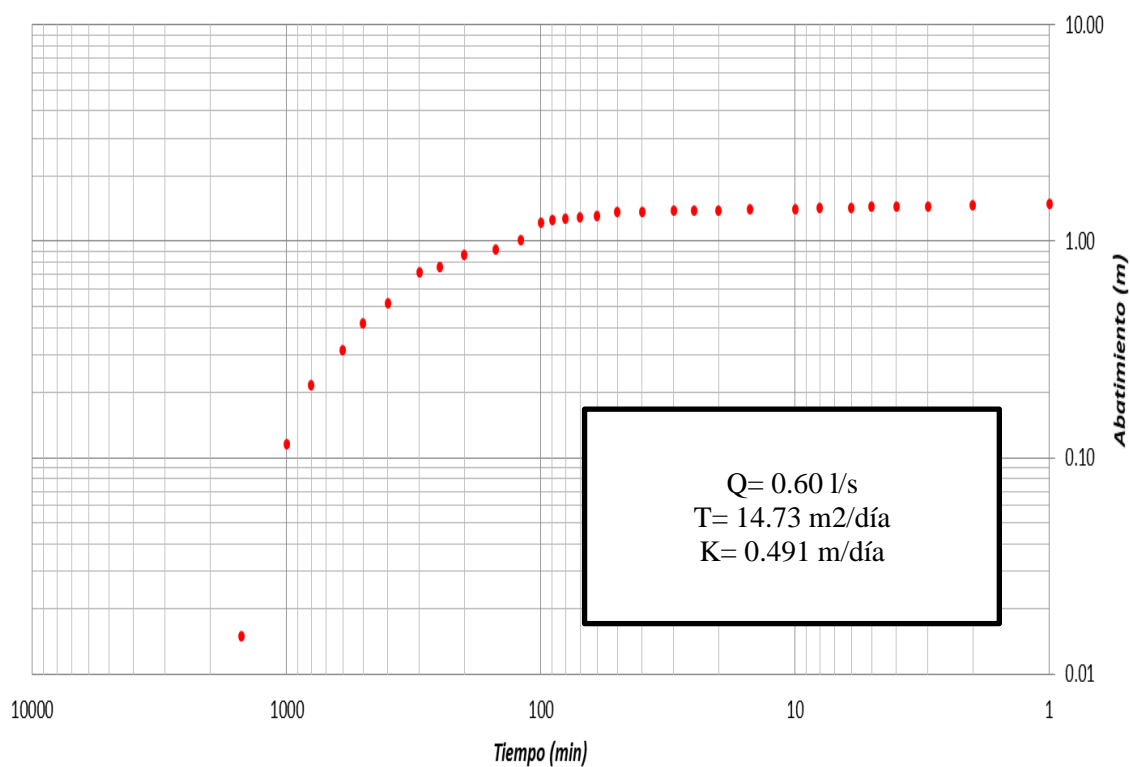
Caudal de bombeo: 0.62 l/s

Lugar: La Molina

PRUEBA DE RECUPERACION			
FECHA/HORA	TIEMPO (MINUTOS)	NIVEL DE AGUA	
		PROFUNDIDAD/PR(m)	ABATIMIENTO
		1.885	
	1	3.38	3.38
	2	3.36	3.36
	3	3.34	3.34
	4	3.33	3.33
	5	3.33	3.325
	6	3.32	3.32
	8	3.31	3.31
	10	3.30	3.3
	15	3.29	3.29
	20	3.28	3.28
	25	3.272	3.272
	30	3.27	3.27
	40	3.26	3.26
	50	3.25	3.25
	60	3.2	3.2
	70	3.18	3.18
	80	3.15	3.15
	90	3.14	3.14
	100	3.1	3.1
	120	2.9	2.9
	150	2.8	2.8
	200	2.75	2.75
	250	2.65	2.65
	300	2.60	2.6
	400	2.40	2.4
	500	2.3	2.3
	600	2.2	2.2
	800	2.1	2.1
	1000	2	2
	1500	1.9	1.9

DESCRIPCIÓN: Datos de Prueba de Recuperación de Bombeo del Pozo N°03.

PRUEBA DE RECUPERACION



DESCRIPCIÓN: Datos de Prueba de Recuperación de Bombeo del Pozo N°03.

Prueba de Descenso Bombeo Pozo N°04**POZO N° 04**

Departamento: Cajamarca Provincia : Cajamarca Distrito : Baños del Inca
Fecha: 15/08/2022 Caudal de bombeo: 0.61 l/s Lugar: La Molina

PRUEBA DE DESCENSO			
FECHA/HORA	TIEMPO (MINUTOS)	NIVEL DE AGUA	
		PROFUNDIDA D/PR(m)	ABATIMIENTO
		1.78	
	1	1.81	1.81
	2	1.89	1.89
	3	1.97	1.97
	4	2.05	2.045
	5	2.12	2.12
	6	2.19	2.19
	8	2.29	2.285
	10	2.37	2.37
	15	2.49	2.485
	20	2.59	2.585
	25	2.675	2.675
	30	2.77	2.77
	40	2.86	2.86
	50	2.94	2.94
	60	3.01	3.01
	70	3.065	3.065
	80	3.12	3.12
	90	3.17	3.17
	100	3.255	3.255
	120	3.335	3.335
	150	3.425	3.425
	200	3.53	3.53
	250	3.64	3.64
	300	3.75	3.75
	400	3.84	3.84
	500	3.905	3.905
	600	3.97	3.97
	800	4.04	4.04
	1000	4.1	4.1
	1500	4.14	4.14

DESCRIPCIÓN: Datos de Prueba de Descenso de Bombeo del Pozo N°03.

Prueba de Recuperación Bombeo Pozo N°04**POZO N° 04**

Departamento Cajamarca

Provincia : Cajamarca

Distrito :

Baños del Inca

Fecha: 15/08/2022

Caudal de
bombeo:

0.61 l/s

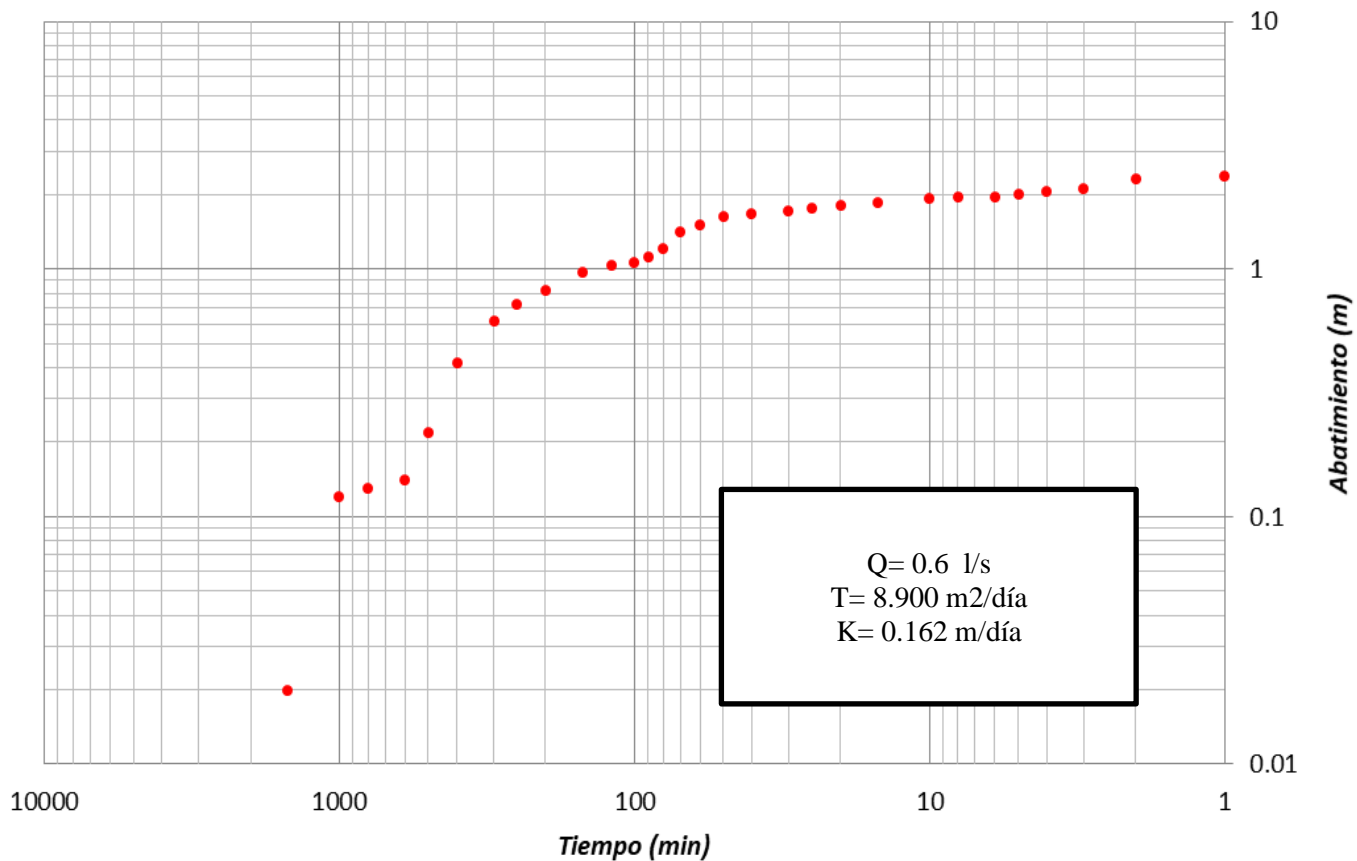
Lugar:

La Molina

PRUEBA DE DESCENSO			
FECHA/HORA	TIEMPO (MINUTOS)	NIVEL DE AGUA	
		PROFUNDIDAD D/PR(m)	ABATIMIENTO O
		1.78	
	1	1.81	1.81
	2	1.89	1.89
	3	1.97	1.97
	4	2.05	2.045
	5	2.12	2.12
	6	2.19	2.19
	8	2.29	2.285
	10	2.37	2.37
	15	2.49	2.485
	20	2.59	2.585
	25	2.675	2.675
	30	2.77	2.77
	40	2.86	2.86
	50	2.94	2.94
	60	3.01	3.01
	70	3.065	3.065
	80	3.12	3.12
	90	3.17	3.17
	100	3.255	3.255
	120	3.335	3.335
	150	3.425	3.425
	200	3.53	3.53
	250	3.64	3.64
	300	3.75	3.75
	400	3.84	3.84
	500	3.905	3.905
	600	3.97	3.97
	800	4.04	4.04
	1000	4.1	4.1
	1500	4.14	4.14

DESCRIPCIÓN: Datos de Prueba de Recuperación de Bombeo del Pozo N°03.

PRUEBA DE RECUPERACION



DESCRIPCIÓN: Datos de Prueba de Recuperación de Bombeo del Pozo N°03.

Prueba de Bombeo Pozo N°01

FOTOGRAFÍA N° 01



DESCRIPCIÓN: Realización de la prueba de bombeo del Pozo N°01. El pozo es de tierra.

Prueba de Bombeo Pozo N°02

FOTOGRAFÍA N° 02



DESCRIPCIÓN: Realización de la prueba de bombeo del Pozo N°02. Pozo tubular de concreto.

Prueba de Bombeo Pozo N°03

FOTOGRAFÍA N° 03



DESCRIPCIÓN: Realización de la prueba de bombeo del Pozo N°03. Pozo tubular de concreto.

Prueba de Bombeo Pozo N°04

FOTOGRAFÍA N° 04



DESCRIPCIÓN: Realización de la prueba de bombeo del Pozo N°02. Pozo tubular de concreto.

Aforo Rio Mashcon

FOTOGRAFÍA N° 05



DESCRIPCIÓN: Aforo del Rio Mashcon.

PRECIPITACION AREAL

**DATA
METEREOLOGICA
N°01**

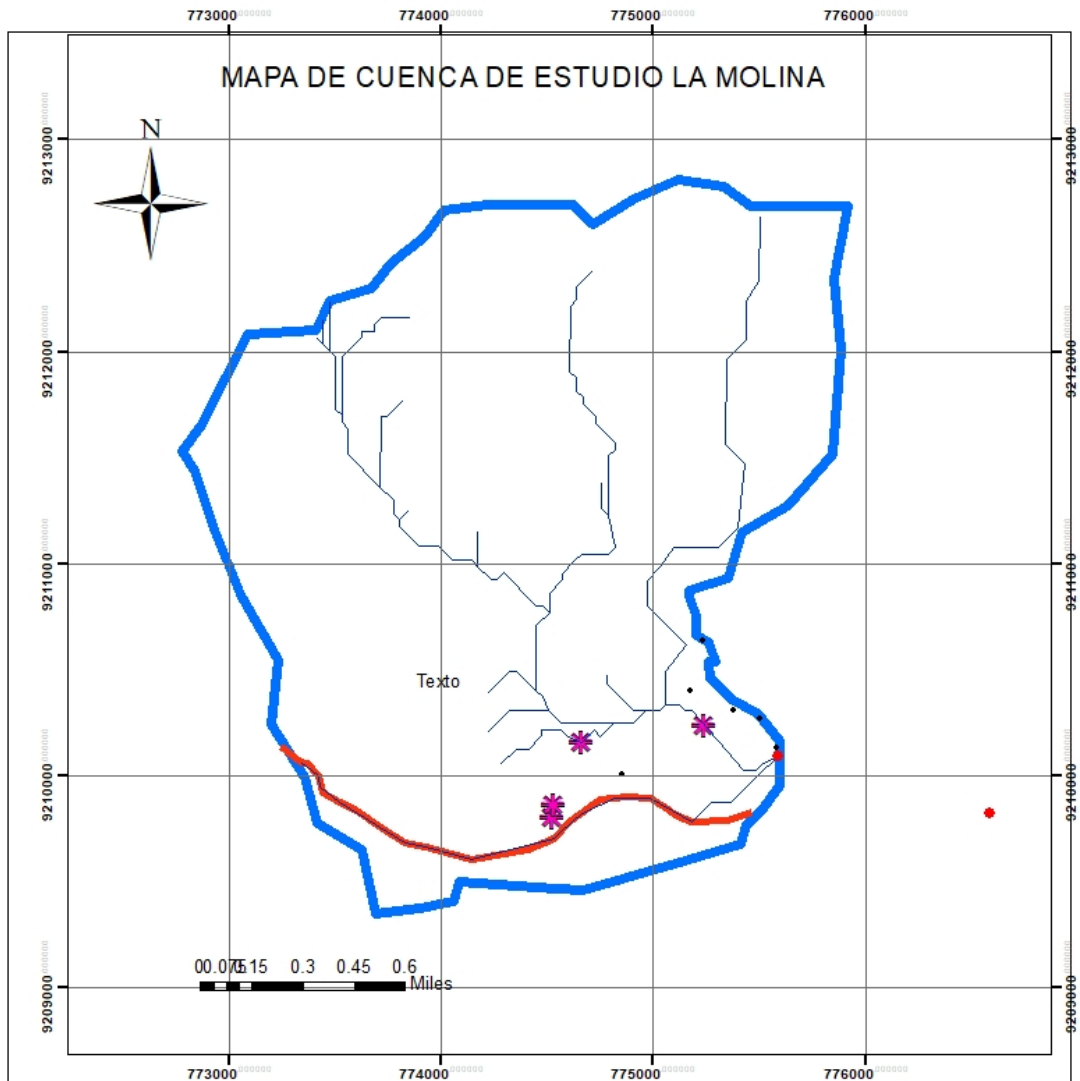
DATOS ESTACIÓN PLUVIOMÉTRICA
DATOS MENSUALES DE PRECIPITACIÓN MÁXIMA EN 24 Hrs. (mm)

Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Máximo
1981	134.03	104.72	34.34	10.92	0.94	0.81	2.42	4.77	84.19	31.76	41.45	49.13	134.03
1982	39.31	48.92	39.93	7.18	2.72	2.00	1.13	36.55	80.09	47.73	61.45	89.42	89.42
1983	55.15	159.26	113.28	22.12	7.00	2.62	3.07	14.11	32.67	15.90	66.81	9.33	159.26
1984	243.48	100.67	62.25	16.51	4.38	7.27	7.36	13.64	65.79	50.53	41.34	26.84	243.48
1985	48.79	87.72	35.05	15.13	1.02	1.48	3.35	13.79	15.05	9.13	18.66	103.31	103.31
1986	67.00	70.02	78.94	12.43	1.37	1.44	8.63	8.26	29.28	30.65	54.07	117.02	117.02
1987	85.77	56.79	34.38	6.01	0.74	4.42	4.61	23.74	49.50	42.42	25.05	123.51	123.51
1988	81.33	44.23	83.77	13.52	2.75	0.59	1.69	16.06	49.93	43.41	42.70	94.19	94.19
1989	121.44	93.69	46.90	9.00	4.55	0.36	1.55	20.97	72.73	14.41	0.52	46.14	121.44
1990	49.01	53.87	35.84	16.03	11.92	0.61	1.92	10.87	59.54	62.10	43.91	35.62	62.10
1991	56.88	129.15	61.38	16.61	1.06	0.14	0.08	7.92	41.06	40.68	49.13	61.11	129.15
1992	31.92	87.17	61.40	24.38	14.56	0.79	5.01	38.08	58.53	17.62	23.11	62.58	87.17
1993	91.65	174.02	91.51	24.54	2.09	0.79	3.91	39.22	85.42	60.17	100.61	146.68	174.02
1994	104.63	174.78	94.90	26.49	3.01	0.10	1.51	18.90	30.29	51.88	78.59	53.24	174.78
1995	105.28	103.49	43.59	18.90	2.89	7.15	4.15	12.27	52.35	33.82	64.91	73.54	105.28
1996	110.59	125.45	60.42	10.61	6.14	0.00	7.10	16.36	82.31	27.10	15.02	60.66	125.45
1997	106.77	45.91	60.26	7.83	5.45	1.13	0.85	43.04	69.62	92.90	136.29	119.06	136.29
1998	153.12	262.54	103.67	17.31	0.96	0.00	4.26	16.44	73.25	22.70	36.00	93.90	262.54
1999	247.00	85.20	64.09	42.83	24.40	9.34	1.55	70.28	30.45	42.37	54.24	45.93	247.00
2000	111.00	148.56	76.86	44.74	10.22	1.00	8.55	36.61	9.94	26.77	97.87	179.95	179.95
2001	79.64	240.89	48.30	23.83	1.65	3.26	0.00	31.43	53.21	64.13	64.52	29.89	240.89
2002	76.84	177.88	75.13	7.43	5.98	4.48	0.83	16.40	93.54	75.12	73.27	60.12	177.88
2003	51.08	99.92	40.82	18.93	13.52	2.28	4.46	10.97	33.05	39.21	50.17	30.62	99.92
2004	89.27	68.22	44.17	20.75	1.84	9.08	6.98	20.06	68.41	50.80	76.58	79.85	89.27
2005	62.05	169.49	38.17	4.98	2.91	0.05	1.69	17.10	68.63	13.85	54.45	96.45	169.49
2006	88.62	186.91	77.50	4.74	14.40	1.35	6.97	27.58	13.40	42.91	86.19	112.04	186.91
2007	25.24	215.28	92.12	14.36	0.55	4.53	6.19	6.39	95.10	52.04	50.18	113.80	215.28
2008	99.53	112.20	62.15	15.47	8.68	1.90	6.09	35.01	95.95	49.53	13.61	204.45	204.45
2009	82.58	134.85	66.18	19.41	9.96	9.15	3.29	6.66	79.99	63.54	64.83	50.27	134.85
2010	81.95	143.16	67.28	19.72	4.88	3.32	2.32	15.56	38.76	30.12	50.13	80.27	143.16
2011	70.05	130.68	113.48	7.51	1.51	4.55	0.61	28.58	32.90	27.13	103.62	148.90	148.90
2012	143.46	108.52	68.34	22.10	2.65	0.00	4.34	7.07	94.03	72.07	46.75	62.15	143.46
2013	122.06	176.72	51.73	45.76	4.60	2.88	7.59	2.76	106.68	5.67	61.48	67.06	176.72
2014	74.75	144.41	43.23	20.14	1.96	1.10	2.60	21.72	37.68	47.62	82.34	152.34	152.34
2015	60.60	201.29	53.23	34.08	0.51	1.86	0.22	10.52	29.16	66.39	43.11	77.08	201.29
2016	68.26	113.64	57.32	4.70	6.40	0.40	0.21	12.90	45.97	8.93	58.78	96.71	113.64
2017	79.41	232.62	59.36	31.90	8.94	0.40	11.56	15.85	67.60	22.68	82.74	92.49	232.62
2018	106.56	117.23	74.57	41.14	3.67	0.00	0.38	20.16	62.85	59.67	66.73	48.42	117.23
2019	98.35	147.47	64.73	19.59	2.06	6.06	0.00	6.87	88.14	48.28	125.43	147.47	147.47
MAX	247.00	262.54	113.48	45.76	24.40	9.34	11.56	70.28	106.68	92.30	136.29	204.45	262.54

DESCRIPCIÓN: Hietograma para un tiempo de retorno de 100 años.

MAPA DE CUENCA DE ESTUDIO LA MOLINA

**CUENCA
DELIMITADA**



Leyenda

- DRENAJE AREA ESTUDIO
- RIO
- CONTORNO
- ★ POZOS

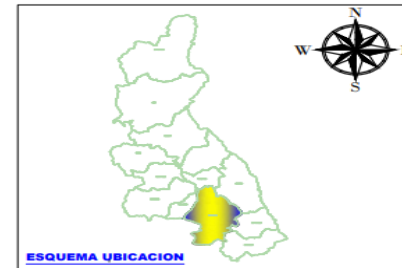
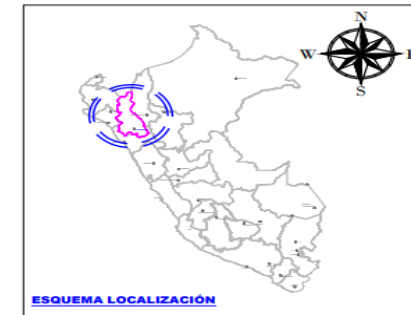
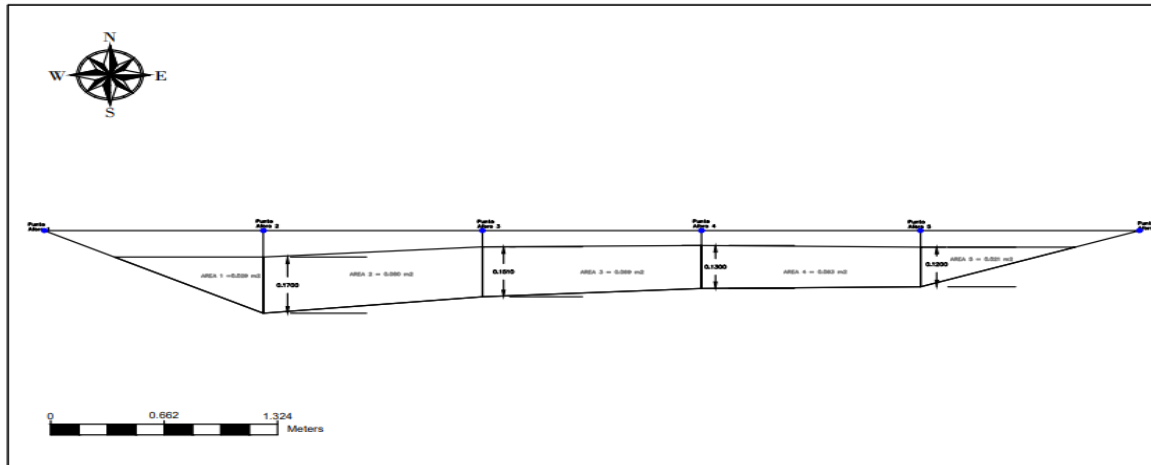


MAPA DE COBERTURA VEGETAL
UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
FACULTAD DE INGENIERIA
INGENIERIA HIDRAULICA
NOMBRE: JENNY LORENATERAN ROMERO
ASESOR: GASPAR MENDEZ VIRILO
FECHA: 25/08/2023

DESCRIPCIÓN: Intensidad de precipitación según duración y frecuencia.

PLANO AFORO RIO MASHCON

CAUDAL RIO MASHCON



LEYENDA	
PUNTO AFORO	
AREA	
POLIGONO	
NORTE MAGNETICO	

CUADRO DE AREAS	
Area Total (m²)	0.262
Ancho de río (m)	2.500

PUNTO	AREA APROXIMADA DE CAUCE(m²)	VELOCIDAD PROMEDIO(m/s)	CAUDAL(m³/s)
1	0.029	0.307	0.009
2	0.08	0.307	0.025
3	0.069	0.307	0.021
4	0.063	0.307	0.019
5	0.021	0.307	0.006
CAUDAL PROMEDIO			0.016



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

AFORO DE RIO	AREA TOTAL: Ha	PERIMETRO: 1100.15 m
AFORO RIO MASHCON		
DEPARTAMENTO: CAJAMARCA	PLANO: PLANO DE AFORO	LAMINA N°: P-P
REGION: CAJAMARCA	ESCALA: INDICADA	FECHA: AGOSTO 2023
PROVINCIA: CAJAMARCA	DIBUJO: JENNY TERAN	DATUM: WGS 84
DISTRITO: BAÑOS DEL INCA	SISTEMA DE PROYECCION: UTM	HEMISFERIO: SUR
		ZONA: 17

DESCRIPCIÓN: Hietograma para un tiempo de retorno de 100 años.

