

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



TESIS PROFESIONAL

**CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA DE LOS DEPÓSITOS
CUATERNARIOS Y SU RELACIÓN CON LA DISMINUCIÓN DE CAUDAL DEL
MANANTIAL PARIAPUQUIO
BARRIO SAN FRANCISCO-PARIAPUQUIO, DISTRITO DE CAJAMARCA**

Para optar el Título Profesional de:

INGENIERO GEÓLOGO

Presentado por:

BACH. CRISTIAN PAÚL QUILICHE CARRASCO

Asesor:

Dr. CRISPÍN ZENÓN QUISPE MAMANI

CAJAMARCA - PERÚ

2021

AGRADECIMIENTO

A mi alma mater la Universidad Nacional de Cajamarca, y en especial a los docentes de la Escuela Académico Profesional de Ingeniería Geológica por sus enseñanzas durante mi formación académica.

A mi asesor M. Cs. Crispín Zenón Quispe Mamani, por sus consejos, paciencia, orientación y apoyo incondicional durante el desarrollo de esta investigación.

A mis padres, hermanos, amigos y colegas por cada uno de sus consejos durante el proceso de esta investigación.

DEDICATORIA

A mi madre, Isabel Carrasco Tafur, porque gracias a su apoyo y su inquebrantable confianza he podido llegar donde me encuentro ahora, ella ha sido mi fuerza en cada adversidad y esta investigación se la dedico pues en cada uno de sus consejos y pláticas me motivaba a ser un mejor profesional en pro de mi sociedad.

RESUMEN

El estudio analiza diversos parámetros para identificar la causa en la disminución del caudal del manantial Pariapuquio, ubicado en el sector San Francisco-Pariapuquio, distrito de Cajamarca. La disminución genera grandes carencias a los usuarios pues restringe el acceso al agua, que viene siendo de 3 a 8 horas a la semana. En la zona se identificaron rocas sedimentarias de la Formación Farrat, constituidos por areniscas con espesores de 0.4 metros a más, son de grano fino a medio e intercalados con limolitas de 0.05 a 0.1 metros de espesor. Además, existen depósitos cuaternarios conformados gravas de tamaño variable, van de 0.1 a 0.4 metros, sub-angulosos a redondeados y consolidados dentro de una matriz arcillo-arenosa; el manantial se localiza en esta última unidad geológica. Se realizó un análisis granulométrico del cuaternario obteniendo, un 33.9% de gravas, 27.5% de arenas y un 38.6% arcillas; que según la clasificación de suelos SUCS, se caracteriza a los depósitos cuaternarios como una “Grava arcillosa con arena”. Se obtuvieron valores de parámetros hidrodinámicos, en base a pruebas en campo y tablas teóricas; así como información meteorológica de la estación Augusto Weverbauer de 1990 a 2019, utilizando datos de precipitación y evapotranspiración. Finalmente se realizó un balance hídrico siguiendo la metodología de Schosinsky, 2006; y apoyado por un modelo matemático unicelular para estimar el caudal en el manantial en el transcurso del tiempo. Llegando a la conclusión, que la disminución del caudal, se debe al tipo de vegetación (Eucaliptos); pues las raíces no permiten una óptima recarga potencial para la zona saturada.

Palabras clave: Manantial, hidrogeología, balance hídrico, acuífero, cuaternario.

ABSTRACT

The study analyzes various parameters to identify the cause of the decrease in the flow of the Pariapuquio spring, located in the San Francisco-Pariapuquio sector, Cajamarca district. The decrease generates great deficiencies for users since it restricts access to water, which has been from 3 to 8 hours a week. Sedimentary rocks of the Farrat Formation were identified in the area, consisting of sandstones with thicknesses of 0.4 meters or more, they are fine to medium grain and interspersed with siltstones 0.05 to 0.1 meters thick. In addition, there are quaternary deposits made up of gravels of variable size, ranging from 0.1 to 0.4 meters, sub-angular to rounded and consolidated within a clay-sandy matrix; the spring is located in this last geological unit. A granulometric analysis of the quaternary was carried out, obtaining 33.9% gravel, 27.5% sands and 38.6% clays; that according to the SUCS soil classification, quaternary deposits are characterized as a “clayey gravel with sand”. Hydrodynamic parameter values were obtained, based on field tests and theoretical tables; as well as meteorological information from the Augusto Weberbauer station from 1990 to 2019, using precipitation and evapotranspiration data. Finally, a water balance was carried out following the methodology of Schosinsky, 2006; and supported by a unicellular mathematical model to estimate the flow in the spring over time. Reaching the conclusion that the decrease in flow is due to the type of vegetation (Eucalyptus); since the roots do not allow an optimal potential recharge for the saturated zone.

Keywords: Spring, hydrogeology, water balance, aquifer, quaternary.

CONTENIDO

Pág.

1	CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN	9
2	CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO	12
2.1	Antecedentes teóricos	12
2.1.1	Antecedentes Internacionales.....	12
2.1.2	Antecedentes Nacionales	13
2.1.3	Antecedentes Locales	14
2.2	Bases teóricas.....	15
2.2.1	Hidrogeología	15
2.2.2	La geología y su relación con las aguas subterráneas.....	15
2.2.3	Controles geológicos.....	15
2.2.4	Parámetros hidrogeológicos.....	16
2.2.4.1	Porosidad.....	16
2.2.4.2	Permeabilidad.....	18
2.2.4.3	Transmisividad.....	18
2.2.5	Balance hídrico en una cuenca.....	18
2.2.5.1	Recursos, reservas y sobreexplotación.....	20
2.2.6	Balance hídrico en el suelo	21
2.2.6.1	Infiltración	22
2.2.6.2	Cálculo de infiltración pluvial mensual	24
2.2.6.3	Escorrentía superficial.....	24
2.2.6.4	Evapotranspiración.....	25
2.2.6.5	Recarga al acuífero.....	25
2.2.6.6	Cálculo de recarga potencial al acuífero	29

2.3	DEFINICIÓN DE TÉRMINOS.....	29
3	CAPÍTULO III MATERIALES Y MÉTODOS	31
3.1	UBICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	31
3.1.1	Geográfica.....	31
3.1.2	Política	31
3.2	HIDROGRAFÍA	31
3.3	ACCESIBILIDAD.....	32
3.4	METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	32
3.4.1	Tipo de investigación.....	32
3.4.2	Población de estudio	33
3.4.3	Muestra	33
3.4.4	Unidad de análisis	33
3.4.5	Identificación de variables	33
3.4.6	Técnicas	33
3.4.6.1	Fase I. Gabinete etapa inicial	33
3.4.6.2	Fase II. Recolección de información en campo	34
3.4.6.3	Fase III. Gabinete etapa final (Procesamiento de datos).....	34
3.4.7	Instrumentos y equipos	34
3.4.7.1	Recursos de gabinete	34
3.4.7.2	Recursos de campo.....	35
3.5	PROCEDIMIENTO:.....	36
3.5.1	Delimitación de la cuenca hidrográfica	36
3.5.2	Cartografiado	36
3.5.3	Muestreo y pruebas en campo	36
3.5.4	Balance hidrogeológico	36

3.5.5	Modelo unicelular de parámetros agregados	36
3.6	INTERCUENCA HIDROGRÁFICA	38
3.7	GEOLOGÍA LOCAL	39
3.7.1	Formación Farrat (Ki-fa)	39
3.7.2	Depósitos Cuaternarios	40
3.8	PRUEBA DE INFILTRACIÓN POR MÉTODO PORCHET	41
3.9	MUESTREO DE SUELO.....	45
3.10	PARÁMETROS HIDRODINÁMICOS	47
3.10.1	Espesor saturado	47
3.10.2	Permeabilidad y transmisividad.....	47
3.10.3	Longitud de cuenca.....	48
3.10.4	Porosidad efectiva.....	48
3.10.5	Coefficiente de agotamiento	48
3.11	BALANCE HIDROGEOLÓGICO EN EL SUELO.....	49
4	CAPÍTULO IV ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	51
4.1	CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA.....	51
4.2	RESULTADOS DEL BALANCE HIDROGEOLÓGICO	53
4.3	CONTRASTACIÓN CON LA HIPÓTESIS	55
5	CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	56
5.1	CONCLUSIONES.....	56
5.2	RECOMENDACIONES.....	57
6	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	58

FIGURAS	Pág.
Figura 1. Influencia de la precipitación en el caudal de una cuenca (Sánchez, 2004).	19
Figura 2. Esquema de la explotación de los recursos hídricos (Sánchez, 2004).	21
Figura 3. Resultados del análisis del suelo.	46
Figura 4. Bosquejo interpretativo de la ocurrencia del manantial.	52

FOTOGRAFÍAS

Foto 1. Areniscas de grano fino intercaladas con limoarcillitas, presentan fracturamiento moderado-alto. (N96/31). E: 772289, N: 9209957, C: 2973 m.s.n.m	40
Foto 2. Depósitos cuaternarios. E: 772520., N: 9209808.39, C: 2900 m.s.n.m.	40
Foto 3. Preparando el terreno para realizar la prueba de infiltración.	41
Foto 4. Fijando las medidas del hoyo excavado.	42
Foto 5. Vista final del hoyo excavado.	42
Foto 6. Tomando las lecturas del descenso del agua.	43
Foto 7. Área seleccionada para el muestreo de suelo.	45

TABLAS

Tabla 1. Porosidad efectiva según clase textural	17
Tabla 2. Punto de marchitez permanente y capacidad de campo	22
Tabla 3. Componentes del coeficiente de infiltración.	23
Tabla 4. Vértices de área de estudio, Datum: WGS-84.....	31
Tabla 5. Accesibilidad de la zona de investigación.....	32
Tabla 6. Clasificación y tipos de investigación	32
Tabla 7. Identificación de variables para la investigación.....	33
Tabla 8. Codificación Hidrográfica-Método Pfafstetter.....	38
Tabla 9. Parámetros para balance hídrico en el suelo	49

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

El planeta Tierra que tiene un 70% de su superficie cubierta por agua, podría parecer ilimitado, pero el agua dulce sólo representa el 3%. De acuerdo a datos ONU Agua en la actualidad cerca de 4 mil millones de personas sufren de escasez al menos un mes al año, debido al estilo de vida moderno y el cambio climático. Según la investigación de World Resources Institute (WRI) determinó que en nuestra región los países más vulnerables frente al estrés hídrico son: Chile (puesto 24), México (34), República Dominicana (35) y Perú (55). Además, menciona que los factores que determinan que un país se encuentre en riesgo de desabastecimiento de agua son el aumento de las temperaturas, inundaciones, cambios de patrones de precipitación, aumento de demanda y las ineficientes políticas públicas sobre el manejo del agua.

Bajo este escenario, en el Perú 10.6% no cuenta con acceso agua, pero las zonas más afectadas son las rurales. En Cajamarca, la zona rural se abastece de la captación de manantiales o llamados “ojos de agua”, “puquios”; el problema surge cuando los pobladores consideran a estas fuentes de agua como un recurso ilimitado y no terminan de entender que el manantial pertenece a un sistema hídrico donde influyen diversos factores.

En tal sentido, el estudio se basa en la problemática de la población de San Francisco-Pariapuquio, dónde en los últimos años el caudal de su manantial ha disminuido, lo que genera preocupación en los moradores porque es su única fuente de agua potable y ahora sólo se tiene acceso al agua por horas. Esta disminución puede deberse a cambios en la zona de recarga por la relación precipitación/filtración, mayores plantaciones que consumen agua; además, considerando que el manantial aflora en depósitos cuaternarios, este se vuelve más vulnerable ante cualquier cambio en el medio y por ende se reduce el caudal.

Planteado el problema, se realiza la siguiente interrogante ¿cuáles son las características hidrogeológicas de los depósitos cuaternarios y su relación en la disminución del caudal en el manantial Pariapuquio?; la propuesta de solución al problema formulado es que las características hidrodinámicas de los depósitos cuaternarios, la vegetación y el comportamiento hidrológico de la zona condicionan la disminución del caudal del manantial Pariapuquio.

El agua que abastece al sector San Francisco-Pariapuquio es exclusivamente de consumo humano, por lo que es importante conocer las características hidrogeológicas del manantial para así analizar la interacción del agua subterránea con el medio geológico, conocer sus parámetros hidrodinámicos y poder hallar la causa de la disminución del caudal.

El presente estudio se enmarca en la caracterización hidrogeológica, con énfasis en el caudal del manantial que abastece al sector San Francisco-Pariapuquio. Además, servirá como línea base hidrogeológica, para la gestión del recurso hídrico en la zona de estudio y posteriores investigaciones.

Para contar con información detallada será necesario realizar estudios directos, como perforaciones, instalación de piezómetros (pozos de observación) y que deberían ser apoyados con equipos de alto costo.

Dada la imposibilidad de financiar los equipos, se realizará el cartografiado geológico, levantamiento de columnas estratigráficas, topografía de la carta nacional.

Además, cabe resaltar que la investigación tiene como objetivos específicos: Elaborar el cartografiado geológico-estructural, realizar muestreo de suelo para conocer los parámetros hidrodinámicos del depósito cuaternario y definir el comportamiento hidrológico.

Los capítulos de la presente investigación comprenden cinco capítulos, se ordenan de la siguiente manera: en el capítulo I, se describe el contexto del problema, la justificación, alcances y objetivos. En el capítulo II se muestran los términos, conceptos, teorías y trabajos anteriores sobre el tema a nivel local, nacional. En el capítulo III, el método de trabajo para la investigación, siguiendo un estricto cronograma de trabajo en gabinete y campo, en esta fase se lleva a cabo la recopilación de los datos que sirvieron como fundamento de la presente investigación. En el capítulo IV, se presentan los resultados a los que se ha llegado al final

de la investigación, parámetros hidrodinámicos, parámetros hidrológicos y el balance hídrico complementado con un modelo matemático para la estimación del caudal. En el capítulo V, muestra las conclusiones para cada objetivo planteado; además, recomendaciones para futuras investigaciones que apoyen a las autoridades del sector y así realizar una correcta gestión hídrica del manantial Pariapuquio.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes teóricos

2.1.1 Antecedentes Internacionales

Castro, L. (2010), realizó la caracterización hidrogeológica del acuífero aluvial Naranjito en la zona de Quepos en Costa Rica. El acuífero Aluvial Naranjito es una de las tres fuentes de abastecimiento de agua potable de la comunidad de Quepos, por lo que se determina como principal objetivo describir la geología, los parámetros hidrogeológicos e hidrogeoquímicos.. En el área de estudio se definieron siete unidades geológicas, de las cuales los depósitos aluviales tanto antiguos como recientes, corresponden las unidades hidrogeológicas más importantes. Desde el punto de vista hidrogeoquímico se identificaron dos niveles de agua subterránea, almacenados en la Unidad de Depósitos Aluviales Recientes, el cual se clasifica de tipo bicarbonatada cálcica, y en la Unidad de Depósitos Aluviales Antiguos, clasificado como bicarbonatada clorurada sódica magnésica. Aun considerando la existencia de una marcada diferencia topográfica, química y litológica entre ambos niveles, se determina a partir de las curvas isofreáticas una comunicación hidráulica lateral entre ambos acuíferos debido a sus características de confinamiento. La dirección de flujo en la parte superior de la cuenca es E – W, y en la parte media y baja es S – SW, siguiendo una trayectoria paralela al río Naranjo, donde en algunos tramos son efluentes, indicando una descarga del acuífero.

García A. (2012), investigó sobre las características hidrogeológicas de un sector del acuífero del Valle de Iguala en Guerrero, México. Basándose en la red piezométrica, se observó que la dirección preferencial del flujo subterráneo es noreste-suroeste, se detectaron zonas de deformación en las líneas equipotenciales debido a la incipiente extracción de agua en la ciudad de Iguala y se identificó que el acuífero está conectado hidráulicamente con la Laguna de Tuxpan debido a que la laguna le aporta agua al acuífero. El comportamiento del

acuífero granular del Valle de Iguala es de libre a semiconfinado, con una transmisividad y conductividad hidráulica horizontal de baja a media con caudales de extracción que van de 1.5 lt a 12 lt. Por lo que se clasifica como un acuífero de baja a mediana importancia hidrogeológica.

Távora-Espinoza & Sanz (2010), analizaron la hidrogeología e hidrodinámica del acuífero de los manantiales de Gormaz y su importancia en el caudal base del río Duero, España. El río Duero, España, incrementa su caudal base en varios m³/s, al atravesar unos afloramientos carbonatados mesozoicos en un pequeño tramo de su cabecera; esto es de especial importancia en época de estiaje, cuando la mayor parte del caudal base del río procede de manantiales que allí se sitúan. En la investigación se concluye que el flujo subterráneo sigue dirección sur-norte hacia el río Duero, que es ganador,, a través de las formaciones carbonatadas cretácicas y jurásicas, de manera aislada; con un gradiente hidráulico de 0.03 en ambos acuíferos hasta llegar a la Falla de Gormaz donde se concentran las descargas en esa área. Además, la Falla Gormaz hace de barrera impermeable en el límite norte al enfrentar a los acuíferos ante formaciones impermeables; y a la vez, constituye una vía de escapatoria de flujo subterráneo a través de los manantiales.

Schosinsky, G. (2006), en este estudio se ha desarrollado una metodología y un modelo, con el propósito de determinar la recarga potencial al acuífero mediante un balance de suelos. Una de las ventajas de dicha metodología es que considera varias variables que influyen en la recarga de los acuíferos, tales como: la precipitación mensual, la retención pluvial, la capacidad de infiltración de los suelos y sus características, la cobertura vegetal, profundidad de raíces, evapotranspiración real, uso del suelo y pendiente del terreno. La metodología descrita ha sido bastante utilizada, generando un error de recarga menor del ochenta por ciento, en los casos que se ha podido comprobar, en forma confiable, los valores de dicha recarga.

2.1.2 Antecedentes Nacionales

Knight Piesold Consultores (2010), determinaron algunos parámetros geomorfológicos de la subcuenca Chirimayo, evaluaron los caudales presentes en la quebrada Chirimayo en la parte alta, en las diferentes estaciones del año. La entidad realizó un registro histórico de la calidad del agua superficial en ríos y quebradas registrando parámetros fisicoquímicos,

parámetros inorgánicos, metales disueltos, metales totales, parámetros orgánicos, parámetros microbiológicos y parámetros de campo, como el pH y temperatura.

WSP Perú S.A (2017), empresa consultora realizó el estudio hidrogeológico de para la Primera Modificatoria del Estudio de Impacto Ambiental para el distrito minero de Yanacocha, en Cajamarca. Dónde se caracteriza la hidrogeología de yanacocha, a través de información piezométrica, monitoreo hidroquímico, inventario de manantiales y un modelo numérico para cuantificar el posible impacto de su plan de minado.

2.1.3 Antecedentes Locales

Lozano, A. (2017), realizó una tesis sobre la evaluación geoestructural e hidrogeológica de la parte baja de la microcuenca del Chirimayo, en Sorochuco, Celendín; con énfasis en la calidad de los manantiales y su relación con el acuífero de la zona. Se concluyó que las discontinuidades como fallas y diaclasas permiten la infiltración directa del agua en el sistema hidrológico subterráneo, donde se registraron 39 manantiales en el área de investigación. De acuerdo al modelamiento hidrogeológico realizado y en base al balance hídrico, señala que los manantiales son descargas de los acuíferos a través de las fallas.

Alaya, S. (2014), realizó una tesis sobre la evaluación geoestructural e hidrogeológica del centro poblado La Chorrera, en Sorochuco, Celendín; para determinar la relación que existe entre las geoestructuras, acuíferos y manantiales de la zona. Producto de la investigación se localizaron 30 manantiales en el área de estudio, donde 05 de ellos sirven como alimentadores de reservorios para consumo humano; además, 05 manantiales se ubican en depósitos cuaternarios aluviales, 15 en rocas intrusivas y 10 en calizas del Grupo Puillucana.

Siveroni, J.e (2012), investigó el potencial hidrogeológico de las unidades hidrográficas Ronquillo Ato y Alto Chetilla en la provincia de Cajamarca. Centró su tema en el análisis de los manantiales que afloran en las microcuencas mencionadas; luego de la caracterización se logró probar que el potencial hídrico es abundante, el caudal promedio de la microcuenca en los meses de estiaje es de 1,4731 m³/día; y en tiempo de lluvias el caudal promedio asciende a 179,9792 m³/día, por lo que se hace necesario más estudios en los que se incluyan la instalación de piezómetros para poder determinar otras variables como el gradiente hidráulico.

Nippon Koei (2010), la consultora realizó una investigación en las cuencas del Mashcón y Chonta con énfasis en el afianzamiento hídrico de las subcuencas Azufre, Paccha y Río Grande en el departamento de Cajamarca. Este trabajo permitió conocer de forma general los aspectos hidrológicos, hidrogeológicos y sociales de las cuencas en mención, que servirán para la toma de decisiones en la planificación del recurso hídrico.

2.2 Bases teóricas

2.2.1 Hidrogeología

La hidrogeología o hidrología subterránea es, según Mijailov, la ciencia que estudia el origen y la formación de las aguas subterráneas, sus formas de yacimiento, difusión, movimiento, régimen y reservas, interacción con los suelos y rocas, su estado (líquido, sólido y gaseoso) y propiedades (físicas, químicas, bacteriológicas y radiactivas); así como las condiciones que determinan las medidas de su aprovechamiento, regulación y evacuación. Es, por tanto, una de las ramas más complejas de la geología (Mijailov, 1989).

2.2.2 La geología y su relación con las aguas subterráneas

Según Maxey (1964), la hidrogeología puede definirse como el estudio de las interacciones entre el agua y la disposición geológica del suelo. El agua subterránea involucra el estudio de aquella parte del agua del ciclo hidrológico en los primeros miles de metros de la corteza terrestre. En este Proyecto de tesis se discutirán los factores" geológicos básicos relacionados con el estudio de las aguas subterráneas.

2.2.3 Controles geológicos

Se considera como agua subterránea aquella parte del agua del ciclo hidrológico que está bajo la superficie del terreno, a presiones mayores que la atmosférica. Esta agua sub superficial satura el medio a través del cual se mueve y en el cual es almacenada. No se incluye como agua en el medio saturado, aquellos pequeños cuerpos de agua transitorios que pueden ser el resultado de infiltraciones muy altas durante períodos muy lluviosos. Su ocurrencia se da en varios tipos de espacios abiertos en las rocas, tales como fisuras, intersticios entre los granos, fracturas y diaclasas; debido a las diferencias de presión hidrostática esta agua, está en continuo movimiento. Se puede decir entonces que la existencia, movimiento y almacenamiento del agua subterránea están controlados por la secuencia, litología, espesores y estructura de los materiales que forman la tierra.

Se puede definir, entonces, un acuífero como una unidad litológica que contiene agua en cantidades apreciables y que además la deja circular.

Los acuíferos pueden presentarse en cuatro distintas formaciones geológicas:

- a) Depósitos de gravas y arenas no consolidadas, intercalados frecuentemente con estratos de limos y arcillas, con pocas unidades de carbonatos.
- b) Formaciones consolidadas y semiconsolidadas de conglomerados y areniscas, que tienen permeabilidad y porosidades primarias (intergranulares) y secundarias (fracturas y diaclasas).
- e) Formaciones carbonatadas que tienen fisuras y fracturas, que pueden ensancharse por disolución. Tienen porosidades y permeabilidades primarias muy pequeñas.
- d) Rocas ígneas y metamórficas con fisuras y fracturas que permiten el almacenamiento y circulación del agua (Davist, 1966).

2.2.4 Parámetros hidrogeológicos

Considerando los acuíferos como sistemas que poseen un cierto funcionamiento, regulado por la recarga y las extracciones, se comprende que deben poseer unas ciertas características fundamentales de las cuales dependen. Estas características o parámetros permiten definir el funcionamiento de un acuífero frente a unas determinadas acciones exteriores. Estos parámetros son: La porosidad, la permeabilidad y la transmisividad (Gil 2007).

2.2.4.1 Porosidad

La porosidad de un terreno se define como la relación (%) entre el volumen de huecos y el volumen total del terreno que los contiene:

$$P = \frac{V_h}{V_t} \times 100$$

La porosidad depende de un gran número de factores entre los que cabe destacar:

- Naturaleza del terreno (Nt)
- La uniformidad granulométrica de sus componentes
- La disposición y forma de las partículas
- Grado de cementación o compactación

- Efectos de la fisuración, disolución, meteorización.

Los huecos o intersticios del terreno se clasifican en dos grandes grupos:

- Primarios, originados al mismo tiempo que se formaron las rocas que los contienen; por ejemplo, rocas sedimentarias.
- Secundarios, producidos posteriormente por fracturación o por disolución; por ejemplo, las rocas metamórficas y calizas (Gil, 2007).

Porosidad del suelo: El espacio poroso del suelo se refiere al porcentaje del volumen del suelo no ocupado por sólidos. En general el volumen del suelo está constituido por 50% materiales sólidos (45% minerales y 5% materia orgánica) y 50% de espacio poroso. Dentro del espacio poroso se pueden distinguir macro poros y micro poros donde agua, nutrientes, aire y gases pueden circular o retenerse. Los macro poros no retienen agua contra la fuerza de la gravedad, son responsables del drenaje, aireación del suelo y constituyen el espacio donde se forman las raíces. Los micro poros retienen agua y parte de la cual es disponible para las plantas (FAO, 2020). Este parámetro tiene valores teóricos según la clasificación textural del suelo de acuerdo con el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, según Charbeneau, 2000 y Bedient et al., 1994.

Tabla 1. Porosidad efectiva según clase textural

Clases texturales	Porosidad Efectiva
Arcilla	0.385
Arcilla limosa	0.423
Arcilla arenosa	0.321
Migajón arcillo limoso	0.423
Migajón arcilloso	0.309
Migajón arcillo arenoso	0.330
Limo	0.460
Migajón limoso	0.486
Migajón	0.434
Migajón arenoso	0.412
Arena migajonosa	0.401

Fuente: Charbeneau, 2000 y Bedient, 1994.

2.2.4.2 Permeabilidad

Es la capacidad de un terreno de permitir el paso del agua a su través. La permeabilidad es el factor más importante de las rocas en relación con la explotación de sus aguas subterráneas. Depende de:

- Tamaño de los huecos interconectados.
- La granulometría de las partículas rocosas.
- Naturaleza y rugosidad de la superficie de estas partículas.
- La dirección dentro del terreno (anisotropía).

Puesto que el agua subterránea es contenida y conducida por los huecos que presenta el terreno, la forma y las características de ellos influirán de un modo fundamental en el comportamiento de la permeabilidad: Los materiales granulares bien clasificados (gravas y arenas) tienen una elevada porosidad y permeabilidad; en cambio, en las arcillas y los limos el agua se adosa a los diminutos poros por atracción iónica y queda retenida, es decir, son rocas muy porosas pero resultan impermeables (Gil, 2007).

2.2.4.3 Transmisividad

El concepto de transmisividad se define como el caudal que se filtra a través de una franja vertical de terreno, de ancho la unidad y de altura igual a la del manto permeable saturado de agua, bajo un gradiente hidráulico unidad y a una temperatura fija determinada.

Si E es el espesor saturado de la formación permeable, la transmisividad es igual al producto de la permeabilidad por dicho espesor: $T = P \times E$.

Desde el punto de vista hidrogeológico, la transmisividad tiene más importancia que la permeabilidad, porque, así como ésta (P), es una característica constante del terreno que deja pasar el agua, lo que no implica que la contenga, aquella (T) depende de la altura o espesor del manto acuífero saturado (Gil, 2007).

2.2.5 Balance hídrico en una cuenca

Cuenca Hidrográfica es la definida por la topografía, fácilmente delimitable sobre un mapa topográfico. Cuenca hidrogeológica es un concepto que engloba también a las aguas subterráneas. Una cuenca hidrográfica constituirá también a una cuenca hidrogeológica

cuando no existan trasvases apreciables de aguas subterráneas de una cuenca a otra, es decir, que podamos considerar que las divisorias topográficas que dividen a la escorrentía superficial constituyen también divisorias de la escorrentía subterránea entre cuencas adyacentes. Esto se cumple en general para cuencas grandes de más de 1000 o 2000 km². Para cuencas pequeñas habría que considerar la hidrogeología de la zona con cuidado.

Cuando hace tiempo no se producen precipitaciones, un río puede continuar llevando agua por las siguientes causas:

- Nieve o hielo que se está fundiendo
- Almacenamiento superficial: lagos, embalses
- Almacenamiento subterráneo: acuíferos

Para simplificar, pensemos, en una cuenca sin las dos primeras causas, representada en la figura. Antes de producirse las precipitaciones, el caudal se iba agotando paulatinamente hasta que, al comenzar las precipitaciones, el caudal comienza a aumentar. En el instante t_1 todo el caudal es debido a escorrentía básica (en este caso, escorrentía subterránea). En el instante t_2 , parte del caudal (líneas continuas) será debido a la escorrentía básica, y otra parte (área de trazos) será debida a la escorrentía directa. (Sánchez, 2004).

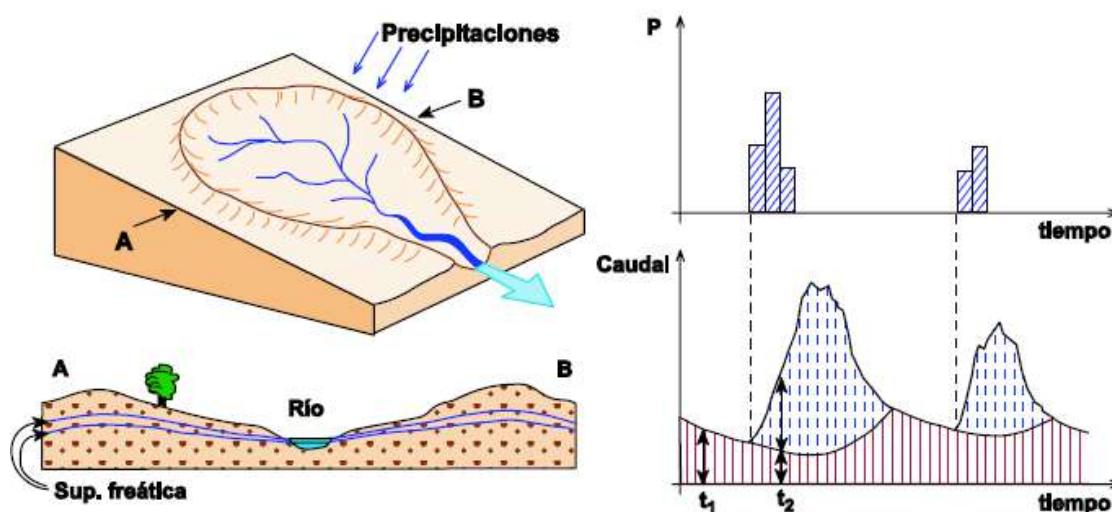


Figura 1. Influencia de la precipitación en el caudal de una cuenca (Sánchez, 2004).

Con las mismas precipitaciones, el hidrograma resultante será distinto según se trate de una cuenca permeable con importantes acuíferos, o de una impermeable, sin acuíferos.

Vemos, por tanto, que el conjunto de acuíferos de una cuenca se comporta realmente como un “embalse subterráneo”, ya que guardan el agua cuando hay exceso y la sueltan lentamente cuando no hay precipitaciones.

Para un año hidrológico el balance hídrico sería:

$$\text{Entradas} = \text{Salidas} \pm \Delta \text{almacenamiento}$$

$$\text{Precip. (+Agua de otras cuencas)} = \text{ET} + \text{Esc. Sup} + \text{Esc. Subt (+Agua a otras cuencas)} \pm \Delta \text{Alamac.}$$

Por tanto, si consideramos una cuenca hidrogeológicamente cerrada, y un periodo de varios años, el volumen total de precipitaciones no evapotranspiradas ha de ser igual a la aportación (volumen aportado) del río en la desembocadura durante ese mismo periodo. Efectivamente, para un periodo largo estamos integrando la esorrentía superficial y la subterránea que alimentó al cauce en los periodos de estiaje (Sánchez, 2004).

2.2.5.1 Recursos, reservas y sobreexplotación

Si explotamos el agua que se puede renovar (considerando un periodo de unos años) se dice que explotamos los recursos. Si utilizamos el agua de la que puede renovarse, se dice que estamos explotando las reservas, y estamos produciendo sobreexplotación. Los niveles del agua en los pozos cada año se encuentran más bajos.

Mantener inalterado el balance hídrico de una región mantiene los ecosistemas en su estado natural, pero no nos permite evaluar la máxima explotación de los recursos hídricos sin llegar a la sobreexplotación. La evaluación de los recursos hídricos de una zona en base al balance hídrico “natural” (previo a la explotación) ha sido denominado el Mito del Balance Hídrico (Alley et al., 1999, pág 15).

Una cierta sobreexplotación inicial puede provocar un equilibrio distinto, pero que da lugar a un mejor aprovechamiento de los recursos hídricos, disminuyendo la ET, incrementando la infiltración y provocando la alimentación de los acuíferos a partir de los cauces superficiales (Sánchez, 2004).

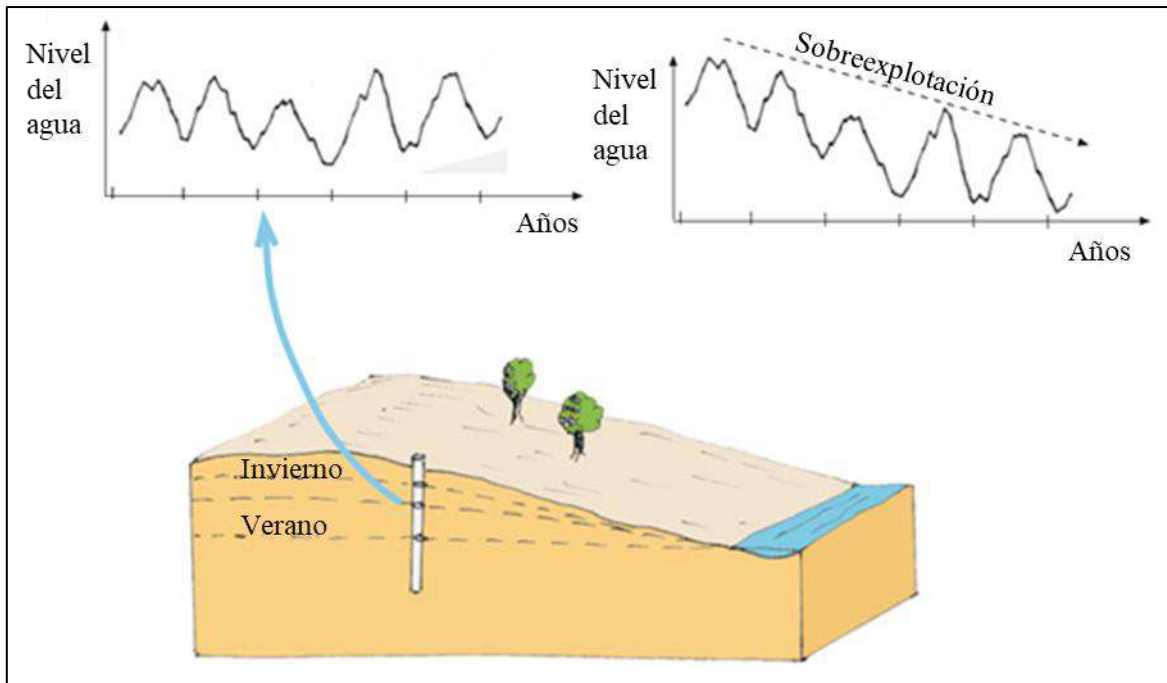


Figura 2. Esquema de la explotación de los recursos hídricos (Sánchez, 2004).

2.2.6 Balance hídrico en el suelo

El estudio del balance de suelos se basa en el principio de la conservación de la materia. Es decir, el agua que entra a un suelo, es igual al agua que se almacena en el suelo, más el agua que sale de él. Las entradas son debidas a la infiltración del agua hacia el suelo, y las salidas se deben a la evapotranspiración de las plantas, más la descarga de los acuíferos. Para evaluar la infiltración de lluvia que penetra al suelo en una zona, se determinan: la precipitación mensual de la zona, los diferentes valores de infiltración básica de los suelos, la cobertura vegetal del suelo y su pendiente (Schosinsky & Losilla, 2000).

Para el balance, en primera instancia se requiere la infiltración mensual al suelo, generada por la lluvia. Dicho cálculo se obtiene de acuerdo con el apartado de “Infiltración” descrito anteriormente. Posteriormente, es necesario conocer la capacidad de campo y punto de marchitez del suelo. Estos valores, se obtienen directamente del laboratorio de suelos o se estiman mediante la Tabla 2.

Tabla 2. Punto de marchitez permanente y capacidad de campo

Textura del Suelo	Porcentaje por peso de suelo seco		
	Punto de marchitez permanente (%)	Capacidad de campo (%)	Densidad aparente (g/cm ³)
Arenoso	2 – 6	6 – 12	1.55 – 1.80
Franco – arenoso	4 – 8	10 – 18	1.40 – 1.60
Franco	8 - 12	18 - 26	1.35 – 1.50
Franco – arcilloso	11 - 15	23 – 31	1.30 – 1.40
Arcillo – arenoso	13 – 17	27 – 31	1.25 – 1.35
Arcilloso	15 - 19	31 – 39	1.20 – 1.30

Fuente: Grassi, 1976.

Para pasar porcentaje (%) peso a volumen, utilizar la siguiente conversión:

“Milímetros de agua = (% de humedad por volumen) (profundidad de raíces en mm)”

2.2.6.1 Infiltración

Uno de los factores que más influyen en la infiltración de la lluvia en el suelo, es el coeficiente de infiltración debido a la textura del suelo (K_{fc}), que está dado tentativamente por la siguiente ecuación (Schosinsky & Losilla, 2000):

$$K_{fc} = 0,267\ln(fc) - 0,000154fc - 0,723$$

Donde:

K_{fc} [adimensional] = Coeficiente de infiltración (fracción que infiltra por textura del suelo);
 fc [mm/día] = Infiltración básica del suelo.

Para aplicar esta ecuación, el rango de fc ha de encontrarse entre 16 a 1568 mm/día. Para valores de fc menores a 16 mm/día, K_{fc} = 0,0148fc/16. Para valores de fc mayor a 1568 mm/día, K_{fc} = 1.

Con las observaciones mencionadas en el párrafo anterior, el cálculo del coeficiente de infiltración por textura del suelo, se representa en la siguiente ecuación:

Ecuación para calcular el coeficiente de infiltración por textura de suelo (K_{fc}) (2)

Si fc se encuentra entre 16 y 1568 mm/día, K_{fc} = 0,267ln(fc) – 0,000154fc – 0,723

Si f_c es menor a 16 mm/día $K_{fc} = 0,0148f_c/16$

Si f_c es mayor de 1568 mm/día $K_{fc} = 1$

El valor de f_c corresponde a la permeabilidad del suelo saturado, en los primeros 30 centímetros de profundidad, por considerar que este es el espesor que está en contacto directo con el agua de lluvia. Dicho valor se obtiene en el campo, con la prueba de anillos aplicada en la superficie del terreno. También se puede obtener con el permeámetro de Guelph o con la prueba de Porchet, ambas aplicadas a una profundidad no mayor de 30 cm.

Ecuación para el cálculo del coeficiente de infiltración del suelo (3)

Si $K_p + K_v + K_{fc}$ es mayor de 1, $C_i = 1$.

Si $K_p + K_v + K_{fc}$ es menor o igual a 1, entonces $\rightarrow C_i = K_p + K_v + K_{fc}$.

Donde:

C_i = Coeficiente de infiltración [adimensional].

K_p = Fracción que infiltra por efecto de pendiente [adimensional] (Tabla 3)

K_v = Fracción que infiltra por efecto de cobertura vegetal [adimensional] (Tabla 3)

K_{fc} = Fracción que infiltra por textura del suelo [adimensional]

Tabla 3. Componentes del coeficiente de infiltración.

Por pendiente:	Pendiente	K_p
Muy plana	0.02% – 0.06 %	0.30
Plana	0.3% – 0.4 %	0.20
Algo plana	1% – 2 %	0.15
Promedio	2% – 7 %	0.10
Fuerte	Mayor de 7%	0.06

Por cobertura vegetal:	K_v
Cobertura con zacate menos del 50%	0.09
Terrenos cultivados	0.10
Cobertura con pastizal	0.18
Bosques	0.20
Cobertura con zacate más del 75%	0.21

Fuente: Schosinsky & Losilla, 2000.

2.2.6.2 Cálculo de infiltración pluvial mensual

En el cálculo de la precipitación que infiltra mensualmente, se han de considerar los siguientes factores: la precipitación mensual, la retención pluvial mensual en el follaje (ecuación 1) y el coeficiente de infiltración (ecuación 3).

El cálculo de la precipitación que infiltra mensualmente (P_i) al suelo, está dado por la siguiente ecuación:

$$P_i = (C_i)(P - \text{Ret}) \quad (4)$$

Donde:

P_i = Precipitación que infiltra mensualmente al suelo en [mm/mes].

C_i = Coeficiente de infiltración [adimensional] (ecuación 3)

P = Precipitación mensual en [mm/mes] (dato meteorológico).

Ret = Retención de lluvia mensual por follaje en [mm/mes] (ecuación 1).

En ningún caso el coeficiente de infiltración (C_i) ha de ser mayor de 1, si así fuese, se le asigna a C_i el valor de 1. (Schosinsky, 2006).

2.2.6.3 Escorrentía superficial

La escorrentía superficial generada por la lluvia mensual, corresponde a la precipitación mensual menos la retención de lluvia en el follaje menos la infiltración. La escorrentía mensual se calcula con la siguiente ecuación

$$\text{ESC} = P - \text{Ret} - P_i \quad (5)$$

ESC = Escorrentía superficial en mm/mes.

P = Precipitación en mm/mes (dato meteorológico).

Ret = Retención de lluvia mensual por follaje en mm/mes (ecuación 1).

P_i = Precipitación que infiltra mensualmente al suelo en mm/mes (ecuación 4) (Schosinsky, 2006).

2.2.6.4 Evapotranspiración

La evapotranspiración en una zona de cultivo se define como la transpiración de la planta, cuando el suelo se encuentra a capacidad de campo, más la evaporación del suelo.

$$ETPR = (HS - PM)(ET)/(CC-PM) \quad (6)$$

Donde:

ETPR [mm/día] = Evapotranspiración potencial real

HS [%] = Humedad del suelo

ET [mm/día] = Evapotranspiración de la planta a capacidad de campo

CC [%] = Capacidad de campo

PM [%] = Punto de marchitez permanente

(Schosinsky, 2006).

2.2.6.5 Recarga al acuífero

Para ser consistente con las unidades de los parámetros que se utilizarán en adelante, tal como capacidad de campo, punto de marchitez, humedad del suelo, precipitación y evapotranspiración se utilizarán unidades en milímetros.

Para poder convertir la humedad del suelo, punto de marchitez y capacidad de campo a milímetros, los pasaremos de porcentaje por peso de suelo seco, tal como aparecen en tablas o laboratorio de suelos, a porcentaje por volumen mediante la siguiente ecuación:

$$\% \text{ por volumen} = (\% \text{ por peso de suelo seco}) * (\text{densidad aparente}) \quad (8)$$

Cuando ocurre la precipitación, el agua que infiltra se acumula en los poros del suelo, para llevarlo a capacidad de campo, que es la máxima acumulación de agua que puede tener un suelo no saturado. Posteriormente, una vez terminado el aguacero, se lleva a cabo la evapotranspiración, tomando las raíces el agua que se encuentra en los poros del suelo. Si la cantidad de infiltración de la lluvia es suficiente para llevar al suelo a capacidad de campo y llenar la necesidad de evapotranspiración, el sobrante del agua que infiltra, percola para recargar al acuífero.

Al iniciar un mes cualquiera, el suelo tendrá una humedad inicial (H_{Si}). Si no existiese evapotranspiración, la precipitación que infiltra (P_i) vendría a aumentar la humedad en el suelo, permitiendo una mayor evapotranspiración. Si no consideramos la evapotranspiración, el coeficiente de humedad, al final del mes, sería (**C1**):

$$C1 = (H_{Si} - PM + P_i) / (CC - PM) \quad (10)$$

Donde:

C1 = Coeficiente de humedad al final del mes antes de que ocurra la evapotranspiración.

H_{Si} = Humedad al inicio del mes, humedad de suelo inicial en [mm].

PM = Punto de marchitez en [mm].

P_i = Precipitación que infiltra en [mm/mes].

CC = Capacidad de campo en [mm].

Si consideramos que ocurre la evapotranspiración, una vez ocurrida la infiltración, el coeficiente de humedad, al final del mes sería:

$$C2 = (H_{Si} - PM + P_i - ETR1) / (CC - PM) \quad (11)$$

$$ETR1 = (C1)(ETP)$$

Donde:

C2 = Coeficiente de humedad al final del mes, después de que ocurra la evapotranspiración.

ETR1 = Evapotranspiración potencial real [mm/mes], considera la humedad correspondiente al coeficiente C1.

ETP = Evapotranspiración potencial [mm/mes].

El valor de **C1** corresponde al coeficiente de humedad máximo, ya que considera la humedad del suelo al inicio del mes, más la infiltración de la lluvia, sin ocurrir la evapotranspiración. El valor de **C2**, corresponde al coeficiente de humedad mínimo, ya que está calculado considerando la humedad del suelo anterior, restándole la evapotranspiración mensual,

estimada con el coeficiente de humedad máximo, C1. Por lo tanto, el coeficiente C2 se aproxima al coeficiente de humedad al final del mes.

Como la infiltración y la evapotranspiración ocurre durante el mes, se estima que el coeficiente de humedad del mes corresponde al promedio de C1 y C2; o sea, $(C1+C2)/2$; esto quiere decir que la evapotranspiración potencial real ocurrida en un mes dado es:

$$\text{ETPR (mm/mes)} = ((C1+C2)/2) \text{ ETP (12)}$$

Donde:

ETPR = Evapotranspiración real tentativa promedio, en una zona, ocurrida durante el mes [mm/mes]

C1 = Coeficiente de humedad máximo, sin considerar la evapotranspiración.

C2 = Coeficiente de humedad mínimo considerando evapotranspiración calculada con C1.

ETP = Evapotranspiración potencial [mm/mes]

Ninguno de los coeficientes de humedad, C1 y C2, pueden ser superiores a 1, ni menores a 0. En caso que C1 o C2, sea mayor de 1, se tomará igual a 1. Si C1 o C2 son negativos se tomarán con valor de 0.

Definiremos como **humedad disponible** (HD), aquella humedad que pueden tomar las raíces de las plantas, para poder evapotranspirar. La humedad disponible está dada por la siguiente ecuación:

$$\text{HD (mm/mes)} = \text{Hsi} + \text{Pi} - \text{PM (13)}$$

Donde:

HD = Humedad disponible [mm/mes].

Hsi = Humedad de suelo inicial (al inicio del mes) [mm].

Pi = Precipitación que infiltra [mm/mes].

PM = Punto de marchitez [mm].

(Fuente: Schosinsky, 2006).

Si la humedad disponible es menor que la ETPR de la ecuación (12), la planta no podrá evapotranspirar dicha cantidad, sino que evapotranspirará únicamente la humedad disponible, debido a que no hay suficiente humedad para evapotranspirar la cantidad de agua indicada en la ecuación (12). Sin embargo, si la humedad disponible (HD) es mayor que la cantidad de agua indicada en la ecuación (12), la planta evapotranspirará la cantidad expresada en dicha ecuación. Por lo tanto, la evapotranspiración real será:

Ecuación para el cálculo de evapotranspiración real (ETR) (14)

Si $((C1+C2)/2)ETP$ es menor o igual a HD, $ETR \text{ (mm/mes)} = ((C1+C2)/2)ETP$

Si $((C1+C2)/2)ETP$ es mayor que HD, $ETR \text{ (mm/mes)} = HD$

Donde:

ETR = Evapotranspiración real promedio de la zona, ocurrida durante el mes [mm/mes].

C1 = Coeficiente de humedad máximo, sin considerar la evapotranspiración [adimensional].

C2 = Coeficiente de humedad mínimo considerando evapotranspiración calculada con C1, [adimensional].

ETP = Evapotranspiración potencial [mm/mes].

HD = Humedad disponible [mm/mes]

Para poder realizar el cálculo de la recarga del acuífero, se requiere conocer la humedad del suelo al final del mes, humedad de suelo final (HSf), la cual no puede ser mayor que la capacidad de campo y se obtiene con la siguiente ecuación:

Ecuación para el cálculo de HSf (15)

Si $(HD + PM - ETR)$ es menor que la capacidad de campo, $HSf = HD + PM - ETR$

Si $(HD + PM - ETR)$ es mayor o igual que la capacidad de campo, $HSf = CC$

La **HSf** en ningún momento puede ser mayor a la CC.

Donde:

HSf = Humedad del suelo final (final de mes) [mm].

HD = Humedad disponible [mm/mes].

PM = Punto de marchitez [mm].

ETR= Evapotranspiración real [mm/mes].

CC = Capacidad de campo [mm].

Además del cálculo de la ecuación para la humedad del suelo al final del mes, es necesario la humedad de suelo al inicio del mes, o sea, humedad inicial (HSi). La humedad inicial de un mes dado es la siguiente:

HSi = Es igual a la humedad de suelo final del mes anterior (HSf de ecuación 15) (16)

HSi = Humedad del suelo inicial (inicio de mes) [mm].

HSf = Humedad del suelo final (final de mes) [mm].

(Fuente: Schosinsky, 2006).

2.2.6.6 Cálculo de recarga potencial al acuífero

La recarga al acuífero se lleva a cabo, si la cantidad de agua que infiltra es suficiente para llevar al suelo a capacidad de campo y además satisfacer la evapotranspiración de las plantas. El agua sobrante, una vez satisfecha la capacidad de campo y la evapotranspiración, es la que recarga al acuífero, la que se calcula con la siguiente ecuación:

$$R_p = P_i + H_{Si} - H_{Sf} - ETR \quad (17)$$

(Fuente: Schosinsky, 2006).

Rp = Recarga potencial mensual en mm/mes.

Pi = Precipitación que infiltra en mm/mes.

HSf = Humedad del suelo al final del mes en mm.

ETR = Evapotranspiración real en mm/mes. (Schosinsky, 2006).

2.3 DEFINICIÓN DE TÉRMINOS

ACUÍFERO. Formación geológica que contiene agua en cantidad apreciable y que permite que circule a través de ella con facilidad (Sánchez, 2014).

AFORO. Medición de la cantidad de agua que pasa por un determinado canal, que puede tratarse de un curso fluvial, o de un lago, laguna, vaso o presa (Dávila, 1995).

CAUDAL. Son las aguas que se percolan desde los estratos superficiales del suelo hasta el subsuelo. Este fenómeno está determinado por las características topográficas del territorio, la velocidad del escurrimiento y la permeabilidad del subsuelo (Ferrer, 1971).

CUENCA HIDROGRÁFICA. Es el espacio de territorio delimitado por la línea divisoria de las aguas, conformado por un sistema hídrico que conducen sus aguas a un río principal, a un río muy grande, a un lago o a un mar. Este es un ámbito tridimensional que integra las interacciones entre la cobertura sobre el terreno, las profundidades del suelo y el entorno de la línea divisoria de las aguas (Dávila, 1995).

INFILTRACIÓN. Son las aguas que se percolan desde los estratos superficiales del suelo hasta el subsuelo. Este fenómeno está determinado por las características topográficas del territorio, la velocidad del escurrimiento y la permeabilidad del subsuelo (Ferrer, 1971).

MANANTIAL. Agua que aflora en un lugar de la corteza terrestre, también se les conoce como manantes (Dávila, 2001).

SUELO. El suelo está compuesto por minerales, materia orgánica, diminutos organismos vegetales y animales, aire y agua. Es una capa delgada que se ha formado muy lentamente, a través de los siglos, con la desintegración de las rocas superficiales por la acción del agua, los cambios de temperatura y el viento. Las plantas y animales que crecen y mueren dentro y sobre el suelo son descompuestos por los microorganismos, transformados en materia orgánica y mezclados con el suelo (FAO, 2020).

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 UBICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

3.1.1 Geográfica

La zona de estudio se ubica en el sector noroeste de la microcuenca del río Mashcón que a su vez se localiza en la sierra norte del Perú y corresponde a la vertiente occidental de la cordillera de los Andes. Las coordenadas UTM-WGS 1984 de sus vértices se describen en la Tabla 4 y la ubicación general se puede observar en el Mapa 01.

Tabla 4. Vértices de área de estudio, Datum: WGS-84

VÉRTICE	ESTE	NORTE
1	771713.494	9210136.835
2	772282.578	9210494.517
3	772875.927	9209735.063
4	772318.783	9209350.889

3.1.2 Política

El área de estudio comprende los barrios San Francisco y Pariapuquio, los que se encuentran en el distrito de Cajamarca, provincia y departamento del mismo nombre.

3.2 HIDROGRAFÍA

Conformada principalmente por las quebradas Mayopata, Pariapuquio y La Hualanga, las que drenan hacia el río Mashcón por el margen derecho. Estos drenajes se han generado por erosión hídrica y apoyados por la fuerte pendiente que predomina en el sector.

3.3 ACCESIBILIDAD

Para acceder a la zona de estudio se tomará como referencia la plaza de armas de la ciudad de Cajamarca, en la Tabla 5, se muestra el recorrido.

Tabla 5. Accesibilidad de la zona de investigación

Ruta	Distancia (km)	Tiempo (minutos)	Tipo de vía
Plaza de armas – Barrio Lucmacucho	1.3	7	Asfaltado
Barrio Lucmacucho – Zona de estudio	1.9	10	Trocha carrozable

3.4 METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.4.1 Tipo de investigación

De acuerdo a la Tabla 6; la investigación, según el enfoque es cuantitativa porque utiliza mediciones numéricas (caudal, precipitación) y análisis estadístico.

Según el alcance es descriptivo, porque se describirán las características hidrogeológicas de los depósitos cuaternarios. Explicativo, pues al finalizar el análisis de las variables involucradas se establecerá las causas de la disminución del caudal.

Según el diseño, la investigación será no experimental pues el análisis se dará en su contexto natural.

Tabla 6. Clasificación y tipos de investigación

Clasificación	Tipo
Enfoque	Cuantitativo
Alcance	Descriptivo/Explicativo
Diseño	No experimental

Fuente: Modificado de Hernández, 2016.

3.4.2 Población de estudio

Sector San Francisco-Pariapuquio, distrito de Cajamarca. Área, 0.66 km².

3.4.3 Muestra

Depósitos cuaternarios donde aflora el manantial, precipitación.

3.4.4 Unidad de análisis

Se analiza las características hidrodinámicas de los depósitos cuaternarios (suelo) y su relación en la disminución del caudal (L/s) del manantial, precipitación (mm/año).

3.4.5 Identificación de variables

Para la investigación se han identificado variable dependiente e independiente, los cual se plasman en la siguiente tabla.

Tabla 7. Identificación de variables para la investigación

Variable Independiente (Causa)	Variable Dependiente (Efecto)
Precipitación	Manantial
Infiltración	
Depósitos Cuaternarios	
Vegetación	

3.4.6 Técnicas

3.4.6.1 Fase I. Gabinete etapa inicial

3.4.6.1.1 Delimitación de la zona de estudio

Para la investigación se optó por delimitar la zona donde aflora el manantial, además se incluyó la extensión de los barrios involucrados, para obtener el área final de estudio, porque nos da una noción de la cantidad poblacional que abastece el manantial.

3.4.6.1.2 Recopilación de información bibliográfica

Dicha etapa consistió en seleccionar información acerca del tema de investigación siendo de mayor importancia aquellos que tienen como unidad de análisis manantiales, captación de agua subterránea, hidrogeología en depósitos cuaternarios y procedimientos para el muestreo de suelo.

3.4.6.2 Fase II. Recolección de información en campo

Reconocimiento general del área de estudio, toma de datos de rumbo y buzamiento de las estructuras geológicas, esto comprende el cartografiado geológico-estructural con escala de 1/15 000. Los datos de coordenadas se han tomado en datum WGS-84, pues la cartografía peruana actual se ha uniformizado en dicho datum.

- Recolección de muestras de rocas para su posterior análisis en gabinete.
- Ubicación de coordenadas del manantial, bosquejos en campo de su posible origen.
- Prueba de infiltración por el método de Porchet, para conocer el coeficiente de infiltración en la zona.
- Muestreo de los depósitos cuaternarios (suelo) que circundan al manantial y posterior envío al laboratorio para su análisis.

3.4.6.3 Fase III. Gabinete etapa final (Procesamiento de datos)

Los datos de las mediciones de azimut de los estratos, fallas, fracturas, sinclinales, anticlinales serán transferidos al programa Excel 2010, para que puedan ser trabajadas con el software ARCGIS v 10.3.1, cuyo resultado serán los mapas temáticos. Posteriormente, se interpretarán los resultados del análisis de suelo que nos darán parámetros hidrodinámicos y relacionarlos con las precipitaciones para realizar un balance hídrico del suelo.

3.4.7 Instrumentos y equipos

3.4.7.1 Recursos de gabinete

Laptop Dell core i7, se utilizará para la redacción del informe en toda la etapa de tesis.

Impresora a colores, para la impresión de planos, fichas.

Software ArcGIS v10.3.1, para la generación de mapas temáticos con georreferenciación.

Google Earth, para la geolocalización del área de estudio.

Software Excel 2010 para el cálculo del balance hídrico.

3.4.7.2 Recursos de campo

Carta topográfica a escala 1/10 000, como base para el cartografiado geológico

Carta geológica de Ingemmet a escala 1/50 000, como referencia geológica.

Imágenes satelitales Landsat 7.

Picota, para extracción de muestras de mano

Brújula Brunton, para orientarse en campo y obtener datos de rumbo y buzamiento.

GPS Garmin Navegador, para la georreferenciación en el cartografiado.

Lupa (20x), para descripción macroscópica de rocas y sedimentos.

Ácido clorhídrico, para el contenido de carbonatos.

Libreta de campo, para apuntar los datos en campo.

Kit de muestreo de suelo, para recolectar muestra de los depósitos cuaternarios.

3.5 PROCEDIMIENTO:

3.5.1 Delimitación de la cuenca hidrográfica

En base a la topografía obtenida de un modelo digital de elevaciones a detalle con una resolución de 30 metros (fuente SRTM), se ha logrado definir los límites de la cuenca hidrográfica del río Mashcón, luego se hizo una disgregación en subcuencas, intercuencas para localizar nuestra área de estudio en una zona más local de la cuenca por el Método Pfafstetter.

3.5.2 Cartografiado

Se realizó el cartografiado geológico a detalle (1/15 000) para poder conocer el medio geológico donde se ubica el manantial y así definir la unidad hidrogeológica.

3.5.3 Muestreo y pruebas en campo

Definido el medio geológico (depósitos cuaternarios) donde se ubica el manantial, se procedió a tomar muestras de suelo para que sean enviados a laboratorio y conocer su granulometría, grado de humedad, tipo de suelo.

Además, se realizó la una prueba de infiltración por el método de Porchet, donde se hace una excavación de máximo 30 centímetros de profundidad, luego se agrega agua para medir el tiempo de infiltración; cuando el medio esté completamente saturado obtendremos la tasa y el coeficiente de infiltración que nos servirán posteriormente para el balance hídrico.

3.5.4 Balance hidrogeológico

Se realizará por el método de Gunther Schosinsky N., para conocer el valor de la recarga potencial del manantial mediante un balance hídrico de suelos. En este procedimiento nos apoyaremos en valores teóricos de Grassi (1976) para el punto de marchitez permanente y capacidad de campo en función a la textura del suelo.

3.5.5 Modelo unicelular de parámetros agregados

Se ha visto conveniente utilizar la metodología del modelo unicelular para modelar la salida a través del manantial en depósitos cuaternarios (suelo) pues considera al acuífero como una celda con un volumen V que descarga un caudal Q . Para ello utilizaremos el modelo de Maillet (1905) que nos permitirá estimar el caudal del manantial en estudio, el modelo

considera un valor inicial de caudal de descarga (L/s) y el coeficiente de agotamiento de la formación superficial; se expresa de la forma siguiente:

$$Q = Q_{i-1} e^{-\alpha \Delta t} + I_i (1 - e^{-\alpha \Delta t})$$

Q: Caudal drenado por el manantial (L/s)

Q_{i-1} : Caudal drenado por el manantial (L/s) en un tiempo anterior

α : Coeficiente de agotamiento

t: Incremento de tiempo (en este caso mensual, expresado en días)

I_i : Infiltración

El coeficiente de agotamiento está en función de los parámetros hidrodinámicos del medio donde se ubica el manantial, de la extensión y espesor del mismo.

Fuente: Schosinsky, 2006

$$\alpha = \frac{\pi^2 * k * b}{L^2 * S_y}$$

α : Coeficiente de agotamiento

k: Permeabilidad de la formación superficial (m/d)

b: Espesor saturado de la formación (m)

L: Longitud de la cuenca (m)

S_y : Porosidad efectiva de la formación (porosidad drenable)

Fuente: Schosinsky, 2006

La estimación del caudal, mediante el modelo unicelular permitirá conocer la evolución de los caudales en años anteriores y junto a los valores de recarga potencial obtenidos del balance hídrico se analizará los factores que han influenciado en la disminución del caudal, de darse el caso.

3.6 INTERCUENCA HIDROGRÁFICA

La red hidrográfica a la que pertenece el área de estudio es a la subcuenca del río Mashcón, donde a su vez se dividen en diferentes unidades hidrográficas. La subcuenca del Mashcón tiene un área de 473.72 km².

Se ha denominado subcuenca según la clasificación realizada por el Centro Interamericano de Desarrollo Integral de Agua y Suelos (CIDIAT-MARNR, 1978).

La Autoridad Nacional del Agua (ANA) utiliza el sistema de codificación Pfafstetter para la identificación de cuencas hidrográficas. El sistema describe la anatomía regional de una red hidrográfica de drenaje utilizando una codificación jerarquizada de dígitos decimales. El sistema Pfafstetter es importante porque asiste en la identificación de subcuencas (de varios niveles) procesadas con sistemas de información geográfica (SIG). Ver Mapa 02.

Una cuenca de Nivel 0 corresponde a un tamaño de escala continental, es decir, una cuenca que drena hacia el océano. Los niveles (números) de codificación más altos representan subdivisiones progresivamente más pequeñas de la cuenca de Nivel 0. Teóricamente, el sistema no está limitado en el número de niveles. En la práctica, sin embargo, los niveles entre $n = 6$ a $n = 8$ son usualmente suficientes. En cada nivel, a cada cuenca se le asigna un número entero específico m , que varía de $m = 0$ a $m = 9$, dependiendo de su ubicación y función en la red de drenaje. En tal sentido, la zona de estudio se ubica dentro de la intercuenca hidrográfica 4989887.

Tabla 8. Codificación Hidrográfica-Método Pfafstetter

CODIFICACIÓN (NIVEL)	UNIDAD HIDROGRÁFICA
4	Región Hidrográfica del Amazonas
49	Alto Amazonas
498	Marañón
4989	Alto Marañón
49898	Crisnejas
498988	Mashcón
4989887	Intercuenca S/N

Fuente: INGEMMET, 2018.

3.7 GEOLOGÍA LOCAL

La zona de estudio abarca rocas sedimentarias del cretácico y depósitos cuaternarios, que se han visto afectados por diversos procesos tectónicos donde han generado gran cantidad de diaclasas a lo largo de sus estratos. El fracturamiento de las rocas favorece a la infiltración de agua y su posterior descarga en los manantiales, agua abajo. La distribución de la geología la podemos ver en el Mapa 03.

3.7.1 Formación Farrat (Ki-fa)

Esta formación pertenece al Cretácico inferior. Encontramos rocas areniscas de grano fino a grueso, con intercalaciones de limo-arcillitas y limolitas de color pardo. Estas rocas se encuentran en geformas de montañas bajas y con pendientes pronunciadas. Estratos de 0.05 a 0.1 metros de espesor representados por lutitas en la base y areniscas con espesores de 0.4 a más.



Foto 1. Areniscas de grano fino intercaladas con limoarcillitas, presentan fracturamiento moderado-alto. (N96/31). E: 772289, N: 9209957, C: 2973 m.s.n.m

3.7.2 Depósitos Cuaternarios

Por la morfología de los clastos se pueden clasificar como depósitos coluvio-glaciales, estos sobreyacen a la Formación Farrat generando una discordancia angular. Dichos depósitos están conformados por acumulaciones de gravas de tamaño variable que van de 0.1 metros a 0.4 metros, sub-angulosos a redondeados consolidados dentro de una matriz arcillo-arenosa. En esta unidad geológica se localiza el manantial en estudio, cabe destacar que su espesor varía de 2 a 10 metros.



Foto 2. Depósitos cuaternarios. E: 772520., N: 9209808.39, C: 2900 m.s.n.m.

3.8 PRUEBA DE INFILTRACIÓN POR MÉTODO PORCHET

La infiltración es el proceso hidrológico por el cual el agua ingresa al suelo a través de su superficie. Existen dos elementos principales en este proceso, el agua que es la que sufre el proceso de infiltración y el suelo, el cual se transforma como receptor de dicha infiltración, ya sea de forma temporal o permanente.

Existen tres fenómenos que ocurren cuando el agua se infiltra en el terreno:

- Retención como humedad del suelo y posterior uso por parte de las plantas a través del fenómeno evapotranspiración.
- Recarga de acuíferos
- Constituir un flujo de escurrimiento subsuperficial que puede alimentar luego al flujo o escurrimiento superficial.

Si bien existen diversas metodologías para realizar una prueba de infiltración, en la presente investigación se optó por usar el método de Porchet, que consiste en excavar un agujero cilíndrico de radio constante y profundidad no mayor de 30 centímetros en el que se medirá el descenso del nivel de agua a través del tiempo. Una vez alcanzada la saturación del terreno adyacente al pozo, la velocidad de infiltración será constante y consideraremos dicho valor como la infiltración básica en el terreno.

Primero: Quitar la cobertura vegetal, compuesta por musgo.



Foto 3. Preparando el terreno para realizar la prueba de infiltración.

Segundo: Se limpió correctamente el área, desprendiendo toda la vegetación en un área de aproximadamente 1 metro cuadrado, para luego excavar un hoyo de 20 centímetros de profundidad y 20 centímetros de diámetro.



Foto 4. Fijando las medidas del hoyo excavado.

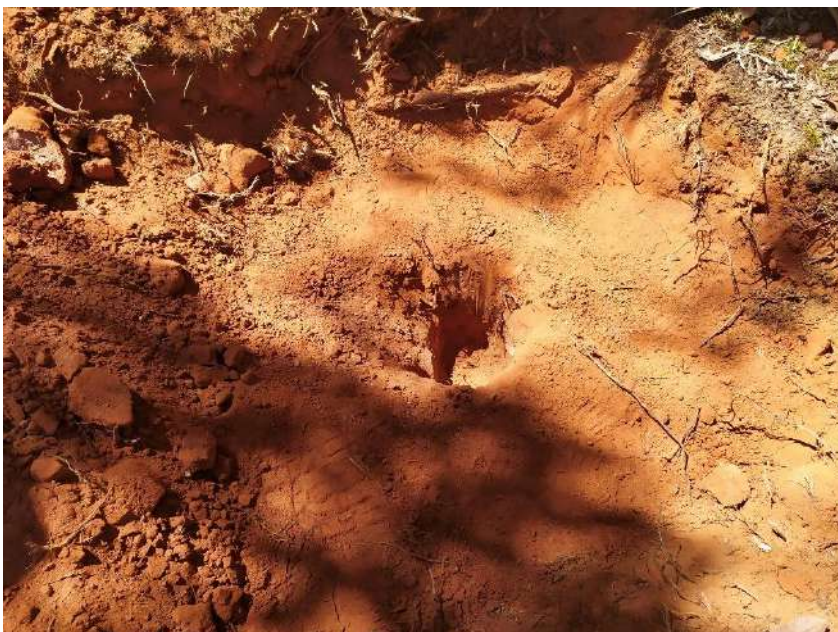


Foto 5. Vista final del hoyo excavado.

Tercero: Se agregó agua y se procedió a realizar las diversas mediciones de tiempo para luego procesar la información. La prueba duró aproximadamente 4 horas.



Foto 6. Tomando las lecturas del descenso del agua.

La prueba inició 10:24 de la mañana y culminó 14:20, en un inició las lecturas de descenso fueron tomadas cada 1 minuto, luego se intercaló y finalmente se consideró que a partir de las 11:00 tomar las lecturas cada 10 minutos constantes hasta culminar.

Así pues, para determinar la infiltración, basta con medir pares de valores (h1, t1) y (h2, t2), donde “h” corresponderá a los descensos y “t” a los intervalos de tiempo; finalmente, conociendo las variables mencionadas, se reemplazan en la siguiente expresión:

$$f = \frac{R}{2 * (t_2 - t_1)} * \ln\left(\frac{2h_1 + R}{2h_2 + R}\right)$$

Donde:

f: Infiltración

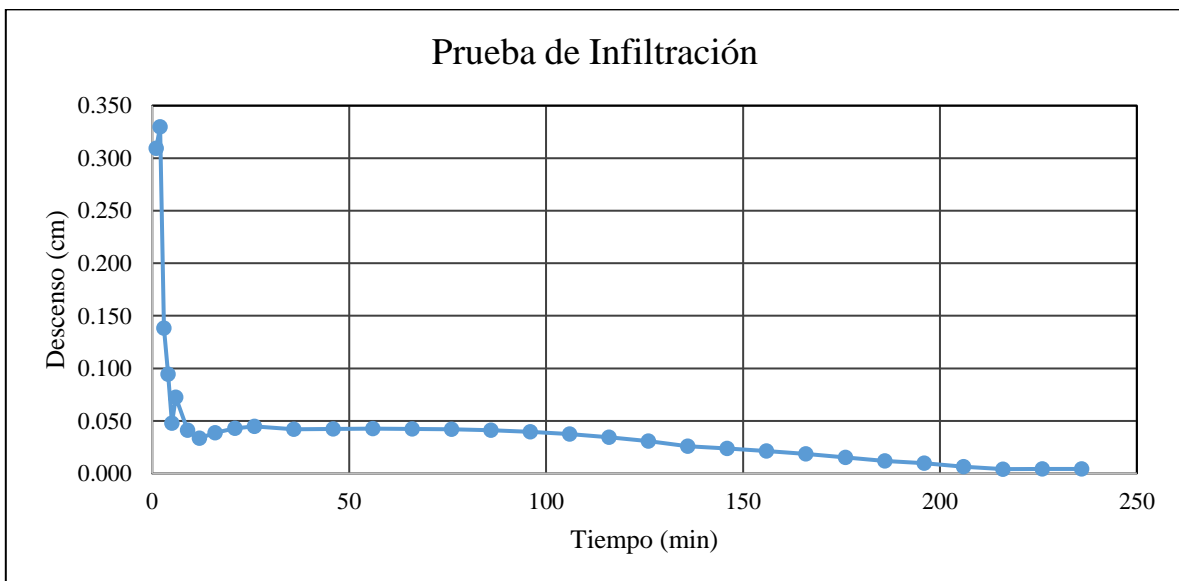
R: Radio del hoyo

t₂, t₁: Intervalos de tiempo

h₂, h₁: Lecturas de descenso

El procesamiento de datos arrojó una velocidad de infiltración de 0.0042 cm/min, donde la capacidad de infiltración será 60.76 mm/día. En el gráfico 1, se muestra el descenso de la prueba hasta llegar a un valor constante.

Gráfico 1. Representación del descenso del agua hasta alcanzar un valor constante.



3.9 MUESTREO DE SUELO

Si bien para realizar el muestreo de un horizonte u horizontes de suelo, es necesario realizar una calicata, en el presente caso no fue necesario ya que el suelo a muestrear se encuentra en un corte de carretera. Se tomó un sector del talud para poder recolectar la muestra, excavando con sumo cuidado y obteniendo la muestra más representativa del área.

En la siguiente fotografía se aprecia el lugar de donde fue tomada la muestra.

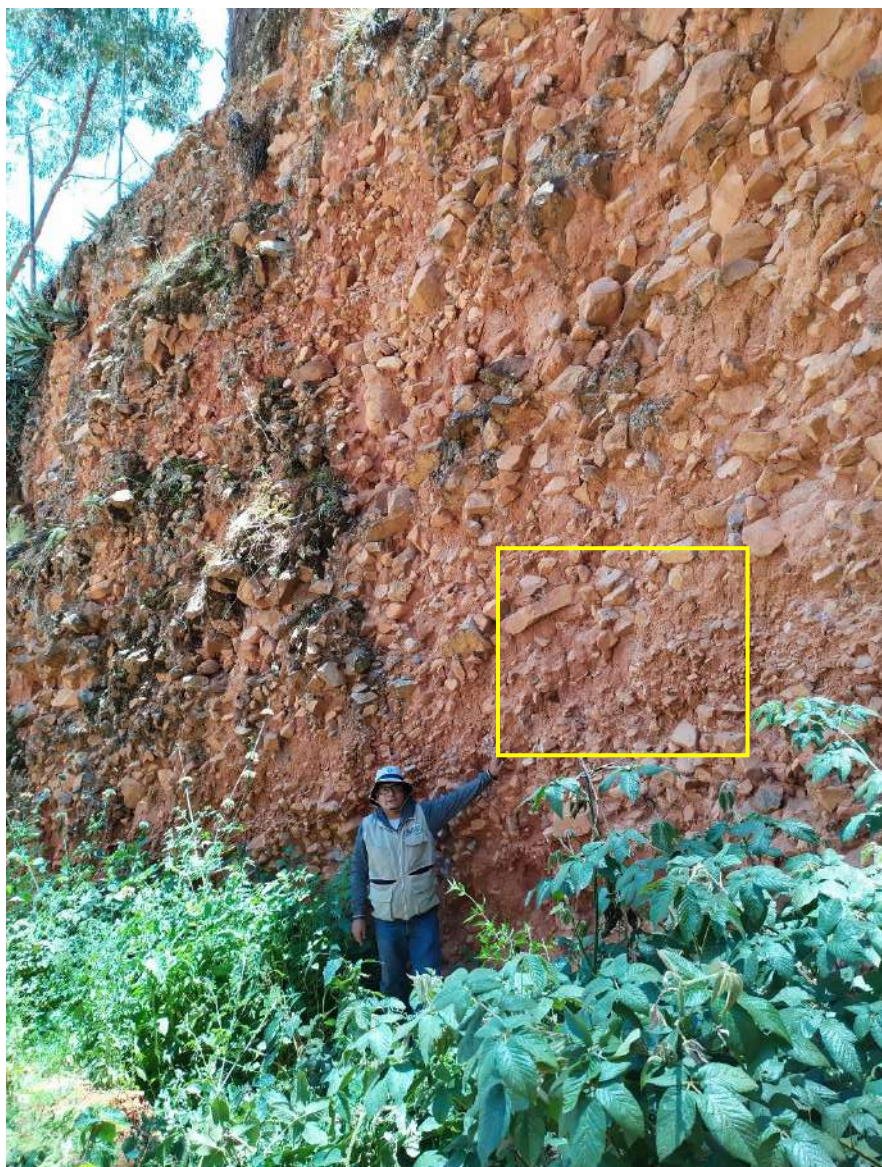
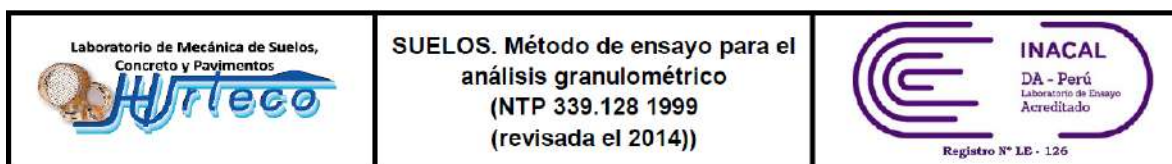


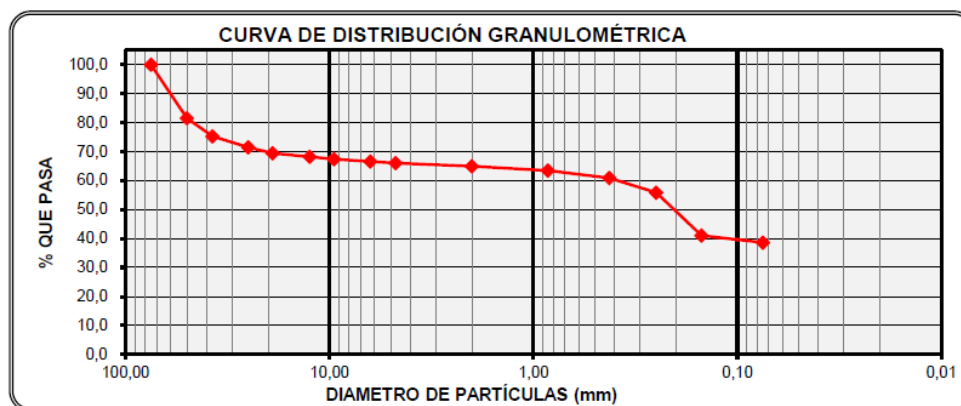
Foto 7. Área seleccionada para el muestreo de suelo.

La muestra enviada a laboratorio HURTECO, se le realizó un ensayo para análisis granulométrico y así obtener la curva de distribución granulométrica, así como los porcentajes de grava, arenas y arcillas; obteniendo los resultados mostrados en la figura 3.

Figura 3. Resultados del análisis del suelo.



TAMICES ASTM	ABERTURA (mm)	MASA RETENIDA (g)	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	EETT (CLIENTE)	DESCRIPCIÓN	
6 in.	150,000	0,00	0,0	100,0	- -	Masa Muestra Húmeda:	9 004,00 g
4 in.	100,000	0,00	0,0	100,0	- -	Masa Seca Inicial:	8 833,00 g
3 in.	75,000	0,00	0,0	100,0	- -	Masa Seca Lavada:	5 414,00 g
2 in.	50,000	1 624,00	18,4	81,6	- -	Bloques (>300 mm):	0,0%
1 1/2 in.	37,500	559,00	24,7	75,3	- -	Bolones (75 mm - 300 mm):	0,0%
1 in.	25,000	333,00	28,5	71,5	- -	Gravas (4.75 mm - 75 mm):	33,90%
3/4 in.	19,000	186,00	30,6	69,4	- -	Arenas (0.075 mm - 4.75 mm):	27,50%
1/2 in.	12,500	106,00	31,8	68,2	- -	Limos y Arcillas (<0.075 mm):	38,60%
3/8 in.	9,500	67,00	32,6	67,4	- -	CARACTERÍSTICAS	
1/4 in.	6,300	72,00	33,4	66,6	- -	Diámetro Efectivo D ₆₀ (mm):	0,40
No. 4	4,750	40,00	33,9	66,1	- -	Diámetro Efectivo D ₃₀ (mm):	-
No. 10	2,000	102,63	35,1	64,9	- -	Diámetro Efectivo D ₁₀ (mm):	-
No. 20	0,850	124,74	36,5	63,5	- -	Coficiente Uniformidad (Cu):	-
No. 40	0,425	232,70	39,1	60,9	- -	Coficiente Curvatura (Cc):	-
No. 60	0,250	447,90	44,2	55,8	- -	Límite Líquido (LL):	-
No. 140	0,150	1 308,38	59,0	41,0	- -	Límite Plástico (LP):	-
No. 200	0,075	210,02	61,4	38,6	- -	Índice de Plasticidad (IP):	-
Cazoleta	-	1,48	100,0			Error de ensayo (%):	-0,010%



- Además, según la **clasificación S.U.C.S**, se obtuvo como resultado una **Grava arcillosa con arena (GC)**.

3.10 PARÁMETROS HIDRODINÁMICOS

3.10.1 Espesor saturado

La zona saturada de un acuífero es aquella en donde los poros están completamente llenos de agua; el espesor saturado, es la distancia entre la base del acuífero y el nivel freático. En la zona de estudio se puede apreciar que el espesor saturado se delimita desde la cota en que aflora el manantial hasta la discordancia angular entre los depósitos cuaternarios con las rocas sedimentarias; es decir, una altura de 4.5 metros.

3.10.2 Permeabilidad y transmisividad

Para determinar el coeficiente de permeabilidad se utilizaron los datos medidos en la prueba de infiltración, pero se reemplazaron en una ecuación planteada por la FAO para hallar la permeabilidad en suelos, la expresión es la siguiente:

$$K = \frac{\left[\left(\frac{D}{2} \right) * \ln \left(\frac{h_1}{h_2} \right) \right]}{2 * (t_2 - t_1)}$$

Donde:

K : Permeabilidad

D : Diámetro del hoyo

t_2, t_1 : Intervalos de tiempo

h_2, h_1 : Lecturas de descenso

Fuente: FAO, 2020

Luego del procesamiento de datos, se obtuvo que la **permeabilidad (K)** tiene un valor de **0.37 m/día**.

Se conoce que, la transmisividad se representa por la siguiente expresión:

$$\textit{Transmisividad (T)} = K * b$$

Donde, K : permeabilidad b : espesor saturado

Reemplazando los valores de espesor saturado y permeabilidad, se obtiene que la **transmisividad** es igual a **1.67 m²/día**.

3.10.3 Longitud de cuenca

Se define por la longitud de su cauce principal, siendo la distancia equivalente que recorre el río entre el punto de descarga aguas abajo y el punto situado a mayor distancia topográfica, aguas arriba.

Para efectos de precisión se ha tomado la longitud de la quebrada donde se ubica el manantial, ya que este drenaje secundario también formaría su propia área hidrográfica. Ver Mapa 04.

En tal sentido, el valor de la longitud de cuenca es de 1.17 kilómetros.

3.10.4 Porosidad efectiva

Para este parámetro se ha utilizado valores teóricos, según la clasificación textural del suelo de acuerdo con el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, según Charbeneau, 2000 y Bedient et al., 1994. Entonces, si tenemos en cuenta que el tipo de suelo donde se localiza el manantial se ha clasificado como una Grava arcillosa con arena, se considerará el valor de porosidad efectiva de la clase textural “Arcilla arenosa”, de la Tabla 1 en el apartado 2.2.4.

En tal sentido, el valor correspondiente es 0.321.

3.10.5 Coeficiente de agotamiento

Utilizando la expresión del coeficiente de agotamiento descrito en el apartado 3.5.5, se obtuvo el siguiente resultado:

$$\alpha = \frac{\pi^2 * k * b}{L^2 * Sy} \quad \rightarrow \quad \alpha = 2.61188E - 05$$

α : Coeficiente de agotamiento

k : Permeabilidad de la formación superficial (m/d) \rightarrow **0.37 m/día**

b : Espesor saturado de la formación (m) \rightarrow **4.5 m**

L : Longitud de la cuenca (m) \rightarrow **1400 m**

Sy : Porosidad efectiva de la formación (porosidad drenable) \rightarrow **0.321**

3.11 BALANCE HIDROGEOLÓGICO EN EL SUELO

La población que se abastece del manantial en estudio se encuentra bajo la problemática de acceso limitado al agua, pues el caudal de la fuente ha disminuido. Bajo este escenario, es sumamente importante estimar la recarga del acuífero a través de un balance hídrico en función a la precipitación, coeficiente de infiltración, precipitación, capacidad de campo, punto de marchitez, recarga potencial, profundidad radicular, entre otros.

Nuestra unidad de análisis son los depósitos cuaternarios, caracterizado como un suelo de “Gravas arcillosa con arena”; por ende, para el balance hídrico en el suelo se ha utilizado la metodología descrita en el apartado 2.2.6.

Para realizar el balance hídrico ha sido necesario contar con los parámetros descritos en la Tabla 9, que se han obtenido a lo largo de la investigación y en base a valores teóricos.

Tabla 9. Parámetros para balance hídrico en el suelo

Parámetro	Codificación	Unidades	Valor	Comentario
Coeficiente de retención de follaje	Cfo	Adimensional	0.12	Bosques muy densos Cfo = 0,20, otros Cfo = 0,12.
Capacidad de infiltración	Fc	mm/día	60.76	Hallado mediante prueba de infiltración
Fracción que infiltra por efecto de pendiente	Kp	Adimensional	0.06	Valor tomado de la Tabla 3.
Fracción que infiltra por efecto de cobertura vegetal	Kv	Adimensional	0.15	Valor tomado de la Tabla 3.
Densidad Aparente	DS	g/cm ³	1.3	Valor tomado de la Tabla 2.

Parámetro	Codificación	Unidades	Valor	Comentario
Profundidad de raíces	PR	mm	1000	Longitud de raíces de Eucaliptos, valor inicial para 1990
Capacidad de Campo	CC	mm	29	Valor tomado de la Tabla 2.
Punto de Marchitez	PM	mm	15	Valor tomado de la Tabla 2.
Humedad del suelo inicial	HSi	mm	117	Valor tomado del análisis de laboratorio, ver Anexo A. Se ha hecho la conversión a “mm”, considerando 1 metro de profundidad de raíces (ver apartado 2.2.6.5)

El balance hídrico se ha calculado para tres temporadas, la primera desde el año 1990 a 1999, segunda 2000 a 2009 y la tercera 2010 a 2019. Los resultados obtenidos se mostrarán en el siguiente capítulo.

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1 CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA

La unidad hidrogeológica donde se emplaza el manantial en estudio, se encuentra conformada por depósitos cuaternarios, que contienen un 33.9% de gravas, 27.5% de arenas y un 38.6% arcillas; es decir, son acumulaciones de gravas y bloques sub-angulosos en una matriz arcillo-arenosa. El origen de estos depósitos proviene de las rocas detríticas del grupo Goyllarisquizga, que han ido rellenando laderas y áreas topográficamente más deprimidas de la cuenca (ver Figura 3).

De acuerdo a su contenido granulométrico y en base a la clasificación de suelos SUCS, se la denomina “Grava arcillosa con arena” (ver Figura 3).

Los parámetros hidrodinámicos calculados y asociados a valores teóricos en función a la textura del suelo, indican que esta Formación es capaz de almacenar agua por su baja permeabilidad y transmitirla lentamente por su alto contenido de arcillas.

El manantial no se asocia a un flujo subterráneo profundo, ya que se intuye que el nivel freático está muy cercano a la superficie, 8 o 10 metros debajo del terreno. En tal sentido, este tipo de acuíferos son muy susceptibles a la variabilidad climática, pues disminuye el caudal en la época seca y aumenta con la época de lluvias, además por ser un depósito cuaternario la vegetación con raíces profundas influye directamente al no permitir la infiltración normal del agua.

En la figura 4, se muestra un bosquejo de la unidad hidrogeológica donde aflora el manantial, como se puede apreciar en referencia a la fotografía, éste se presenta en el depósito cuaternario, donde se ha realizado la captación, 5 metros a bajo, se aprecia la intercalación de limolitas correspondientes a la Formación Farrat.



Figura 4. Bosquejo interpretativo de la ocurrencia del manantial.

4.2 RESULTADOS DEL BALANCE HIDROGEOLÓGICO

Junto a los cálculos del balance hídrico en el suelo se ha realizado un cálculo adicional, utilizando un modelo unicelular de parámetros agregados, descrito en el apartado 3.5.5, que relaciona la disminución del caudal de agua en el manantial a medida que la profundidad radicular aumente; en este caso las plantaciones predominantes son de eucalipto y según se ha visto en la zona los árboles actuales tienen aproximadamente entre 2 a 3 metros de longitud. En tal sentido, se puede asociar la disminución a que las raíces, por su naturaleza de necesidad de agua, pueda impedir que el acuífero se recargue con normalidad, pues según los cálculos obtenidos la recarga potencial ha sido nula desde el año 1990 donde las raíces tenían una longitud de 1 metro, este dato se obtuvo por referencias de los pobladores de la zona, ya que al construir la captación encontraron raíces del tamaño mencionado (1m). Como soporte a lo anteriormente señalado, se pueden observar en la zona árboles con tamaños de 50 a 60 metros de longitud, en proporción a dicha altura necesitan raíces que soporten dicho tamaño; es decir, raíces con longitudes mayores a 1 metro.

En tal sentido, se ha realizado el balance hídrico, tomando en cuenta los siguientes parámetros, que se explican a continuación:

- F_c = Capacidad de infiltración.
- C_i = Coeficiente de infiltración.
- CC = Capacidad de campo.
- PM = Punto de marchitez.
- PR = Profundidad de raíces.
- $(CC-PM)$ = Rango de agua disponible.
- DS = Densidad de suelo
- C_1 = Factor de ETP, por cierre de estomas, antes que ocurra ETR.
- C_2 = Factor de ETP, por cierre de estomas, después que ocurre ETR.
- K_p = Factor por pendiente.
- K_v = Factor por vegetación.
- K_{fc} = Factor estimado con base a la prueba de infiltración.
- C_{fo} = Coeficiente de retención pluvial en follajes.
- P = Precipitación media mensual; P_i = Precipitación que infiltra.

- ESC = Escorrentía superficial.
- ETP = Evapotranspiración potencial; ETR = Evapotranspiración real.
- HSi = Humedad de suelo inicial; HSf = Humedad de suelo final.
- HD = Humedad disponible.
- Rp = Recarga potencial.
- Ret = Retención de lluvia.

Se han realizado balances secuenciales, divididos en tres temporadas, esto en base a la información de precipitación con que se cuenta en la estación meteorológica “Augusto Weberbauer”. Cada temporada consta de 10 años, y va simulando el valor del caudal del manantial bajo condiciones de precipitación, evapotranspiración, humedad de suelo, profundidad radicular o longitud de raíz. El cambio significativo entre cada temporada analizada ha sido el aumento en la longitud de la raíz, donde para la primera temporada simulada es de 1 metro o 1000 milímetros (ver Anexo C-Tabla 1), la segunda 2.5 metros (ver Anexo C-Tabla 2) y la tercera 3.5 metros (ver Anexo C-Tabla 2), donde la humedad del suelo al final de la temporada analizada, es el valor inicial de la siguiente temporada.

El resultados de los balances nos muestran claramente la disminución del caudal del manantial y se corrobora con algunos datos medidos por la población; de este modo, podemos notar que las raíces de los eucaliptos son los principales causantes en la disminución del caudal.

En las tablas del Anexo C, se observan todos los valores utilizados para realizar el balance hídrico, así como los resultados que fueron hallados siguiendo la metodología descrita en el apartado 3.5.5

4.3 CONTRASTACIÓN CON LA HIPÓTESIS

Luego de haber caracterizado el medio geológico donde se ubica el manantial y realizar los cálculos de balance hídrico, se puede asociar la disminución del caudal en el manantial Pariapuquio principalmente al tipo de vegetación (Eucalipto) pues sus raíces han profundizado más de 3 metros e impiden que exista recarga potencial y aumente la evapotranspiración; en tal sentido, el agua no llega a la zona saturada.

En primer lugar se realizaron pruebas en campo para obtener la capacidad de infiltración (ver Gráfico 1), luego se realizó un análisis granulométrico para caracterizar el depósito cuaternario (ver Figura 3) y finalmente, se analizó el comportamiento hidrológico en el área de investigación mediante un balance hídrico del suelo complementado con un modelo unicelular de parámetros agregados donde los resultados obtenidos se muestran en las tablas del Anexo C. Al analizar los resultados podemos observar que el caudal disminuye paulatinamente desde 1990.

CAPÍTULO V.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

- El análisis granulométrico de los depósitos cuaternarios muestra que está constituido por 33.9% de gravas, 27.5% de arenas y un 38.6% arcillas; es decir, son acumulaciones de gravas y bloques sub-angulosos en una matriz arcillo-arenosa; según la clasificación SUCS, se la denomina “Grava arcillosa con arena”. Esta unidad hidrogeológica donde se ubica el manantial se la puede relacionar como un acuífero libre, donde el nivel freático está por encima de la cota topográfica, lo que origina el manantial y por la parte inferior una capa semi impermeable. Además, por la matriz arcillosa del depósito cuaternario permite retener el agua infiltrada por más tiempo. Y en base al balance hídrico complementado con el modelo unicelular de parámetros agregados donde tiene como eje el coeficiente de agotamiento del manantial, la disminución del caudal se relaciona con la vegetación (Eucaliptos) que tiene raíces de longitud mayor a 3 metros por lo que no permite una recarga potencial adecuada al acuífero, la topografía que tiene pendientes mayores a 30 grados y dificulta la infiltración; en tal sentido el caudal ha ido decreciendo en un orden de 0.03 L/s por año.

- El cartografiado geológico estructural, permitió conocer que los depósitos cuaternarios están conformados por acumulaciones de gravas de tamaño variable que van de 0.1 metros a 0.4 metros, sub-angulosos a redondeados consolidados dentro de una matriz arcillo-arenosa. En esta unidad geológica se localiza el manantial en estudio, cabe destacar que su espesor varía de 2 a 10 metros. Los afloramientos rocosos pertenecen a la Formación Farrat, constituido por areniscas con espesores de

0.4 metros a más, de grano fino a medio e intercalados con niveles de limolitas de 0.05 a 0.1 metros de espesor.

- El comportamiento hidrológico del manantial se relaciona estrechamente con la topografía del medio, la dirección de flujo está influenciada por la pendiente del terreno, pues tomando en cuenta una zona de recarga en la parte alta y a través de medios permeables (areniscas) el agua discurre por la ladera y se retiene en los depósitos cuaternarios con matriz arcillosa y debajo de ellos un sector semi impermeable que permite la saturación del medio y posterior emanación a la superficie, originando el manantial en estudio.

5.2 RECOMENDACIONES

- A la junta de usuarios de agua que tienen a cargo la administración del manantial, se recomienda implementar mecanismos de infraestructura natural como zanjas de infiltración o áreas para cosecha de agua, para ayudar a la retención de la precipitación teniendo en cuenta que la zona presenta una pendiente fuerte.
- Realizar estudios geofísicos e instalar piezómetros de control para tratar de cuantificar las reservas de agua que tiene el acuífero, esto debería estar a cargo de la municipalidad pidiendo el apoyo través del presidente vecinal del sector.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Custodio, E. 2001. Hidrología Subterránea. Segunda Edición. Editorial Omega S.A. Barcelona – España.
- Cleary, R. 1991. Modelagem Matematica em agua subterránea. Colección ABRH de recursos hídricos. Asociación Brasileira de Recursos Hídricos, Editora USP. Sao Paulo, Brazil.
- Reyes, L. 1980. Geología de los cuadrángulos de Cajamarca, San Marcos, y Cajabamba Instituto Nacional Geológico Minero y Metalúrgico (INGEMMET).
- Rojas, H. 2008. Modelamiento para el análisis de la variación hidrogeológica espacial del acuífero la Yarada-Tacna. Tesis, Lima-Perú.
- Werner, J. 1996. Introducción a la Hidrogeología. Universidad Autónoma de Nuevo León, México. Primera Edición.
- Z. L. Huo, 2010. Simulation of effects of agricultural activities on groundwater level by combining FEFLOW and GIS. New Zealand Journal of Agricultural Research.
- Schosinsky , G. & Losilla, M., 2000: Modelo analítico para determinar la infiltración con base en la lluvia mensual.- Rev. Geol. Amér. Central, 23: 43-55.
- Schosinsky , G. 2006. Cálculo de la recarga potencial de acuíferos mediante un balance hídrico de suelos. Revista Geológica de América Central, 34-35: 13-30.
- Nippon Koei. 2010. Plan de gestión de los recursos hídricos en las cuencas Mashcón y Chonta con énfasis en el afianzamiento hídrico de las subcuencas Azufre, Paccha y Río Grande de Chonta, Cajamarca, Perú. Autoridad Nacional del Agua y Banco Interamericano de Desarrollo.

- Landa, C; Van Hoof, C; Poma, W; Mestanza, J. 1978. Los suelos de la cuenca del Río Cajamarca. Estudio Semidetallado. Programa de desarrollo de Cajamarca, división de suelos. Autoridad Nacional del Agua. Cajamarca, Perú.
- Estrela, T. Modelos matemáticos para la evaluación de recursos hídricos. 1992. Monografías. Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX). Madrid, España. 18-19 p.
- Matus, O; Faustino, J; Jiménez, F. 2009. Guía para la identificación participativa de zonas con potencial de recarga hídrica-Aplicación práctica en la subcuenca del río Jucuapa, Nicaragua. Boletín Técnico N° 38. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza - División de Investigación y Desarrollo. Turrialba, Costa Rica.
- Hargreaves, GH; Samani, ZA. 1985. Reference crop evapotranspiration from temperature. Applied Eng. in Agric., 1(2): 96-99.
- Ruíz, U. 2003. Clasificación de texturas y parámetros mecánicos de suelos. Proyecto Desarrollo Institucional para la Gestion de Sitios Contaminados. Secretaría de Medio Ambiente Recursos y Naturales. México, DF.

ANEXOS

A. RESULTADOS DEL ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO A LOS DEPÓSITOS CUATERNARIOS

B. MAPAS

- 1. MAPA DE UBICACIÓN GEOGRÁFICA**
- 2. MAPA DE UBICACIÓN HIDROGRÁFICA**
- 3. MAPA GEOLÓGICO**
- 4. MAPA DE LONGITUD DE CUENCA**
- 5. MAPA DE CAMBIO EN LA VEGETACIÓN EN BASE A IMÁGENES SATELITALES (AÑO 2004, 2009, 2016 Y 2019)**

C. RESULTADOS DE BALANCE HÍDRICO

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Custodio, E. 2001. Hidrología Subterránea. Segunda Edición. Editorial Omega S.A. Barcelona – España.
- Cleary, R. 1991. Modelagem Matematica em agua subterránea. Colección ABRH de recursos hídricos. Asociación Brasileira de Recursos Hídricos, Editora USP. Sao Paulo, Brazil.
- Reyes, L. 1980. Geología de los cuadrángulos de Cajamarca, San Marcos, y Cajabamba Instituto Nacional Geológico Minero y Metalúrgico (INGEMMET).
- Rojas, H. 2008. Modelamiento para el análisis de la variación hidrogeológica espacial del acuífero la Yarada-Tacna. Tesis, Lima-Perú.
- Werner, J. 1996. Introducción a la Hidrogeología. Universidad Autónoma de Nuevo León, México. Primera Edición.
- Z. L. Huo, 2010. Simulation of effects of agricultural activities on groundwater level by combining FEFLOW and GIS. New Zealand Journal of Agricultural Research.
- Schosinsky , G. & Losilla, M., 2000: Modelo analítico para determinar la infiltración con base en la lluvia mensual.- Rev. Geol. Amér. Central, 23: 43-55.
- Schosinsky , G. 2006. Cálculo de la recarga potencial de acuíferos mediante un balance hídrico de suelos. Revista Geológica de América Central, 34-35: 13-30.
- Nippon Koei. 2010. Plan de gestión de los recursos hídricos en las cuencas Mashcón y Chonta con énfasis en el afianzamiento hídrico de las subcuencas Azufre, Paccha y Río Grande de Chonta, Cajamarca, Perú. Autoridad Nacional del Agua y Banco Interamericano de Desarrollo.

- Landa, C; Van Hoof, C; Poma, W; Mestanza, J. 1978. Los suelos de la cuenca del Río Cajamarca. Estudio Semidetallado. Programa de desarrollo de Cajamarca, división de suelos. Autoridad Nacional del Agua. Cajamarca, Perú.
- Estrela, T. Modelos matemáticos para la evaluación de recursos hídricos. 1992. Monografías. Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX). Madrid, España. 18-19 p.
- Matus, O; Faustino, J; Jiménez, F. 2009. Guía para la identificación participativa de zonas con potencial de recarga hídrica-Aplicación práctica en la subcuenca del río Jucuapa, Nicaragua. Boletín Técnico N° 38. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza - División de Investigación y Desarrollo. Turrialba, Costa Rica.
- Hargreaves, GH; Samani, ZA. 1985. Reference crop evapotranspiration from temperature. Applied Eng. in Agric., 1(2): 96-99.
- Ruíz, U. 2003. Clasificación de texturas y parámetros mecánicos de suelos. Proyecto Desarrollo Institucional para la Gestion de Sitios Contaminados. Secretaría de Medio Ambiente Recursos y Naturales. México, DF.

ANEXOS

A. RESULTADOS DEL ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO A LOS DEPÓSITOS CUATERNARIOS

B. MAPAS

- 1. MAPA DE UBICACIÓN GEOGRÁFICA**
- 2. MAPA DE UBICACIÓN HIDROGRÁFICA**
- 3. MAPA GEOLÓGICO**
- 4. MAPA DE LONGITUD DE CUENCA**
- 5. MAPA DE CAMBIO EN LA VEGETACIÓN EN BASE A IMÁGENES SATELITALES (AÑO 2004, 2009, 2016 Y 2019)**

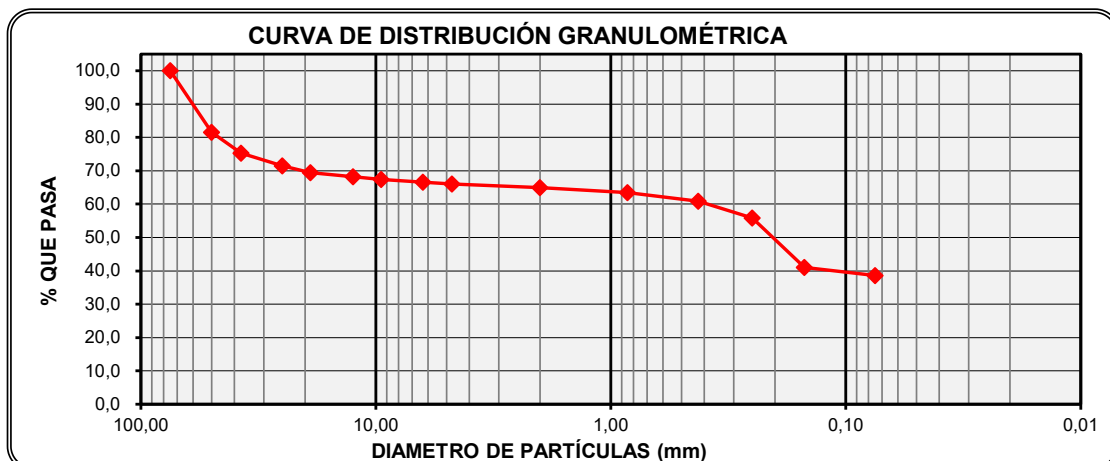
C. RESULTADOS DE BALANCE HÍDRICO

Código : LH-FOR-084 Fecha : 14/10/2019 Versión : 02 Aprobación : GG Página : 01 de 01

Proyecto (**): CARACTERIZACIÓN DE LOS DEPÓSITOS CUATERNARIOS Y SU RELACIÓN CON LA DISMINUCIÓN DEL CAUDAL EN EL MANANTIAL SAN FRANCISCO-PARIAPUQUIO, CAJAMARCA.
 Ubicación (**): PARIAPUQUIO - CAJAMARCA Informe N° : LH-B-INF-2020-0368
 Cliente : CRISTIAN PAUL QUILICHE CARRASCO Fecha de Muestreo (**): -
 Material (**): SUELO Fecha de Recepción : 20/02/2020
 Código del Cliente (**): Suelo-SFPQ Fecha de Ensayo : 25/02/2020
 Código de Laboratorio : LH-B-M-2020-0145 Fecha de Informe : 02/03/2020
 Condiciones Ambientales: Temp.: 19,80 °C HR: 59,30 %



Método de ensayo para el análisis granulométrico NTP 339.128 1999 (revisada el 2014)

TAMICES ASTM	ABERTURA (mm)	MASA RETENIDA (g)	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	EETT (CLIENTE)	DESCRIPCIÓN
6 in.	150,000	0,00	0,0	100,0	- -	Masa Muestra Húmeda: 9 004,00 g
4 in.	100,000	0,00	0,0	100,0	- -	Masa Seca Inicial: 8 833,00 g
3 in.	75,000	0,00	0,0	100,0	- -	Masa Seca Lavada: 5 414,00 g
2 in.	50,000	1 624,00	18,4	81,6	- -	Bloques (>300 mm): 0,0%
1 1/2 in.	37,500	559,00	24,7	75,3	- -	Bolones (75 mm - 300 mm): 0,0%
1 in.	25,000	333,00	28,5	71,5	- -	Gravas (4.75 mm - 75 mm): 33,90%
3/4 in.	19,000	186,00	30,6	69,4	- -	Arenas (0.075 mm - 4.75 mm): 27,50%
1/2 in.	12,500	106,00	31,8	68,2	- -	Limos y Arcillas (<0.075 mm): 38,60%
3/8 in.	9,500	67,00	32,6	67,4	- -	CARACTERÍSTICAS
1/4 in.	6,300	72,00	33,4	66,6	- -	Diámetro Efectivo D ₆₀ (mm): 0,40
No. 4	4,750	40,00	33,9	66,1	- -	Diámetro Efectivo D ₃₀ (mm): -
No. 10	2,000	102,63	35,1	64,9	- -	Diámetro Efectivo D ₁₀ (mm): -
No. 20	0,850	124,74	36,5	63,5	- -	Coefficiente Uniformidad (Cu): -
No. 40	0,425	232,70	39,1	60,9	- -	Coefficiente Curvatura (Cc): -
No. 60	0,250	447,90	44,2	55,8	- -	Límite Líquido (LL): -
No. 140	0,150	1 308,38	59,0	41,0	- -	Límite Plástico (LP): -
No. 200	0,075	210,02	61,4	38,6	- -	Índice de Plasticidad (IP): -
Cazoleta	-	1,48	100,0			Error de ensayo (%): -0,010%



Revisó y aprobó:

(**) Los datos indicados han sido declarados por el cliente.

		CONTENIDO DE HUMEDAD DE SUELOS (ASTM D 2216-19)			
Código : LH-FOR-086		Fecha : 14/10/2019		Versión : 02	
Aprobación : GG		Página : 01 de 01			

Proyecto ()** : CARACTERIZACIÓN DE LOS DEPÓSITOS CUATERNARIOS Y SU RELACIÓN CON LA DISMINUCIÓN DEL CAUDAL EN EL MANANTIAL SAN FRANCISCO-PARIAPUQUIO, CAJAMARCA.

Ubicación ()** : PARIAPUQUIO - CAJAMARCA **Informe N°** : LH-B-INF-2020-0368

Cliente : CRISTIAN PAÚL QUILICHE CARRASCO **Fecha de Muestreo** : -

Material ()** : SUELO **Fecha de Recepción** : 20/02/2020

Código del Cliente : Suelo-SFPQ **Fecha de Ensayo** : 20/02/2020

Código del Laboratorio : LH-B-M-2020-0145 **Fecha de Informe** : 02/03/2020

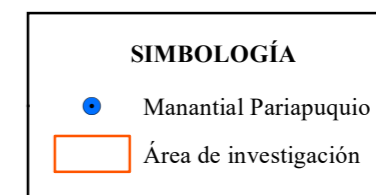
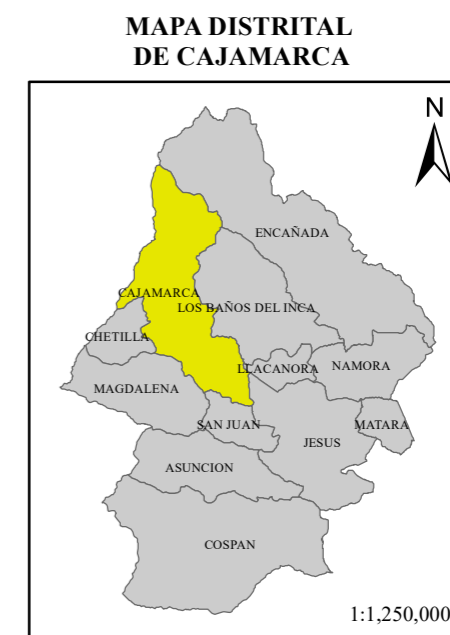
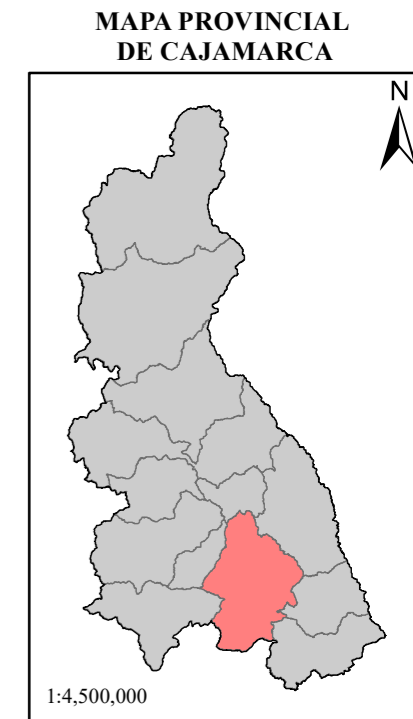
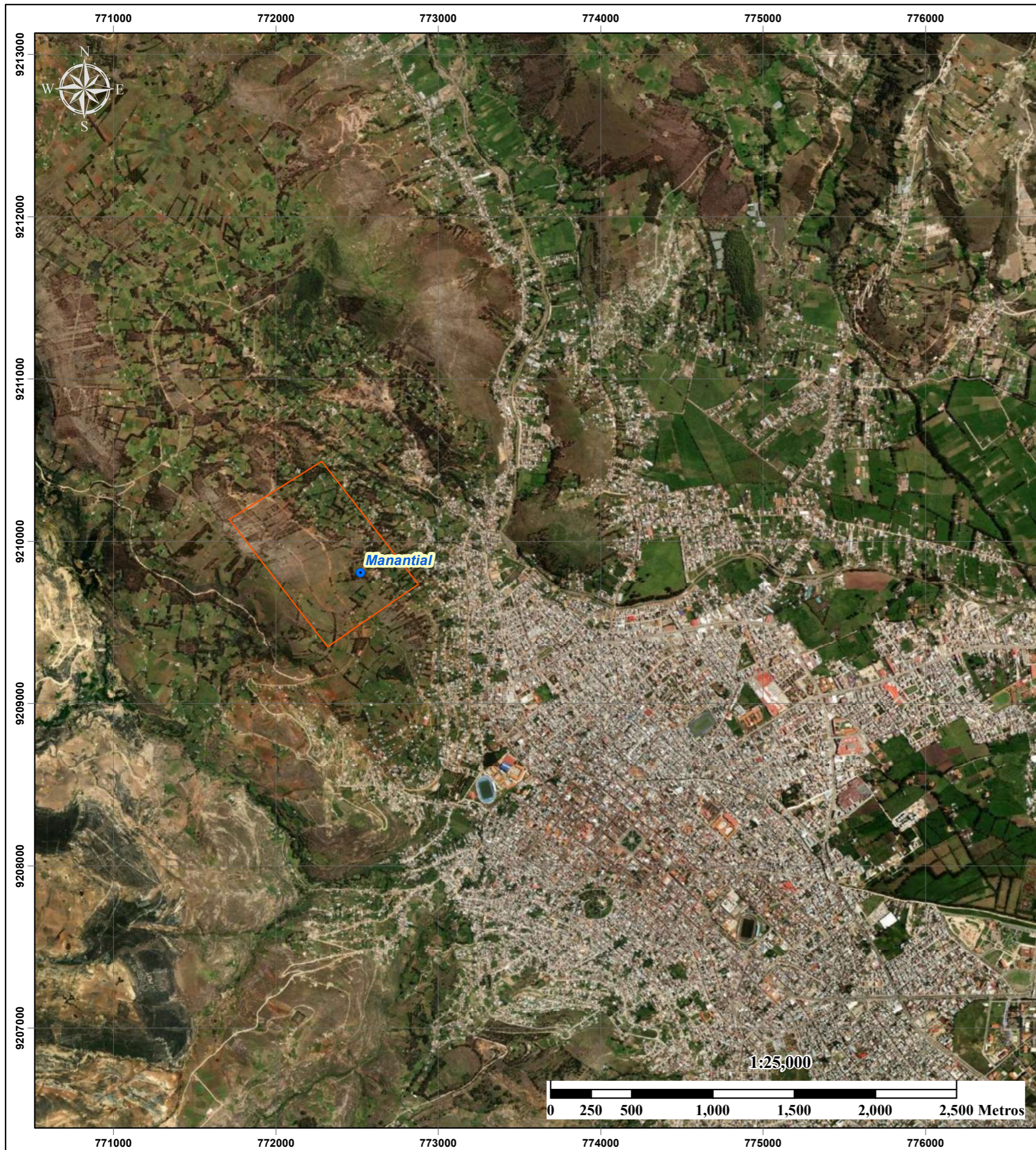
Condiciones Ambientales : **Temp.:** 21,60 °C **HR:** 52,40 %

Standard Test Methods for Laboratory Determination of Water (Moisture) Content of Soil and Rock by Mass¹ - METODO A

CONTENIDO DE HUMEDAD - GLOBAL			
N° de Tara	L-02	L-03	L-04
Masa de la Tara (g)	1 167,00	1 172,00	1 163,00
Masa de la Tara + Muestra Húmeda (g)	5 414,00	5 408,00	5 408,00
Masa de la Tara + Muestra Seca (g)	5 088,00	5 029,00	5 040,00
Masa del Agua (g)	326,00	379,00	368,00
Masa de la Muestra Seca (g)	3921,00	3857,00	3877,00
Contenido de Humedad (%)	8	10	9
w% PROMEDIO (%)	9		

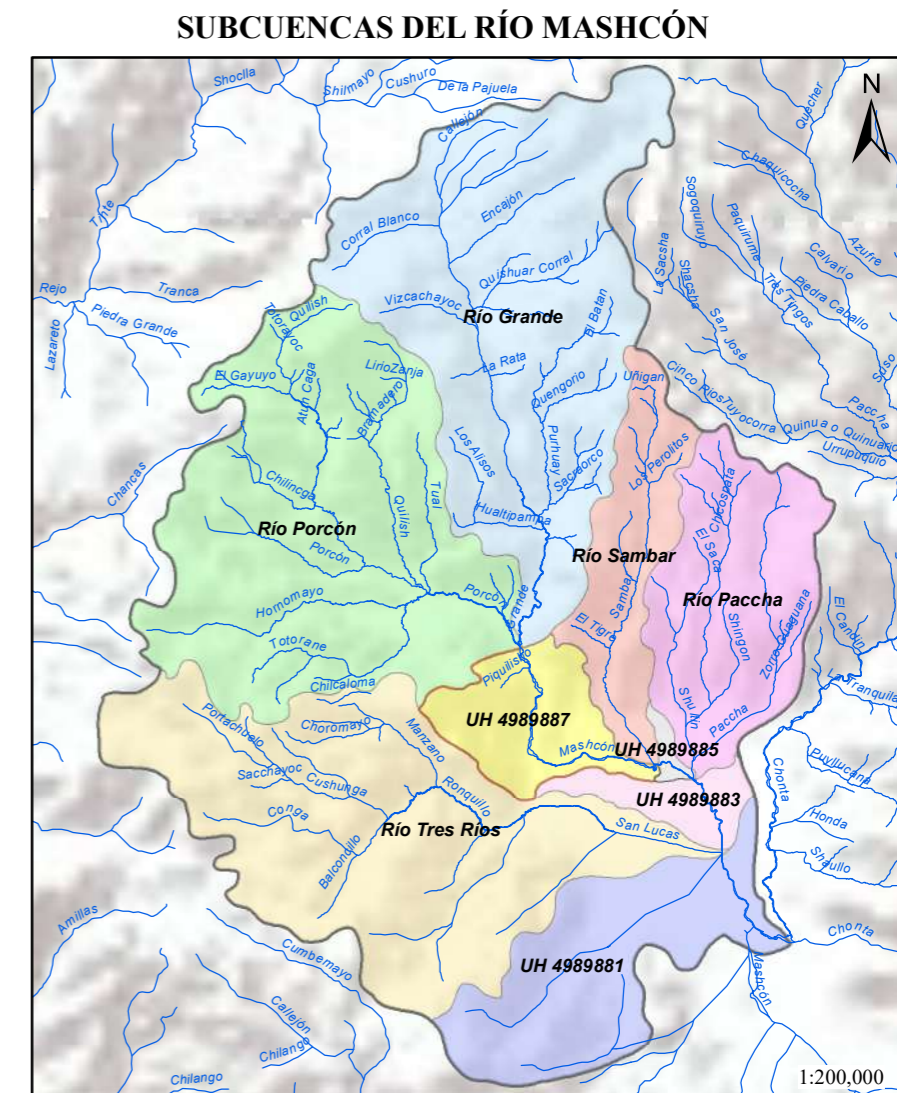
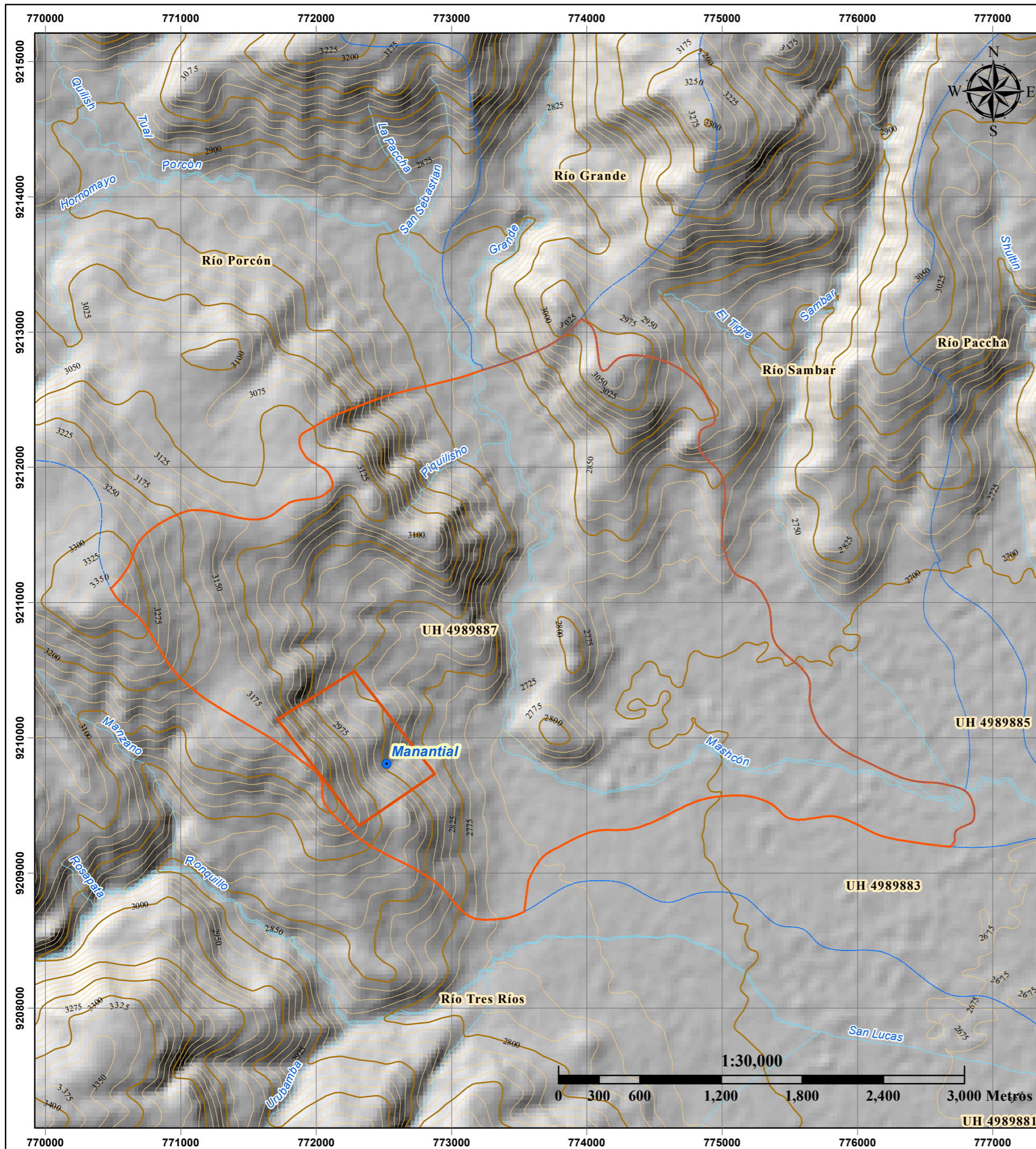
Revisó y aprobó:

(**) Los datos indicados han sido declarados por el cliente.



Sistema de coordenadas: Ptoyectadas UTM
Datum: WGS 1984 - Zona 17 Sur

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLOGÍA	
TESIS: Caracterización hidrogeológica de los depósitos cuaternarios y su relación con la disminución de caudal del manantial Pariapuquio Barrio San Francisco-Pariapuquio, distrito de Cajamarca	
TÍTULO: Mapa de Ubicación Geográfica	MAPA 01
ASESOR: Dr. Quispe Mamani, Crispín Zenón	
TESISTA: Bach. Quiliche Carrasco, Cristian Paúl	
FECHA: Cajamarca, Abril de 2021	ESCALA NUMÉRICA: Indicadas

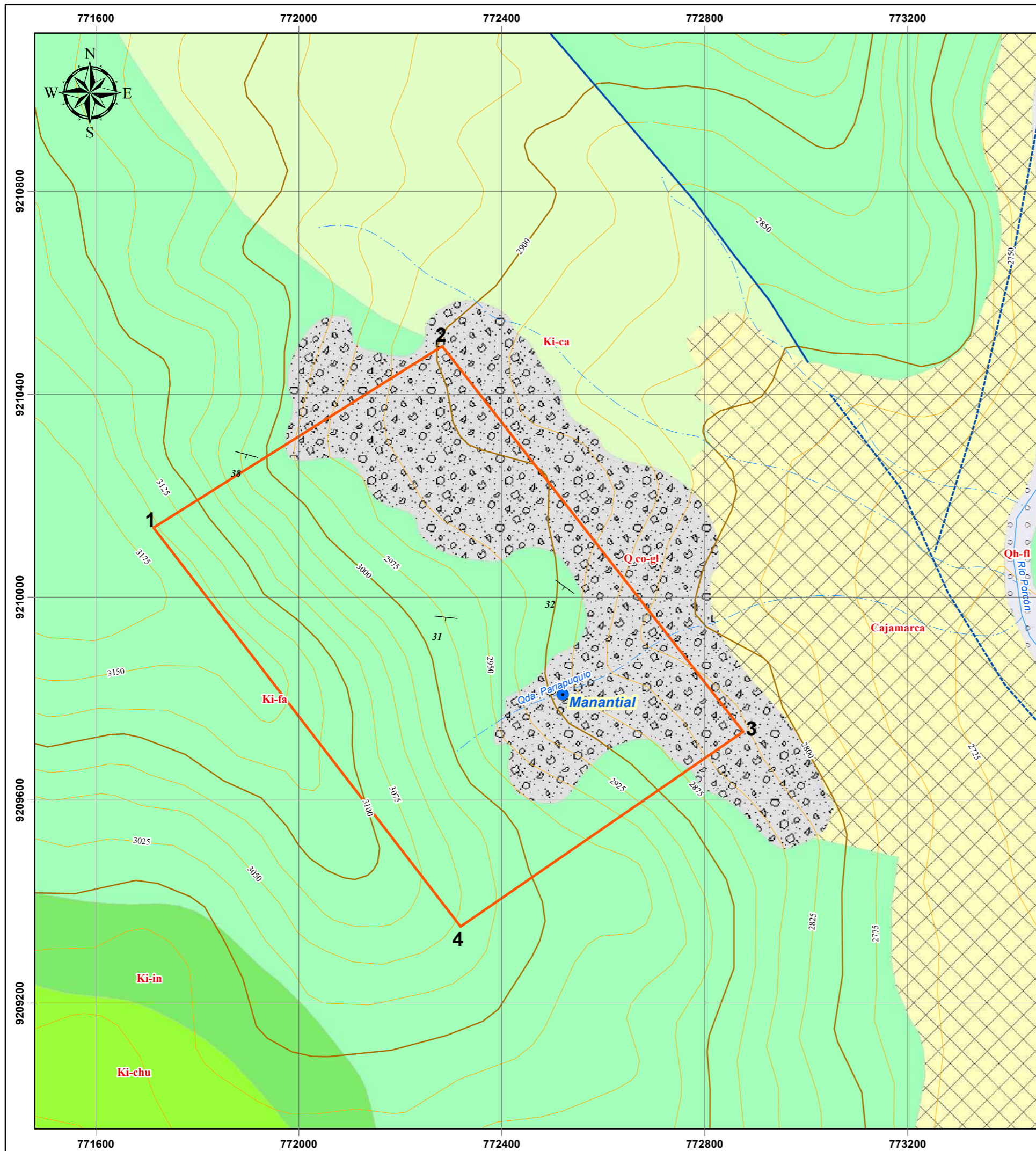


SUBCUENCAS		
	Río Grande	UH 4989883
	Río Paccha	UH 4989885
	Río Porcón	UH 4989881
	Río Sambar	UH 4989887
	Río Tres Ríos	

SIMBOLOGÍA	
	Manantial Pariapuquio
	Hidrografía
	Curvas a nivel principales
	Curvas a nivel secundarias
	Área de investigación

Sistema de coordenadas: Proyectadas UTM
Datum: WGS 1984 zona 17 S

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLOGÍA	
TESIS: Caracterización hidrogeológica de los depósitos cuaternarios y su relación con la disminución de caudal del manantial Pariapuquio Barrio San Francisco-Pariapuquio, distrito de Cajamarca	
TÍTULO: Mapa de Ubicación Hidrográfica	MAPA
ASESOR: Dr. Quispe Mamani, Crispín Zenón	02
TESISTA: Bach. Quiliche Carrasco, Cristian Paúl	
FECHA: Cajamarca, Abril de 2021	ESCALA NUMÉRICA: Indicadas



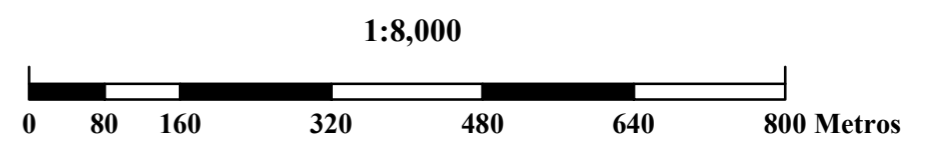
LEYENDA

- Casco urbano
- Coluvio-glaciar
- Cuaternario Fluvial
- Formación Chulec
- Formación Inca
- Formación Farrat
- Formación Carhuaz

SIMBOLOGÍA

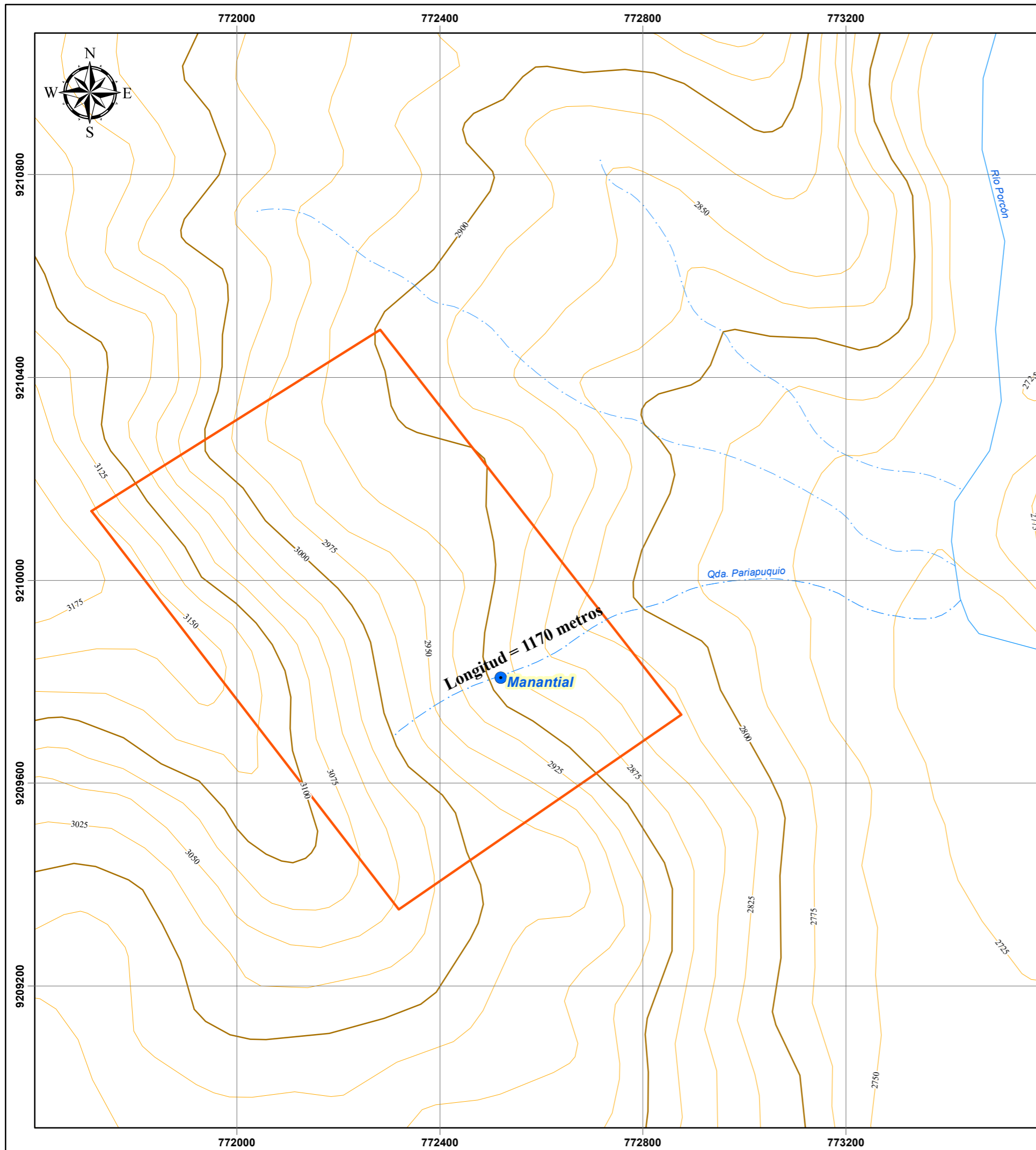
- Manantial Pariapuquio
- Rumbo y buzamiento
- Falla Cajamarca
- Falla inferida
- Drenaje principal
- Drenaje secundario
- Curvas a nivel principales
- Curvas a nivel secundarias
- Área de investigación

VÉRTICE	ESTE	NORTE
1	771713.494	9210136.835
2	772282.578	9210494.517
3	772875.927	9209735.063
4	772318.783	9209350.889



Sistema de coordenadas: Proyectadas UTM
Datum: WGS 1984 zona 17 S

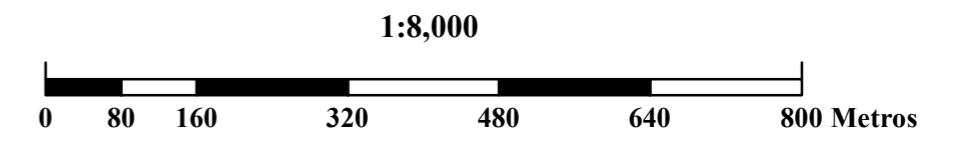
UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLOGÍA	
TESIS: Caracterización hidrogeológica de los depósitos cuaternarios y su relación con la disminución de caudal del manantial Pariapuquio Barrio San Francisco-Pariapuquio, distrito de Cajamarca	
TÍTULO: Mapa Geológico	MAPA 03
ASESOR: Dr. Quispe Mamani, Crispín Zenón	
TESISTA: Bach. Quiliche Carrasco, Cristian Paúl	
FECHA: Cajamarca, Abril de 2021	ESCALA NUMÉRICA: 1:8,000



SIMBOLOGÍA

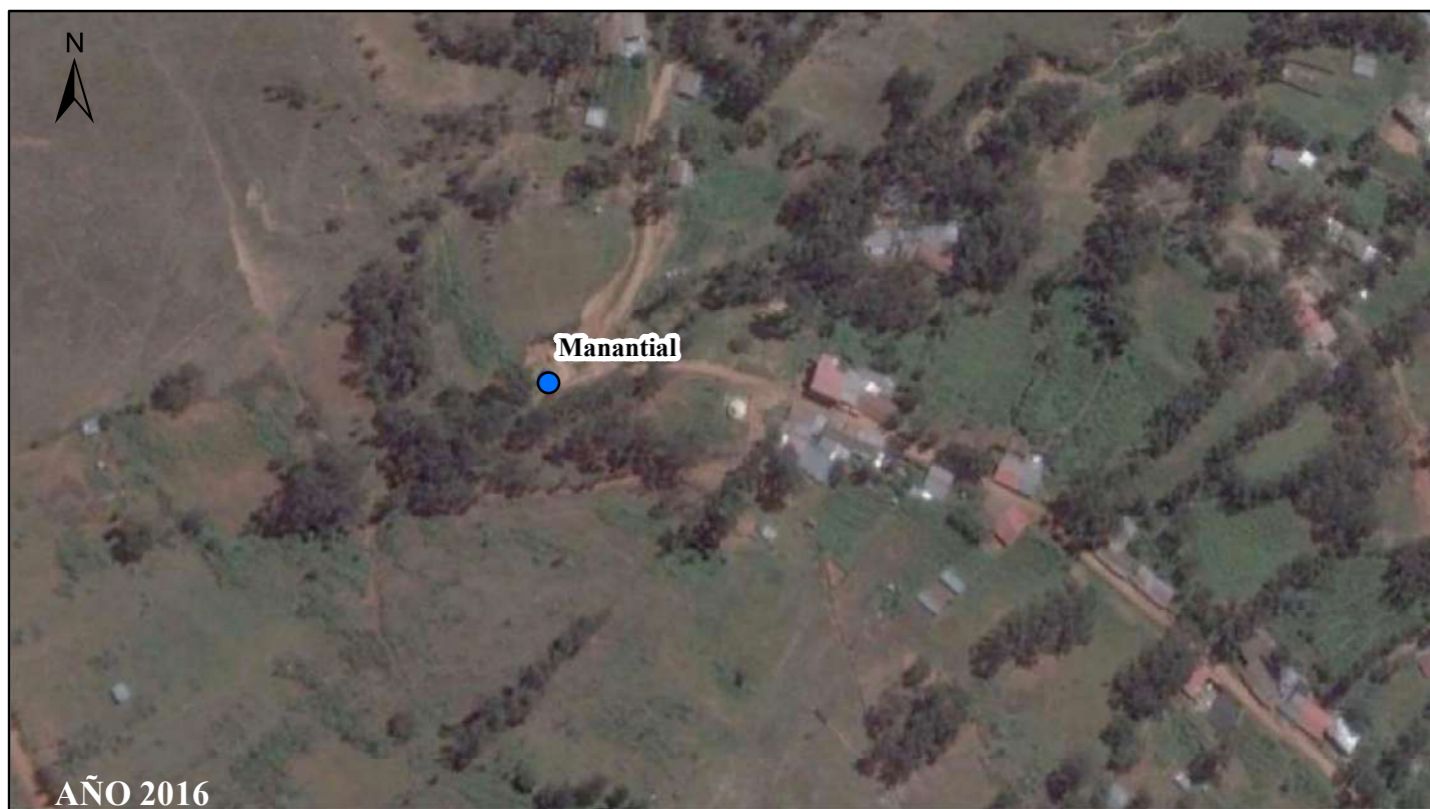
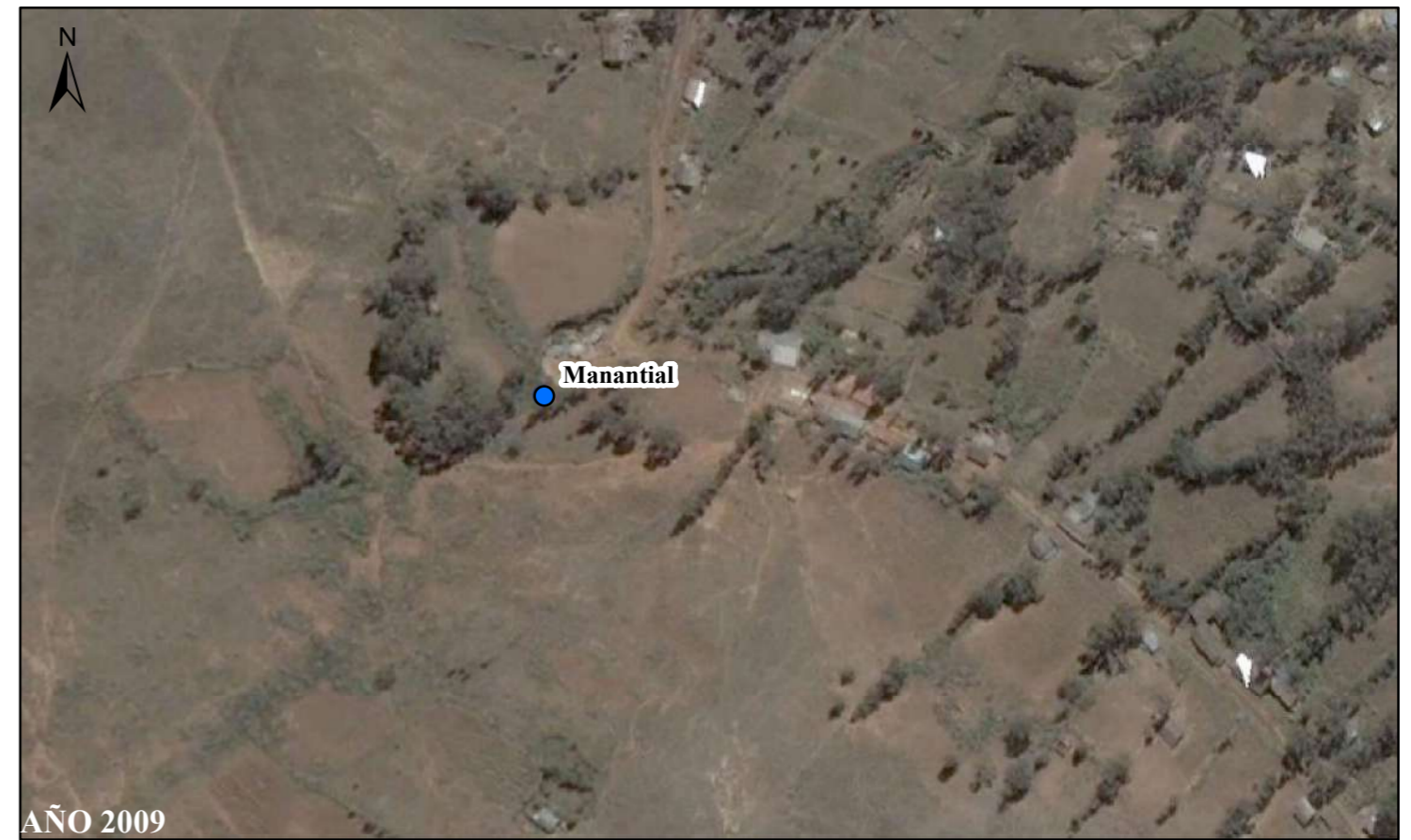
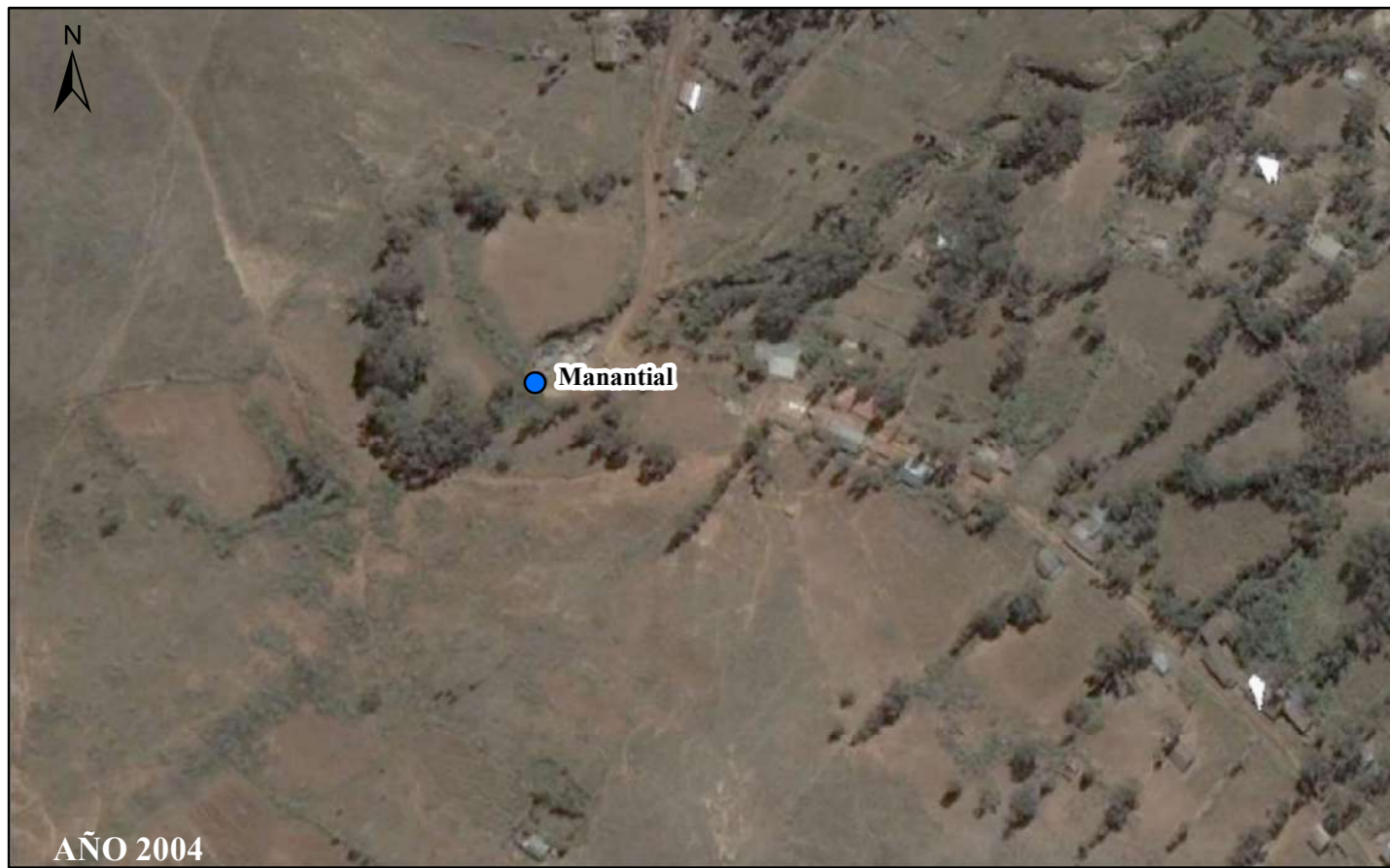
- Manantial Pariapuquio
- Drenaje principal
- - - Drenaje secundario
- Curvas a nivel principales
- Curvas a nivel secundarias
- Área de investigación

La longitud de la cuenca será la longitud del drenaje principal
 Longitud de Quebrada Pariapuquio es 1170 metros

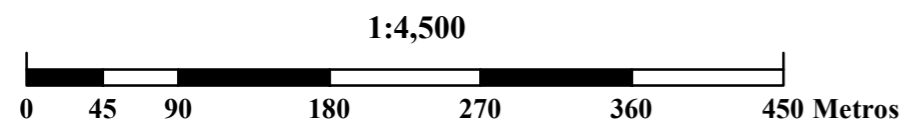


Sistema de coordenadas: Proyectadas UTM
 Datum: WGS 1984 zona 17 S

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLOGÍA	
TESIS: Caracterización hidrogeológica de los depósitos cuaternarios y su relación con la disminución de caudal del manantial Pariapuquio Barrio San Francisco-Pariapuquio, distrito de Cajamarca	
TÍTULO: Mapa de Longitud de cuenca	
ASESOR: Dr. Quispe Mamani, Crispín Zenón	
TESISTA: Bach. Quiliche Carrasco, Cristian Paúl	
FECHA: Cajamarca, Abril de 2021	ESCALA NUMÉRICA: 1:8,000
MAPA 04	





Sistema de coordenadas: Proyectadas UTM
Datum: WGS 1984 zona 17 S



SIMBOLOGÍA

● Manantial Pariapuquio

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLOGÍA 	
TESIS: Caracterización hidrogeológica de los depósitos cuaternarios y su relación con la disminución de caudal del manantial Pariapuquio Barrio San Francisco-Pariapuquio, distrito de Cajamarca	
TÍTULO: Comparativa temporal de los cambios en la vegetación	MAPA 05
ASESOR: Dr. Quispe Mamani, Crispín Zenón	
TESISTA: Bach. Quiliche Carrasco, Cristian Paúl	
FECHA: Cajamarca, Abril de 2021	ESCALA NUMÉRICA: 1:4,500

Balance hídrico desde enero de 1990 a diciembre de 1999

Fc (mm/d)	60.76			
Kp (0.01%)	0.06			
Kv (0.01%)	0.15		%	mm
Kfc (0.01%)	0.364	CC	29	377
Ci (0.01%)	0.574	PM	15	195
Ds (g/cm ³)	1.3	CC-PM	14	182
PR (mm)	1000			
Hsi (mm)	117			

Cfo: 0.12

Tabla 1. Balance hídrico en el suelo entre 1990 y 1999

FECHA	Días	P (mm)	Ret (mm)	Pi (mm)	ESC (mm)	ETP (mm)	Hsi (mm)	C1	C2	HD (mm)	ETR (mm)	HSf (mm)	Rp (mm)	Rp (L/s)	Caudal Estimado (Modelo) (L/s)	Caudal Medido (L/s)
ene.-90	31	101.8	12	51	38	65.1	117	0.0	0	0	0	195	0	0	2.07	2.07
feb.-90	28	68.5	8	35	26	56.3	195	0.2	0	35	9	221	0	0	2.06	
mar.-90	31	58.3	7	29	22	77.4	221	0.3	0	55	18	232	0	0	2.06	
abr.-90	30	27.4	5	13	10	56.2	232	0.3	0	49	13	232	0	0	2.06	
may.-90	31	39.5	5	20	15	65.5	232	0.3	0	56	17	235	0	0	2.06	
jun.-90	30	24.6	5	11	8	81.3	235	0.3	0	51	18	228	0	0	2.05	

FECHA	Días	P (mm)	Ret (mm)	Pi (mm)	ESC (mm)	ETP (mm)	Hsi (mm)	C1	C2	HD (mm)	ETR (mm)	HSf (mm)	Rp (mm)	Rp (L/s)	Caudal Estimado (Modelo) (L/s)	Caudal Medido (L/s)
jul.-90	31	0.8	1	0	0	83.6	228	0.2	0	33	12	217	0	0	2.05	
ago.-90	31	7.1	5	1	1	75.7	217	0.1	0.1	23	7	210	0	0	2.05	
sep.-90	30	20.1	5	9	6	113.2	210	0.1	0	24	10	209	0	0	2.05	
oct.-90	31	87.6	11	44	33	70.6	209	0.3	0	58	18	235	0	0	2.04	
nov.-90	30	99.1	12	50	37	65.2	235	0.5	0	90	26	258	0	0	2.04	
dic.-90	31	72.3	9	37	27	87.1	258	0.5	0	100	36	259	0	0	2.04	
ene.-91	31	43.8	5	22	16	62.5	259	0.5	0	86	24	256	0	0	2.04	
feb.-91	28	90	11	45	34	66.1	256	0.6	0	107	32	270	0	0	2.03	
mar.-91	31	133.7	16	68	50	44.4	270	0.8	1	143	31	307	0	0	2.03	
abr.-91	30	55.2	7	28	21	50	307	0.8	1	140	33	302	0	0	2.03	
may.-91	31	17.9	5	7	5	66.1	302	0.6	0	114	34	275	0	0	2.03	
jun.-91	30	0.7	1	0	0	99.5	275	0.4	0	80	32	243	0	0	2.02	
jul.-91	31	0.4	0	0	0	123.4	243	0.3	0	48	22	222	0	0	2.02	
ago.-91	31	0.3	0	0	0	152.5	222	0.1	0	27	13	209	0	0	2.02	
sep.-91	30	10.2	5	3	2	129.8	209	0.1	0	17	8	204	0	0	2.02	
oct.-91	31	28.2	5	13	10	97.6	204	0.1	0	22	9	209	0	0	2.01	
nov.-91	30	55.1	7	28	21	98.1	209	0.2	0	41	16	220	0	0	2.01	
dic.-91	31	71.9	9	36	27	94.7	220	0.3	0	61	24	233	0	0	2.01	

FECHA	Días	P (mm)	Ret (mm)	Pi (mm)	ESC (mm)	ETP (mm)	Hsi (mm)	C1	C2	HD (mm)	ETR (mm)	HSf (mm)	Rp (mm)	Rp (L/s)	Caudal Estimado (Modelo) (L/s)	Caudal Medido (L/s)
ene.-92	31	52.6	6	27	20	83.1	233	0.4	0	64	23	237	0	0	2.01	
feb.-92	29	31.8	5	15	11	79.8	237	0.3	0	57	20	233	0	0	2.00	
mar.-92	31	66.6	8	34	25	76.3	233	0.4	0	71	24	243	0	0	2.00	
abr.-92	30	46.5	6	23	17	61.6	243	0.4	0	71	20	246	0	0	2.00	
may.-92	31	18.9	5	8	6	73.5	246	0.3	0	59	19	235	0	0	2.00	
jun.-92	30	21.2	5	9	7	81.2	235	0.3	0	49	17	227	0	0	1.99	
jul.-92	31	4.6	5	0	0	123.2	227	0.2	0	32	14	213	0	0	1.99	
ago.-92	31	10	5	3	2	123.3	213	0.1	0	21	9	206	0	0	1.99	
sep.-92	30	40.8	5	21	15	92.3	206	0.2	0	32	12	215	0	0	1.99	
oct.-92	31	64	8	32	24	81.8	215	0.3	0	52	18	229	0	0	1.98	
nov.-92	30	32	5	16	11	96.7	229	0.3	0	50	19	225	0	0	1.98	
dic.-92	31	34.1	5	17	12	101.1	225	0.3	0	47	19	223	0	0	1.98	
ene.-93	31	61	7	31	23	75.2	223	0.3	0	59	19	235	0	0	1.98	
feb.-93	28	112.2	13	57	42	45.9	235	0.5	0	96	21	270	0	0	1.97	
mar.-93	31	245	29	124	92	55.4	270	1.0	1	199	50	344	0	0	1.97	
abr.-93	30	102.9	12	52	39	61	344	1.0	1	201	54	342	0	0	1.97	
may.-93	31	30.2	5	14	11	63.3	342	0.9	1	162	46	310	0	0	1.97	
jun.-93	30	1.9	2	0	0	100.3	310	0.6	0	115	46	264	0	0	1.96	

FECHA	Días	P (mm)	Ret (mm)	Pi (mm)	ESC (mm)	ETP (mm)	Hsi (mm)	C1	C2	HD (mm)	ETR (mm)	HSf (mm)	Rp (mm)	Rp (L/s)	Caudal Estimado (Modelo) (L/s)	Caudal Medido (L/s)
jul.-93	31	3.3	3	0	0	109.8	264	0.4	0	69	29	235	0	0	1.96	
ago.-93	31	2.9	3	0	0	123.6	235	0.2	0	40	18	217	0	0	1.96	
sep.-93	30	51.4	6	26	19	76.9	217	0.3	0	48	16	227	0	0	1.96	
oct.-93	31	106.3	13	54	40	60.2	227	0.5	0	86	24	257	0	0	1.95	
nov.-93	30	71.4	9	36	27	78.8	257	0.5	0	98	33	260	0	0	1.95	
dic.-93	31	84.1	10	42	32	58	260	0.6	0	107	29	274	0	0	1.95	
ene.-94	31	116.9	14	59	44	47.4	274	0.8	1	138	31	301	0	0	1.95	
feb.-94	28	103.1	12	52	39	51.5	301	0.9	1	159	39	315	0	0	1.94	
mar.-94	31	170.2	20	86	64	51.8	315	1.0	1	206	48	353	0	0	1.94	
abr.-94	30	144.9	17	73	54	33.9	353	1.0	1	231	34	377	16	3	1.94	
may.-94	31	35.3	5	17	13	50.4	377	1.0	1	199	46	349	0	0	1.94	
jun.-94	30	3.3	3	0	0	77	349	0.8	0	154	51	297	0	0	1.94	
jul.-94	31	0	0	0	0	128	297	0.6	0	102	47	251	0	0	1.94	
ago.-94	31	0.2	0	0	0	114.3	251	0.3	0	56	24	227	0	0	1.93	
sep.-94	30	11.9	5	4	3	89.4	227	0.2	0	36	13	217	0	0	1.93	
oct.-94	31	27.2	5	13	9	82.5	217	0.2	0	35	12	218	0	0	1.93	
nov.-94	30	89.8	11	45	34	72.9	218	0.4	0	68	22	241	0	0	1.93	
dic.-94	31	122.6	15	62	46	71.6	241	0.6	0	108	34	269	0	0	1.92	

FECHA	Días	P (mm)	Ret (mm)	Pi (mm)	ESC (mm)	ETP (mm)	Hsi (mm)	C1	C2	HD (mm)	ETR (mm)	HSf (mm)	Rp (mm)	Rp (L/s)	Caudal Estimado (Modelo) (L/s)	Caudal Medido (L/s)
ene.-95	31	44.7	5	23	17	58.2	269	0.5	0	97	26	266	0	0	1.92	
feb.-95	28	108.3	13	55	41	20.2	266	0.7	1	125	13	307	0	0	1.92	
mar.-95	31	75.7	9	38	28	55	307	0.8	1	151	39	307	0	0	1.92	
abr.-95	30	49.7	6	25	19	66	307	0.8	0	137	41	291	0	0	1.91	
may.-95	31	20.6	5	9	7	69.2	291	0.6	0	105	32	268	0	0	1.91	
jun.-95	30	1.7	2	0	0	74.4	268	0.4	0	73	24	244	0	0	1.91	
jul.-95	31	13.2	5	5	3	79.4	244	0.3	0	54	18	231	0	0	1.91	
ago.-95	31	10.8	5	3	2	100.2	231	0.2	0	39	15	218	0	0	1.90	
sep.-95	30	11.5	5	4	3	99.4	218	0.1	0	27	11	211	0	0	1.90	
oct.-95	31	51.8	6	26	19	95.9	211	0.2	0	42	16	221	0	0	1.90	
nov.-95	30	50.5	6	26	19	69.9	221	0.3	0	52	16	231	0	0	1.90	
dic.-95	31	76.4	9	39	29	61.5	231	0.4	0	74	21	248	0	0	1.89	
ene.-96	31	65.2	8	33	24	56.9	248	0.5	0	86	23	259	0	0	1.89	
feb.-96	29	124	15	63	46	54.8	259	0.7	0	126	32	289	0	0	1.89	
mar.-96	31	120.1	14	61	45	38.1	289	0.8	1	155	29	321	0	0	1.89	
abr.-96	30	50.4	6	25	19	40	321	0.8	1	151	30	317	0	0	1.89	
may.-96	31	13.7	5	5	4	56.4	317	0.7	0	127	33	288	0	0	1.88	
jun.-96	30	0.8	1	0	0	92.9	288	0.5	0	93	36	253	0	0	1.88	

FECHA	Días	P (mm)	Ret (mm)	Pi (mm)	ESC (mm)	ETP (mm)	Hsi (mm)	C1	C2	HD (mm)	ETR (mm)	HSf (mm)	Rp (mm)	Rp (L/s)	Caudal Estimado (Modelo) (L/s)	Caudal Medido (L/s)
jul.-96	31	0.5	1	0	0	133.3	253	0.3	0	58	27	226	0	0	1.88	
ago.-96	31	15.8	5	6	5	100.3	226	0.2	0	37	15	217	0	0	1.88	
sep.-96	30	13.9	5	5	4	107.1	217	0.2	0	27	11	211	0	0	1.87	
oct.-96	31	76.2	9	39	29	69.7	211	0.3	0	55	17	233	0	0	1.87	
nov.-96	30	68.8	8	35	26	84.2	233	0.4	0	72	26	242	0	0	1.87	
dic.-96	31	34.1	5	17	12	97.6	242	0.3	0	63	25	234	0	0	1.87	
ene.-97	31	63.8	8	32	24	61.7	234	0.4	0	71	20	246	0	0	1.86	
feb.-97	28	152.9	18	77	57	41.9	246	0.7	1	128	26	297	0	0	1.86	
mar.-97	31	26.5	5	12	9	63.8	297	0.6	0	114	33	276	0	0	1.86	
abr.-97	30	40.4	5	20	15	60.7	276	0.6	0	102	28	268	0	0	1.86	
may.-97	31	17	5	7	5	71.3	268	0.4	0	80	25	250	0	0	1.85	
jun.-97	30	15.4	5	6	4	82.6	250	0.3	0	61	21	235	0	0	1.85	
jul.-97	31	0.2	0	0	0	133.3	235	0.2	0	40	18	216	0	0	1.85	
ago.-97	31	0	0	0	0	129.9	216	0.1	0	21	10	206	0	0	1.85	
sep.-97	30	27.4	5	13	10	107.1	206	0.1	0	24	10	209	0	0	1.85	
oct.-97	31	50.8	6	26	19	87.3	209	0.2	0	40	15	220	0	0	1.84	
nov.-97	30	119.9	14	61	45	62.6	220	0.5	0	86	24	256	0	0	1.84	
dic.-97	31	129.4	16	65	48	68.2	256	0.7	0	127	39	283	0	0	1.84	

FECHA	Días	P (mm)	Ret (mm)	Pi (mm)	ESC (mm)	ETP (mm)	Hsi (mm)	C1	C2	HD (mm)	ETR (mm)	HSf (mm)	Rp (mm)	Rp (L/s)	Caudal Estimado (Modelo) (L/s)	Caudal Medido (L/s)
ene.-98	31	103	12	52	39	59.8	283	0.8	1	140	39	297	0	0	1.84	
feb.-98	28	116.5	14	59	44	46.7	297	0.9	1	161	36	320	0	0	1.83	
mar.-98	31	257	31	130	96	39.8	320	1.0	1	255	40	377	33	6	1.84	
abr.-98	30	83.9	10	42	31	52.2	377	1.0	1	224	51	369	0	0	1.84	
may.-98	31	19.6	5	8	6	81.8	369	1.0	1	182	63	314	0	0	1.83	
jun.-98	30	4.8	5	0	0	85.1	314	0.7	0	119	42	271	0	0	1.83	
jul.-98	31	1.3	1	0	0	100.4	271	0.4	0	76	30	241	0	0	1.83	
ago.-98	31	4.7	5	0	0	105.7	241	0.3	0	46	19	222	0	0	1.83	
sep.-98	30	17.8	5	7	5	89.2	222	0.2	0	34	13	217	0	0	1.82	
oct.-98	31	79.6	10	40	30	60.6	217	0.3	0	62	17	240	0	0	1.82	
nov.-98	30	29.1	5	14	10	88.2	240	0.3	0	58	21	232	0	0	1.82	
dic.-98	31	47.9	6	24	18	102	232	0.3	0	61	25	232	0	0	1.82	
ene.-99	31	94.8	11	48	36	69.9	232	0.5	0	84	26	253	0	0	1.82	
feb.-99	28	242.7	29	123	91	40.4	253	1.0	1	181	36	340	0	0	1.81	
mar.-99	31	69.5	8	35	26	60.9	340	1.0	1	180	50	325	0	0	1.81	
abr.-99	30	65	8	33	24	64.7	325	0.9	1	163	48	310	0	0	1.81	
may.-99	31	53.7	6	27	20	67.5	310	0.8	0	142	43	294	0	0	1.81	
jun.-99	30	22.8	5	10	8	57.5	294	0.6	0	110	29	275	0	0	1.80	

FECHA	Días	P (mm)	Ret (mm)	Pi (mm)	ESC (mm)	ETP (mm)	Hsi (mm)	C1	C2	HD (mm)	ETR (mm)	HSf (mm)	Rp (mm)	Rp (L/s)	Caudal Estimado (Modelo) (L/s)	Caudal Medido (L/s)
jul.-99	31	22.1	5	10	7	92.7	275	0.5	0	90	34	251	0	0	1.80	
ago.-99	31	1.2	1	0	0	107.1	251	0.3	0	56	23	228	0	0	1.80	
sep.-99	30	81.4	10	41	31	70.1	228	0.4	0	74	23	246	0	0	1.80	
oct.-99	31	21.7	5	10	7	95.8	246	0.3	0	60	23	232	0	0	1.80	
nov.-99	30	77	9	39	29	80.8	232	0.4	0	76	26	245	0	0	1.79	
dic.-99	31	68.8	8	35	26	64.2	245	0.5	0	84	25	255	0	0	1.79	

Balance hídrico desde enero de 2000 a diciembre de 2009

Fc (mm/d)	60.76	Peso		
Kp (0.01%)	0.06			
Kv (0.01%)	0.15		%	mm
Kfc (0.01%)	0.364	CC	29	942.5
Ci (0.01%)	0.574	PM	15	487.5
Ds (g/cm3)	1.3	CC-PM	14	455
PR (mm)	2500			
Hsi (mm)	255			

Cfo: 0.12

Tabla 2. Balance hídrico en el suelo entre 2000 y 2009

FECHA	Días	P (mm)	Ret (mm)	Pi (mm)	ESC (mm)	ETP (mm)	Hsi (mm)	C1	C2	HD (mm)	ETR (mm)	HSf (mm)	Rp (mm)	Rp (L/s)	Caudal Estimado (Modelo) (L/s)	Caudal Medido (L/s)
ene.-00	31	46	6	23	17	82.4	255	0.0	0	0	0	488	0	0	1.79	
feb.-00	29	162.3	19	82	61	46.3	488	0.2	0	82	8	562	0	0	1.79	
mar.-00	31	126.3	15	64	47	46.5	562	0.3	0	138	13	612	0	0	1.78	
abr.-00	30	77.3	9	39	29	52.2	612	0.4	0	164	18	633	0	0	1.78	
may.-00	31	40.5	5	20	15	55.4	633	0.4	0	166	19	635	0	0	1.78	

FECHA	Días	P (mm)	Ret (mm)	Pi (mm)	ESC (mm)	ETP (mm)	Hsi (mm)	C1	C2	HD (mm)	ETR (mm)	HSf (mm)	Rp (mm)	Rp (L/s)	Caudal	Caudal Medido (L/s)
															Estimado (Modelo) (L/s)	
jun.-00	30	15.6	5	6	5	70	635	0.3	0	153	22	619	0	0	1.78	
jul.-00	31	2.1	2	0	0	97.5	619	0.3	0	132	25	594	0	0	1.78	
ago.-00	31	13.4	5	5	4	99.5	594	0.2	0.2	111	22	577	0	0	1.77	
sep.-00	30	56.6	7	29	21	77.8	577	0.3	0	118	18	587	0	0	1.77	
oct.-00	31	9.9	5	3	2	103.5	587	0.2	0	102	21	569	0	0	1.77	
nov.-00	30	44.5	5	22	17	108.1	569	0.2	0	104	22	570	0	0	1.77	
dic.-00	31	122.3	15	62	46	68.7	570	0.3	0	144	20	612	0	0	1.76	
ene.-01	31	191.2	23	97	72	51.7	612	0.5	0	221	24	685	0	0	1.76	
feb.-01	28	100.8	12	51	38	62.2	685	0.5	0	248	32	704	0	0	1.76	
mar.-01	31	230.2	28	116	86	47.7	704	0.7	1	333	33	787	0	0	1.76	
abr.-01	30	57.2	7	29	21	70.3	787	0.7	1	329	47	769	0	0	1.76	
may.-01	31	48.1	6	24	18	64.7	769	0.7	1	306	40	753	0	0	1.75	
jun.-01	30	2.3	2	0	0	93.5	753	0.6	0	266	49	704	0	0	1.75	
jul.-01	31	13.9	5	5	4	91.9	704	0.5	0	222	40	669	0	0	1.75	
ago.-01	31	0	0	0	0	124.7	669	0.4	0	181	43	626	0	0	1.75	
sep.-01	30	34.4	5	17	13	77	626	0.3	0	155	24	619	0	0	1.74	
oct.-01	31	46.2	6	23	17	99	619	0.3	0	155	30	612	0	0	1.74	
nov.-01	30	93.4	11	47	35	67.4	612	0.4	0	172	24	636	0	0	1.74	

FECHA	Días	P (mm)	Ret (mm)	Pi (mm)	ESC (mm)	ETP (mm)	Hsi (mm)	C1	C2	HD (mm)	ETR (mm)	HSf (mm)	Rp (mm)	Rp (L/s)	Caudal	Caudal Medido (L/s)
															Estimado (Modelo) (L/s)	
dic.-01	31	90.9	11	46	34	77.8	636	0.4	0	194	30	651	0	0	1.74	
ene.-02	31	27	5	13	9	81	651	0.4	0	177	29	635	0	0	1.74	
feb.-02	28	60	7	30	22	51.7	635	0.4	0	178	19	647	0	0	1.73	
mar.-02	31	133.1	16	67	50	62.5	647	0.5	0	226	29	685	0	0	1.73	
abr.-02	30	77.2	9	39	29	70.5	685	0.5	0	236	34	690	0	0	1.73	
may.-02	31	23	5	10	8	81.3	690	0.5	0	213	35	666	0	0	1.73	
jun.-02	30	8.8	5	2	2	103.4	666	0.4	0	180	36	632	0	0	1.72	
jul.-02	31	10.7	5	3	2	94.3	632	0.3	0	147	27	608	0	0	1.72	
ago.-02	31	3.4	3	0	0	141	608	0.3	0	120	31	576	0	0	1.72	
sep.-02	30	14.6	5	6	4	119.7	576	0.2	0	94	21	560	0	0	1.72	
oct.-02	31	90.3	11	46	34	85.6	560	0.3	0	118	20	586	0	0	1.72	
nov.-02	30	99.9	12	50	37	75.7	586	0.3	0	149	23	613	0	0	1.71	
dic.-02	31	86.1	10	44	32	71.8	613	0.4	0	169	25	632	0	0	1.71	
ene.-03	31	51.1	6	26	19	108.5	632	0.4	0	171	36	622	0	0	1.71	
feb.-03	28	61.4	7	31	23	98.56	622	0.4	0	166	32	621	0	0	1.71	
mar.-03	31	103.6	12	52	39	96.72	621	0.4	0	186	35	638	0	0	1.71	
abr.-03	30	42.1	5	21	16	94.8	638	0.4	0	172	32	627	0	0	1.70	
may.-03	31	30.7	5	15	11	96.1	627	0.3	0	155	29	613	0	0	1.70	

FECHA	Días	P (mm)	Ret (mm)	Pi (mm)	ESC (mm)	ETP (mm)	Hsi (mm)	C1	C2	HD (mm)	ETR (mm)	HSf (mm)	Rp (mm)	Rp (L/s)	Caudal	Caudal Medido (L/s)
															Estimado (Modelo) (L/s)	
jun.-03	30	22.3	5	10	7	95.7	613	0.3	0	135	25	597	0	0	1.70	
jul.-03	31	1.8	2	0	0	102.61	597	0.2	0	110	22	575	0	0	1.70	
ago.-03	31	10.6	5	3	2	111.91	575	0.2	0	91	20	559	0	0	1.69	
sep.-03	30	14.8	5	6	4	107.1	559	0.2	0	77	16	549	0	0	1.69	
oct.-03	31	46	6	23	17	112.84	549	0.2	0	84	18	554	0	0	1.69	
nov.-03	30	63.8	8	32	24	115.5	554	0.2	0	98	22	564	0	0	1.69	
dic.-03	31	80.7	10	41	30	112.84	564	0.3	0	117	25	579	0	0	1.69	
ene.-04	31	36.1	5	18	13	109.12	579	0.2	0	110	23	574	0	0	1.68	
feb.-04	29	102	12	52	38	100.34	574	0.3	0	138	27	598	0	0	1.68	
mar.-04	31	56.9	7	29	21	98.58	598	0.3	0	140	27	600	0	0	1.68	
abr.-04	30	44.5	5	22	17	94.8	600	0.3	0	135	25	597	0	0	1.68	
may.-04	31	42.4	5	21	16	97.96	597	0.3	0	131	25	594	0	0	1.68	
jun.-04	30	2.1	2	0	0	94.2	594	0.2	0	106	20	574	0	0	1.67	
jul.-04	31	13.8	5	5	4	101.68	574	0.2	0	91	18	561	0	0	1.67	
ago.-04	31	29.4	5	14	10	110.98	561	0.2	0	87	19	556	0	0	1.67	
sep.-04	30	19	5	8	6	104.1	556	0.2	0	77	16	549	0	0	1.67	
oct.-04	31	63.4	8	32	24	110.67	549	0.2	0	93	20	561	0	0	1.67	
nov.-04	30	92.6	11	47	35	113.7	561	0.3	0	120	26	581	0	0	1.66	

FECHA	Días	P (mm)	Ret (mm)	Pi (mm)	ESC (mm)	ETP (mm)	Hsi (mm)	C1	C2	HD (mm)	ETR (mm)	HSf (mm)	Rp (mm)	Rp (L/s)	Caudal	Caudal Medido (L/s)
															Estimado (Modelo) (L/s)	
dic.-04	31	123.7	15	63	46	113.15	581	0.3	0	156	34	610	0	0	1.66	
ene.-05	31	84.9	10	43	32	107.26	610	0.4	0	165	34	618	0	0	1.66	
feb.-05	28	53.7	6	27	20	98.84	618	0.3	0	158	31	615	0	0	1.66	
mar.-05	31	136.6	16	69	51	98.58	615	0.4	0	196	38	646	0	0	1.65	
abr.-05	30	54	6	27	20	95.7	646	0.4	0	186	35	638	0	0	1.65	
may.-05	31	7.2	5	1	1	96.1	638	0.3	0	152	29	611	0	0	1.65	
jun.-05	30	4.5	5	0	0	96.3	611	0.3	0	123	23	587	0	0	1.65	
jul.-05	31	0.6	1	0	0	104.47	587	0.2	0	100	20	567	0	0	1.65	
ago.-05	31	3.5	4	0	0	111.6	567	0.2	0	80	17	550	0	0	1.64	
sep.-05	30	31.2	5	15	11	106.2	550	0.2	0	78	16	549	0	0	1.64	
oct.-05	31	92.3	11	47	35	110.05	549	0.2	0	108	23	573	0	0	1.64	
nov.-05	30	30	5	14	11	113.1	573	0.2	0	100	22	565	0	0	1.64	
dic.-05	31	87.8	11	44	33	111.6	565	0.3	0	122	26	583	0	0	1.64	
ene.-06	31	83.2	10	42	31	107.57	583	0.3	0	138	29	597	0	0	1.63	
feb.-06	28	101.6	12	51	38	97.72	597	0.4	0	161	31	617	0	0	1.63	
mar.-06	31	199.3	24	101	75	98.27	617	0.5	0	230	44	674	0	0	1.63	
abr.-06	30	77.6	9	39	29	93.9	674	0.5	0	225	42	671	0	0	1.63	
may.-06	31	7.7	5	2	1	95.17	671	0.4	0	185	35	638	0	0	1.63	

FECHA	Días	P (mm)	Ret (mm)	Pi (mm)	ESC (mm)	ETP (mm)	Hsi (mm)	C1	C2	HD (mm)	ETR (mm)	HSf (mm)	Rp (mm)	Rp (L/s)	Caudal	Caudal Medido (L/s)
															Estimado (Modelo) (L/s)	
jun.-06	30	23.9	5	11	8	93.3	638	0.4	0	161	30	619	0	0	1.62	
jul.-06	31	1.8	2	0	0	102.92	619	0.3	0	132	26	593	0	0	1.62	
ago.-06	31	6.1	5	1	0	110.98	593	0.2	0	106	23	571	0	0	1.62	
sep.-06	30	33.6	5	16	12	105	571	0.2	0	100	20	567	0	0	1.62	
oct.-06	31	12.7	5	4	3	110.67	567	0.2	0	84	18	553	0	0	1.62	
nov.-06	30	60.4	7	31	23	113.1	553	0.2	0	96	21	563	0	0	1.61	
dic.-06	31	81.7	10	41	31	114.08	563	0.3	0	117	26	579	0	0	1.61	
ene.-07	31	95.4	11	48	36	109.43	579	0.3	0	139	29	597	0	0	1.61	
feb.-07	28	17.5	5	7	5	98.84	597	0.3	0	117	23	582	0	0	1.61	
mar.-07	31	182.4	22	92	68	96.41	582	0.4	0	186	35	639	0	0	1.61	
abr.-07	30	111.5	13	56	42	93.6	639	0.5	0	208	38	657	0	0	1.60	
may.-07	31	29	5	14	10	95.17	657	0.4	0	183	34	636	0	0	1.60	
jun.-07	30	1.4	1	0	0	97.5	636	0.3	0	149	28	608	0	0	1.60	
jul.-07	31	10.7	5	3	2	104.16	608	0.3	0	124	25	586	0	0	1.60	
ago.-07	31	6.4	5	1	1	112.22	586	0.2	0	99	21	565	0	0	1.60	
sep.-07	30	11.6	5	4	3	106.5	565	0.2	0	82	17	552	0	0	1.59	
oct.-07	31	117.2	14	59	44	108.5	552	0.3	0	124	26	585	0	0	1.59	
nov.-07	30	97.6	12	49	37	111.6	585	0.3	0	147	32	603	0	0	1.59	

FECHA	Días	P (mm)	Ret (mm)	Pi (mm)	ESC (mm)	ETP (mm)	Hsi (mm)	C1	C2	HD (mm)	ETR (mm)	HSf (mm)	Rp (mm)	Rp (L/s)	Caudal	Caudal Medido (L/s)
															Estimado (Modelo) (L/s)	
dic.-07	31	68.8	8	35	26	114.08	603	0.3	0	150	33	605	0	0	1.59	
ene.-08	31	80.2	10	41	30	107.88	605	0.3	0	158	33	612	0	0	1.59	
feb.-08	29	133.3	16	67	50	99.47	612	0.4	0	192	37	642	0	0	1.58	
mar.-08	31	118.4	14	60	44	96.41	642	0.5	0	215	41	661	0	0	1.58	
abr.-08	30	99.1	12	50	37	92.7	661	0.5	0	224	41	671	0	0	1.58	
may.-08	31	22.7	5	10	8	95.79	671	0.4	0	193	36	644	0	0	1.58	
jun.-08	30	15.4	5	6	4	92.4	644	0.4	0	163	30	621	0	0	1.58	
jul.-08	31	2.3	2	0	0	101.06	621	0.3	0	133	26	594	0	0	1.57	
ago.-08	31	11.7	5	4	3	111.91	594	0.2	0	111	24	574	0	0	1.57	
sep.-08	30	34.7	5	17	13	104.7	574	0.2	0	104	21	570	0	0	1.57	
oct.-08	31	96.5	12	49	36	109.43	570	0.3	0	131	28	591	0	0	1.57	
nov.-08	30	72.2	9	36	27	114.9	591	0.3	0	140	31	597	0	0	1.57	
dic.-08	31	71.5	9	36	27	114.39	597	0.3	0	145	32	601	0	0	1.56	
ene.-09	31	180.7	22	91	68	107.57	601	0.4	0	205	43	650	0	0	1.56	
feb.-09	28	74.6	9	38	28	96.88	650	0.4	0	200	38	649	0	0	1.56	
mar.-09	31	110.5	13	56	41	97.96	649	0.5	0	218	42	663	0	0	1.56	
abr.-09	30	78.8	9	40	30	96	663	0.5	0	216	41	662	0	0	1.56	
may.-09	31	42.2	5	21	16	97.03	662	0.4	0	196	37	646	0	0	1.55	

FECHA	Días	P (mm)	Ret (mm)	Pi (mm)	ESC (mm)	ETP (mm)	Hsi (mm)	C1	C2	HD (mm)	ETR (mm)	HSf (mm)	Rp (mm)	Rp (L/s)	Caudal	Caudal Medido (L/s)
															Estimado (Modelo) (L/s)	
jun.-09	30	17.9	5	7	5	95.4	646	0.4	0	166	31	623	0	0	1.55	
jul.-09	31	12.3	5	4	3	104.16	623	0.3	0	139	28	599	0	0	1.55	
ago.-09	31	3.9	4	0	0	115.94	599	0.2	0	111	25	574	0	0	1.55	
sep.-09	30	11.8	5	4	3	109.2	574	0.2	0	90	19	559	0	0	1.55	
oct.-09	31	78.5	9	40	29	113.15	559	0.2	0	111	24	574	0	0	1.54	
nov.-09	30	109.4	13	55	41	114.9	574	0.3	0	142	31	598	0	0	1.54	
dic.-09	31	74.2	9	37	28	116.25	598	0.3	0	148	33	603	0	0	1.54	

Balance hídrico desde enero de 2010 a diciembre de 2019

Fc (mm/d)	60.76	Peso		
Kp (0.01%)	0.06			
Kv (0.01%)	0.15		%	mm
Kfc (0.01%)	0.3642	CC	29	1319.5
Ci (0.01%)	0.5742	PM	15	682.5
Ds (g/cm3)	1.3	CC-PM	14	637
PR (mm)	3500			
Hsi (mm)	603			

Cfo: 0.12

Tabla 3. Balance hídrico en el suelo entre 2009 y 2019

FECHA	Días	P (mm)	Ret (mm)	Pi (mm)	ESC (mm)	ETP (mm)	Hsi (mm)	C1	C2	HD (mm)	ETR (mm)	HSf (mm)	Rp (mm)	Rp (L/s)	Caudal Estimado (Modelo) (L/s)	Caudal Medido (L/s)
ene.-10	31	49.5	6	25	19	103	603	0.0	0	0	0	683	0	0	1.54	
feb.-10	28	112.9	14	57	42	100.8	683	0.1	0	57	8	731	0	0	1.54	
mar.-10	31	154	18	78	58	101.68	731	0.2	0	127	19	790	0	0	1.53	
abr.-10	30	88.4	11	45	33	118.9	790	0.2	0	153	26	809	0	0	1.53	
may.-10	31	31.6	5	15	11	131.3	809	0.2	0	142	26	798	0	0	1.53	

FECHA	Días	P (mm)	Ret (mm)	Pi (mm)	ESC (mm)	ETP (mm)	Hsi (mm)	C1	C2	HD (mm)	ETR (mm)	HSf (mm)	Rp (mm)	Rp (L/s)	Caudal	Caudal Medido (L/s)
															Estimado (Modelo) (L/s)	
jun.-10	30	8.6	5	2	2	103.3	798	0.2	0	118	18	783	0	0	1.53	
jul.-10	31	2.6	3	0	0	144	783	0.2	0	100	20	763	0	0	1.53	
ago.-10	31	1.3	1	0	0	159.6	763	0.1	0.1	80	18	745	0	0	1.53	
sep.-10	30	28.9	5	14	10	120.2	745	0.1	0	76	13	746	0	0	1.52	
oct.-10	31	43.4	5	22	16	116.9	746	0.1	0	85	14	754	0	0	1.52	
nov.-10	30	52.5	6	27	20	117.4	754	0.2	0	98	16	764	0	0	1.52	
dic.-10	31	70.8	8	36	27	95.9	764	0.2	0	117	16	783	0	0	1.52	
ene.-11	31	76.6	9	39	29	108.7	783	0.2	0	139	22	800	0	0	1.52	
feb.-11	28	73.3	9	37	27	82.1	800	0.2	0	155	19	819	0	0	1.51	
mar.-11	31	125.2	15	63	47	90.3	819	0.3	0	199	26	856	0	0	1.51	
abr.-11	30	102	12	52	38	98.5	856	0.4	0	225	32	875	0	0	1.51	
may.-11	31	16.7	5	7	5	138.8	875	0.3	0	199	39	843	0	0	1.51	
jun.-11	30	0.4	0	0	0	136	843	0.3	0	161	31	812	0	0	1.51	
jul.-11	31	8.3	5	2	1	142	812	0.2	0	132	26	788	0	0	1.50	
ago.-11	31	0	0	0	0	189.7	788	0.2	0	106	27	761	0	0	1.50	
sep.-11	30	47.1	6	24	18	123.3	761	0.2	0	103	18	767	0	0	1.50	
oct.-11	31	31.5	5	15	11	134.2	767	0.2	0	100	19	764	0	0	1.50	
nov.-11	30	24.4	5	11	8	134.2	764	0.1	0	92	17	757	0	0	1.50	

FECHA	Días	P (mm)	Ret (mm)	Pi (mm)	ESC (mm)	ETP (mm)	Hsi (mm)	C1	C2	HD (mm)	ETR (mm)	HSf (mm)	Rp (mm)	Rp (L/s)	Caudal	Caudal Medido (L/s)
															Estimado (Modelo) (L/s)	
dic.-11	31	109.7	13	55	41	101.2	757	0.2	0	130	19	794	0	0	1.50	
ene.-12	31	154.2	19	78	58	107.88	794	0.3	0	189	29	842	0	0	1.49	
feb.-12	29	134.7	16	68	50	99.47	842	0.4	0	228	33	878	0	0	1.49	
mar.-12	31	126.4	15	64	47	97.65	878	0.4	0	259	37	905	0	0	1.49	
abr.-12	30	72.8	9	37	27	94.2	905	0.4	0	259	35	906	0	0	1.49	
may.-12	31	51.5	6	26	19	95.17	906	0.4	0	250	35	898	0	0	1.49	
jun.-12	30	0.2	0	0	0	94.5	898	0.3	0	215	30	868	0	0	1.48	
jul.-12	31	0	0	0	0	103.54	868	0.3	0	186	28	840	0	0	1.48	
ago.-12	31	2.5	3	0	0	111.91	840	0.2	0	158	25	815	0	0	1.48	
sep.-12	30	19.1	5	8	6	104.7	815	0.2	0	141	21	802	0	0	1.48	
oct.-12	31	83.2	10	42	31	109.12	802	0.3	0	161	25	819	0	0	1.48	
nov.-12	30	120.3	14	61	45	113.7	819	0.3	0	197	32	847	0	0	1.47	
dic.-12	31	58.3	7	29	22	114.08	847	0.3	0	194	32	845	0	0	1.47	
ene.-13	31	61.5	7	31	23	103	845	0.3	0	194	29	847	0	0	1.47	
feb.-13	28	98	12	50	37	86.4	847	0.3	0	215	27	870	0	0	1.47	
mar.-13	31	213.6	26	108	80	81.3	870	0.5	0	295	35	943	0	0	1.47	
abr.-13	30	73.8	9	37	28	92.1	943	0.5	0	297	40	940	0	0	1.47	
may.-13	31	62.6	8	32	23	104.6	940	0.5	0	289	44	928	0	0	1.46	

FECHA	Días	P (mm)	Ret (mm)	Pi (mm)	ESC (mm)	ETP (mm)	Hsi (mm)	C1	C2	HD (mm)	ETR (mm)	HSf (mm)	Rp (mm)	Rp (L/s)	Caudal	Caudal Medido (L/s)
															Estimado (Modelo) (L/s)	
jun.-13	30	7.5	5	1	1	103.7	928	0.4	0	247	37	893	0	0	1.46	
jul.-13	31	5.7	5	0	0	136.6	893	0.3	0	210	40	853	0	0	1.46	
ago.-13	31	8.9	5	2	2	124.1	853	0.3	0	172	30	825	0	0	1.46	
sep.-13	30	3.7	4	0	0	136.6	825	0.2	0	142	27	797	0	0	1.46	
oct.-13	31	110.7	13	56	41	91.5	797	0.3	0	171	23	831	0	0	1.45	
nov.-13	30	17	5	7	5	91.5	831	0.2	0	155	21	817	0	0	1.45	
dic.-13	31	51.9	6	26	19	103.3	817	0.3	0	160	24	819	0	0	1.45	
ene.-14	31	75.7	9	38	28	100.7	819	0.3	0	175	25	832	0	0	1.45	
feb.-14	28	68	8	34	25	100.24	832	0.3	0	184	27	840	0	0	1.45	
mar.-14	31	143.2	17	72	54	78.5	840	0.4	0	229	27	885	0	0	1.45	
abr.-14	30	78.8	9	40	30	93.7	885	0.4	0	243	33	892	0	0	1.44	
may.-14	31	26.9	5	13	9	116.9	892	0.3	0	222	37	868	0	0	1.44	
jun.-14	30	5	5	0	0	116.6	868	0.3	0	185	31	837	0	0	1.44	
jul.-14	31	2	2	0	0	123.1	837	0.2	0	154	27	810	0	0	1.44	
ago.-14	31	3.9	4	0	0	91.9	810	0.2	0	127	17	793	0	0	1.44	
sep.-14	30	27.7	5	13	10	97.9	793	0.2	0	123	18	788	0	0	1.43	
oct.-14	31	26.5	5	12	9	102.9	788	0.2	0	118	18	783	0	0	1.43	
nov.-14	30	45.7	5	23	17	102.9	783	0.2	0	124	18	788	0	0	1.43	

FECHA	Días	P (mm)	Ret (mm)	Pi (mm)	ESC (mm)	ETP (mm)	Hsi (mm)	C1	C2	HD (mm)	ETR (mm)	HSf (mm)	Rp (mm)	Rp (L/s)	Caudal	Caudal Medido (L/s)
															Estimado (Modelo) (L/s)	
dic.-14	31	114.9	14	58	43	92.8	788	0.3	0	163	22	824	0	0	1.43	
ene.-15	31	184.7	22	93	69	107.88	824	0.4	0	235	36	881	0	0	1.43	
feb.-15	28	55.4	7	28	21	99.4	881	0.4	0	226	33	876	0	0	1.43	
mar.-15	31	202.2	24	102	76	97.96	876	0.5	0	296	42	936	0	0	1.42	
abr.-15	30	63	8	32	24	93.6	936	0.4	0	286	39	929	0	0	1.42	
may.-15	31	75.8	9	38	28	95.17	929	0.4	0	285	39	928	0	0	1.42	
jun.-15	30	3	3	0	0	98.1	928	0.4	0	246	35	893	0	0	1.42	
jul.-15	31	4.4	4	0	0	105.4	893	0.3	0	211	32	861	0	0	1.42	
ago.-15	31	0.1	0	0	0	114.7	861	0.3	0	179	29	832	0	0	1.41	
sep.-15	30	27.8	5	13	10	110.7	832	0.3	0	163	26	819	0	0	1.41	
oct.-15	31	16.8	5	7	5	115.32	819	0.2	0	144	24	802	0	0	1.41	
nov.-15	30	99.6	12	50	37	113.4	802	0.3	0	170	28	825	0	0	1.41	
dic.-15	31	39.5	5	20	15	115.94	825	0.3	0	162	27	818	0	0	1.41	
ene.-16	31	82.9	10	42	31	111.6	818	0.3	0	177	28	832	0	0	1.41	
feb.-16	29	85.3	10	43	32	104.4	832	0.3	0	192	29	846	0	0	1.40	
mar.-16	31	121.3	15	61	45	100.75	846	0.4	0	225	33	874	0	0	1.40	
abr.-16	30	56.2	7	28	21	95.7	874	0.3	0	220	31	872	0	0	1.40	
may.-16	31	7	5	1	1	100.44	872	0.3	0	191	28	846	0	0	1.40	

FECHA	Días	P (mm)	Ret (mm)	Pi (mm)	ESC (mm)	ETP (mm)	Hsi (mm)	C1	C2	HD (mm)	ETR (mm)	HSf (mm)	Rp (mm)	Rp (L/s)	Caudal	Caudal Medido (L/s)
															Estimado (Modelo) (L/s)	
jun.-16	30	1.6	2	0	0	97.2	846	0.3	0	163	23	823	0	0	1.40	
jul.-16	31	2.1	2	0	0	104.16	823	0.2	0	140	21	802	0	0	1.40	
ago.-16	31	1.1	1	0	0	111.91	802	0.2	0	119	19	782	0	0	1.39	
sep.-16	30	25.1	5	12	9	107.4	782	0.2	0	112	17	777	0	0	1.39	
oct.-16	31	60	7	30	22	114.39	777	0.2	0	125	20	787	0	0	1.39	
nov.-16	30	17.1	5	7	5	120	787	0.2	0	111	19	775	0	0	1.39	
dic.-16	31	63.1	8	32	24	111.29	775	0.2	0	124	20	787	0	0	1.39	
ene.-17	31	77.5	9	39	29	97.9	787	0.2	0	143	20	806	0	0	1.39	
feb.-17	28	72.3	9	37	27	94.6	806	0.3	0	160	22	820	0	0	1.38	
mar.-17	31	138.9	17	70	52	73.7	820	0.3	0	208	23	868	0	0	1.38	
abr.-17	30	78.6	9	40	29	77.7	868	0.4	0	225	26	882	0	0	1.38	
may.-17	31	47.2	6	24	18	91.6	882	0.4	0	223	30	876	0	0	1.38	
jun.-17	30	12	5	4	3	111.6	876	0.3	0	197	32	848	0	0	1.38	
jul.-17	31	2.3	2	0	0	126.1	848	0.3	0	166	30	819	0	0	1.37	
ago.-17	31	20.9	5	9	7	121.7	819	0.2	0	145	25	803	0	0	1.37	
sep.-17	30	21.2	5	9	7	119.5	803	0.2	0	130	22	790	0	0	1.37	
oct.-17	31	65.3	8	33	24	126.8	790	0.2	0	140	25	798	0	0	1.37	
nov.-17	30	63.2	8	32	24	137.4	798	0.2	0	147	28	801	0	0	1.37	

FECHA	Días	P (mm)	Ret (mm)	Pi (mm)	ESC (mm)	ETP (mm)	Hsi (mm)	C1	C2	HD (mm)	ETR (mm)	HSf (mm)	Rp (mm)	Rp (L/s)	Caudal	Caudal Medido (L/s)
															Estimado (Modelo) (L/s)	
dic.-17	31	168.1	20	85	63	108.1	801	0.3	0	204	32	855	0	0	1.37	
ene.-18	31	99	12	50	37	114.5	855	0.3	0	222	36	868	0	0	1.36	
feb.-18	28	126.4	15	64	47	95	868	0.4	0	250	34	898	0	0	1.36	
mar.-18	31	117.3	14	59	44	102.1	898	0.4	0	275	40	917	0	0	1.36	
abr.-18	30	73.3	9	37	27	93.8	917	0.4	0	271	37	917	0	0	1.36	
may.-18	31	50.1	6	25	19	110.7	917	0.4	0	259	41	901	0	0	1.36	
jun.-18	30	10.8	5	3	2	116.7	901	0.3	0	222	37	867	0	0	1.36	
jul.-18	31	0.5	1	0	0	128.9	867	0.3	0	185	34	834	0	0	1.35	
ago.-18	31	0	0	0	0	125.7	834	0.2	0	151	27	807	0	0	1.35	
sep.-18	30	24.4	5	11	8	129.6	807	0.2	0	135	25	793	0	0	1.35	
oct.-18	31	61.6	7	31	23	111.29	793	0.2	0	142	23	802	0	0	1.35	
nov.-18	30	97.4	12	49	36	114.9	802	0.3	0	168	28	823	0	0	1.35	
dic.-18	31	68.7	8	35	26	112.84	823	0.3	0	175	28	830	0	0	1.35	
ene.-19	31	43.7	5	22	16	109.12	830	0.3	0	169	27	825	0	0	1.34	
feb.-19	28	104.1	12	53	39	99.12	825	0.3	0	195	28	850	0	0	1.34	
mar.-19	31	172.7	21	87	65	98.89	850	0.4	0	255	36	901	0	0	1.34	
abr.-19	30	78.1	9	39	29	95.1	901	0.4	0	258	36	904	0	0	1.34	
may.-19	31	37.4	5	19	14	96.1	904	0.4	0	241	34	890	0	0	1.34	

FECHA	Días	P (mm)	Ret (mm)	Pi (mm)	ESC (mm)	ETP (mm)	Hsi (mm)	C1	C2	HD (mm)	ETR (mm)	HSf (mm)	Rp (mm)	Rp (L/s)	Caudal	Caudal Medido (L/s)
															Estimado (Modelo) (L/s)	
jun.-19	30	9.1	5	2	2	96.6	890	0.3	0	209	29	863	0	0	1.34	
jul.-19	31	11.7	5	4	3	103.54	863	0.3	0	184	27	839	0	0	1.33	
ago.-19	31	0	0	0	0	110.98	839	0.2	0	156	25	814	0	0	1.33	
sep.-19	30	7.6	5	1	1	105.6	814	0.2	0	133	20	795	0	0	1.33	
oct.-19	31	121	15	61	45	109.74	795	0.3	0	174	27	829	0	0	1.33	
nov.-19	30	52.6	6	27	20	114	829	0.3	0	173	28	827	0	0	1.33	
dic.-19	31	162.7	20	82	61	114.08	827	0.4	0	227	37	873	0	0	1.33	
ene.-20	31	38.2	5	19	14	108.81	873	0.3	0	209	33	859	0	0	1.32	1.25
feb.-20	29	31.2	5	15	11	104.11	859	0.3	0	192	29	845	0	0	1.32	
mar.-20	31	35.2	5	17	13	102.3	845	0.3	0	180	27	836	0	0	1.32	