

Contamination of Karstic Aquifers by Infiltration of Milk Serum, Caseríos San Francisco, Florida and Vigaspampa, Celendín – Cajamarca 2022

Antonio Chavez, Ing¹, Katherine Salazar Ing¹, Daniel Alva, Ing¹, Ronald Mayta, Ing¹

¹ Universidad Privada del Norte (UPN), Cajamarca, Perú. antoniochavezcarranza@gmail.com, daniel.alva@upn.edu.pe
ronald.mayta@upn.pe, ytakt698@gmail.com

Abstract– The objective of the present investigation is to determine the level of contamination of the karstic aquifers by infiltration of whey in the San Francisco, Florida and Vigaspampa hamlets, Celendín province, Cajamarca, Peru 2021. For which the mapping of the study area was carried out, to determine the calcareous formations, as well as the elevation and/or depressions that favor the emanation of the springs, to later be complemented by the sampling of 3 springs specifically located in each hamlet, thus, to later carry out the physicochemical, chemical and biological analyzes of the samples sent to the laboratory. Later, with the database, the Easy Quim 4.0 Software was used to appreciate the graphs that show the polluting variations of the analyzed waters, using the Piper and/or Schoeller Diagram. Then, a comparison of the three test points was made, in order to be able to recognize the contamination of the groundwater, since the results obtained from the laboratory were evaluated, with the environmental quality standards (ECA) established by the Peruvian government in the Supreme Decree No. 004-2017-MINAM which establishes the national standards for the environmental quality of category A1 water in the Peruvian territory, in addition to the maximum permissible limits (LMP) DS No. 031-2010-SA for effluents of domestic wastewater, from the housing sector. In this way, the results were found with a contamination much greater than that provided by Peruvian laws, in environmental quality, taking into account the geology of the study area.

Key words: Infiltration, hydrology, contamination, whey.

Contaminación de Acuíferos Kársticos por infiltración de Suero de Leche, Caseríos San Francisco, Florida y Vigaspampa, Distrito de Sucre, Celendín-Cajamarca 2022

Antonio Chavez, Ing¹, Katherine Salazar Ing¹, Daniel Alva, Ing¹, Ronald Mayta, Ing¹

¹ Universidad Privada del Norte (UPN), Cajamarca, Perú. antoniochavezcarranza@gmail.com, daniel.alva@upn.edu.pe, ronald.mayta@upn.pe, ytakt698@gmail.com

Resumen– El objetivo de la presente investigación es determinar el nivel de contaminación de los acuíferos kársticos por infiltración de suero de leche en los caseríos San Francisco, Florida y Vigaspampa, provincia Celendín. Cajamarca, Perú 2021. Para lo cual se realizó el mapeo de la zona de estudio, para determinar las formaciones calcáreas, así como, la elevación y/o depresiones que favorecen a la emanación de los manantiales, para luego ser complementado por el muestreo de 3 manantiales ubicados específicamente en cada caserío, es así que, para realizarse posteriormente los análisis fisicoquímicos, químico y biológico de las muestras enviadas a laboratorio. Posteriormente con la base de datos, se procedió a utilizar el Software Easy Quim 5.0 para lograr apreciar las gráficas que muestren las variaciones contaminantes de las aguas analizadas, utilizando el Diagrama de Piper y Schoeller. Luego, se logró realizar una comparación de los tres puntos de muestreo, para así, poder reconocer la contaminación del agua subterránea, puesto que se evaluó los resultados obtenidos de laboratorio, con los estándares de calidad ambiental (ECA) establecidos por el gobierno peruano en el Decreto Supremo N°004- 2017-MINAM el cual establece, los estándares nacionales de la calidad ambiental del agua de categoría A1 en el territorio peruano, además, de los límites máximos permisibles (LMP) DS N°031-2010- SA para efluentes de aguas residuales domésticas, del sector vivienda. De esta manera, se encontraron los resultados con una contaminación mucho mayor a lo dispuesto por las leyes peruanas, en calidad ambiental, tomando en consideración la geología de la zona de estudio.

Palabras clave: Infiltración, hidrogeología, contaminación, suero de leche.

I. INTRODUCCIÓN

El volumen total de agua subterránea dulce almacenado en la Tierra oscila el 96% del agua dulce no congelada, además el agua subterránea abastece casi el 50% del agua potable mundial y 43% de toda el agua utilizada para riego en la agricultura. Asimismo, desde los años 60's y desde diversas disciplinas surgen conceptos, metodologías y enfoques para la evaluación de la vulnerabilidad [1]. Los acuíferos son una de las bases de suministro de consumo humano, estos son formaciones geológicas que almacenan, actúan como depósito y reserva, por lo que son de suma importancia tanto para un presente como para un futuro del agua. [2 - 13]. El agua residual proveniente de

agroindustrias se caracteriza por tener una elevada Demanda Química de Oxígeno (DQO). La evaluación de la calidad de agua se lleva a cabo utilizando tres indicadores: demanda bioquímica de oxígeno (DBO), demanda química de oxígeno (DQO) y sólidos suspendidos totales (SST) [4]. La descarga de cualquier compuesto con una alta demanda bioquímica de oxígeno, como el suero de leche, logra ser vertido en cualquier sistema ecológico acuático como acuíferos, los macroorganismos que lo degradan necesitan una gran cantidad del oxígeno disuelto, y si la cantidad baja significativamente, se produce olores fétidos por putrefacción, lo que provoca la muerte por la alta demanda de contaminación de los ecosistemas, es por ello, que por cada 1000 litros de suero, se compara con las aguas residuales producidas en un día por 500 personas [5 - 17]

El lactosuero es un subproducto resultante de la precipitación y separación de la caseína de la leche durante la fabricación del queso. Incluso es la fracción de leche de cualquier especie animal que representa alrededor del 85% - 95% del volumen de leche y retiene el 55% de sus nutrientes; su composición se basa en lactosa del 70% - 80%, proteínas 9%, minerales del 8% - 20%, además posee lípidos, ácidos lácteos, cítricos y compuestos nitrogenados [6]. Un litro de leche equivale a un aporte de DBO de 110.000 mg/L y de DQO de 220.000 mg/L. De manera similar, el aporte de un litro de suero a la DQO es de aproximadamente 60.000 mg/L. [7]

En el norte del Perú, debido a la concentración de rocas kársticas, que almacenan agua, están siendo utilizadas como tiraderos, de las diferentes industrias que existen, esto afectando considerablemente a los acueductos subterráneos, tales contaminantes, son vertidos por sumideros calcáreos, los cuales sirven como pasaje, para el transporte de cualquier material. [8]

El lactosuero viene siendo evacuado, sin tratamiento alguno a los ríos, aguas subterráneas y al alcantarillado de la ciudad de Cajamarca. Por lo que, de los 1100 litros de leche fresca bovina procesada en la elaboración del queso, se ha calculado que genera un aproximado de 990 litros de lactosuero como residuo por cada día, además de que contiene una carga orgánica muy elevada (DQO aproximadamente de 60.000 mg/l). [10]. Por consiguiente, si el suero de leche es descargado en roca o suelos, puede llegar a filtrarse hasta las aguas freáticas, convirtiéndose en una amenaza para la salud de los animales y humanos, además de ello, cambia la composición química del agua, llegando a perturbar los organismos en el subsuelo, de

debido a los procesos biológicos, perturbando de una manera muy peligrosa, con respecto a la contaminación. [3 - 12].

El volumen del suero producido en el caserío “El Milagro” es de 40 litros/día, en cambio en el caserío “Vigaspampa” el cual llega al manantial de “La Florida” produce 120 litros/día y finalmente, para el manantial “San Francisco” la planta quesera produce 76 litros/día.

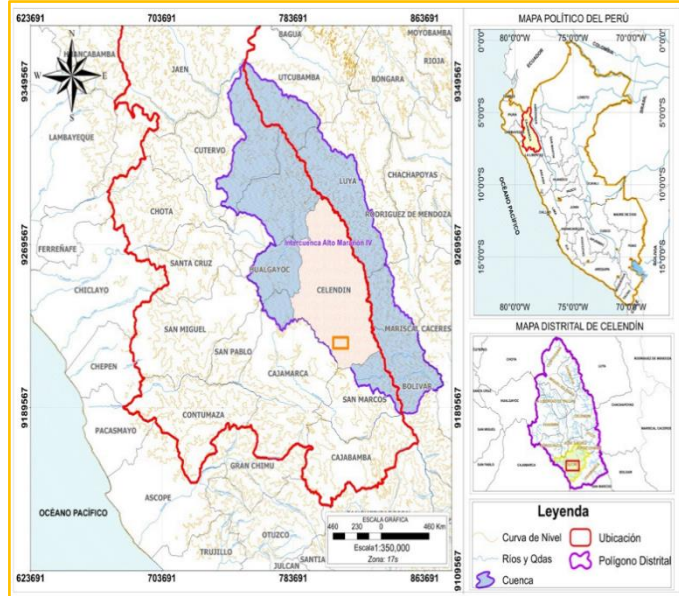


Figura 1. Plano de ubicación de la zona de estudio.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

A. Programa de muestreo

Con el cartografiado geológico de la zona de estudio, se elaboraron distintos mapas (topográfico, geológico, geomorfológico, satelital) para así, delimitar la presencia de manantiales.

B. Trabajo de campo

En esta etapa, se contempló, el cartografiado geológico, en los caseríos de Vigaspampa, San Francisco y la Florida a una escala determinada de 1/10 000 para lograr incluir los acuíferos kársticos en la zona, presentes en la zona; además de ello, se contempla la delimitación de estructuras primarias y/o secundarias, litología, ubicación de los efluentes de suero de leche, así mismo, los sumideros existentes; ello permitió realizar con mucho mejor detalle la investigación. Los parámetros químicos encontrados en campo, como el Ph se determinó, por intermedio de un phmetro portátil, en cada punto de afluencia del agua, para los Solidos Totales Disueltos se llevó las muestras a laboratorio.

Los parámetros biológicos de las muestras, también logro determinarse en laboratorio, como la Demanda Química de Oxígeno (DQO) en donde se determina incubando las muestras con un oxidante combinado con ácido sulfúrico en ebullición, bajo condiciones de tiempo y temperatura, en el caso de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5) también se

incubaron las muestras a una temperatura de 20°C durante 5 días, y midiendo el oxígeno al inicio y al final de incubación. En el caso de los valores físico-químicos se determinaron en laboratorio de cada una de las muestras.

C. Trabajo en Laboratorio

En el caso del agua contaminada (agua + suero de leche) se debe visualizar los parámetros: Temperatura, turbidez, pH, conductividad, aniones, cationes, bacterias, así mismo, en base investigaciones, se debe muestrear la Demanda Química de Oxígeno (DQO)

D. Trabajo de gabinete Post – campo

Es así que, con la data proporcionada por laboratorio, se procederá a encontrar, el diagrama de Piper, Schoeller Berkaloft, Stiff, Stabler, Simulation pH, Korjinski, entre otros, utilizando el software Diagrammes, de los cuales se obtendrán o se simularán los parámetros, los cuales permitirán realizar una mejor interpretación de los resultados.

II. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A. GEOLOGÍA

La Geología local de la zona de estudio está conformado principalmente por las formaciones Chulec, compuesta por una secuencia de calizas y margas color pardo, intercaladas con niveles de lutitas calcáreas coloración amarillentas, debido a las pendientes, la geología forma quebradas, en temporadas, de lluvias, cierta cantidad de agua, llega a los sumideros calcáreos, pertenecientes al Grupo Quilquiñán, compuesto de calizas margosas, de grano fino, medio a grueso, de color gris amarillento. En el caserío “San Francisco” y “La Florida” la formación Cajamarca se presenta un 90% del territorio consistiendo de calizas gris oscuras a azuladas con delgadas intercalaciones de arcillitas y margas de los mismos colores, presentando estratos de 60 cm, es así que, en la parte media se presentan estratos con un promedio de 100 cm intercalándose en el techo con margas.

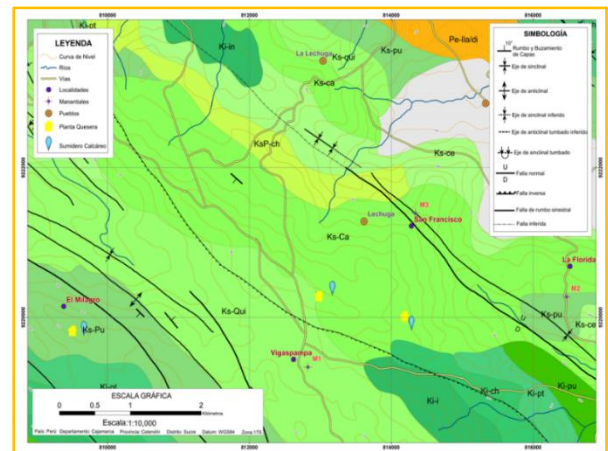


Figura 2. Mapa Geológico

Geología Estructural: Gran presencia de estructuras geológicas, los cuales han sido originadas, por fuerzas comprensivas e extensivas, efectuadas durante el levantamiento de los andes siendo estas estructuras bien desarrolladas por la gran presencia de una falla de control mineralizante (Falla Punrre).

Los caseríos de “San Francisco – La Florida – Vigaspampa” se encuentran intersectados por fallamientos de tipo normal y pliegues, es por intermedio de estos, que se produce la infiltración de agua. Es así que, la fuente del acuífero principal es el Grupo Quilquiñán, la que se encuentra en la intersección de la gran falla de una falla normal, la cual, a la vez, concentra los sumideros calcáreos de las formaciones kársticas: Cajamarca, Quilquiñán – Mujarrum y el Grupo Pulluicana siendo las tres últimas formaciones calcáreas, aflorando como “manantiales”.

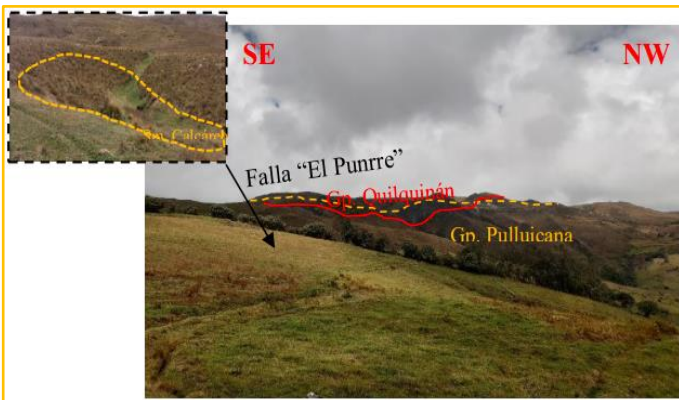


Figura 2. Falla el “Punrre” ubicada en los caseríos “Vigaspampa” y “La Florida”

Los pliegues se observan de una mejor manera y con un control estructural muy evidenciado en el caserío “San Francisco” y “la Florida” presentándose un pliegue de tipo Sinclinal, en base al buzamiento de 48°.

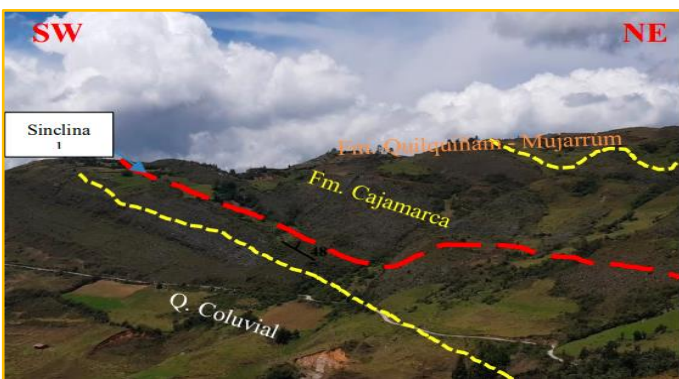


Figura 3. Plegamiento en el caserío “San Francisco” y la “La Florida”.

El área de alimentación y recarga constituye el caserío de “El Milagro” por medio de sumideros calcáreos, los cuales se concentran, por las fallas, con los estratos permeables, las areniscas de la Formación Inca y Farrat, son las responsables de la infiltración, para el manantial M-01.

Para el manantial M-02/M-03 la infiltración se genera en el Grupo Quilquiñán, apoyado por la falla “Normal”. Para que se produzca la infiltración del agua, se debe principalmente a las fallas y las unidades litológicas, en este caso existe una falla principal, la cual posee a la vez fallas de menor proporción que alimentan los acuíferos kársticos, y los afloramientos del agua subterráneas.

B. HIDROGEOLOGÍA

la zona de mayor recarga está constituida los drenajes, por donde discurre las aguas pluviales, en las estaciones lluviosas. Los sistemas de agua de la cuenca en movimiento, obedecen diversos orígenes, como la precipitación aluvial en las partes altas, y algunos manantiales que sobresalen en las montañas, el agua producida, seguirá un movimiento dependiendo de la topografía del terreno.

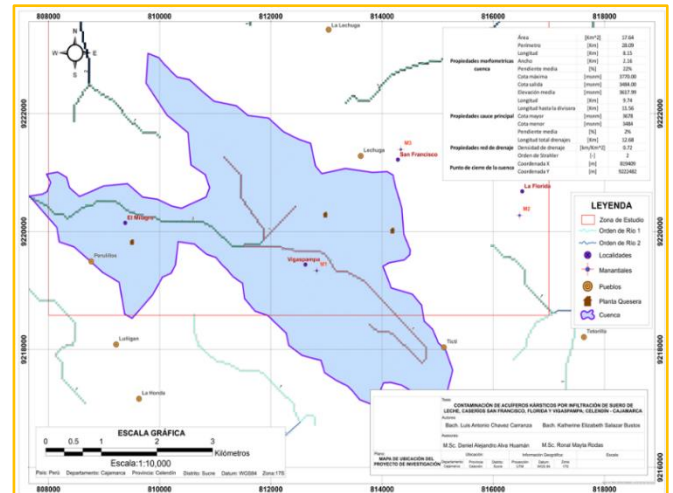


Figura 4. Mapa Hidrológico (Cuenca – Orden de Ríos).

Mediante perfiles, se muestra que, el agua tiene un recorrido de varios kilómetros, además debido a la altitud, en las zonas de recarga, que constituyen los sumideros calcáreos.

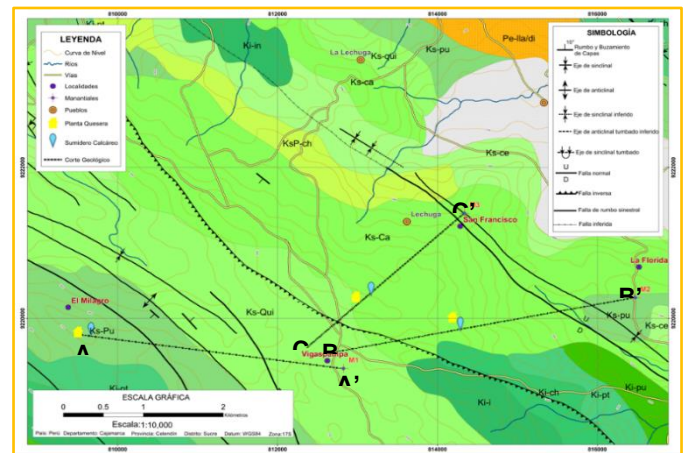


Figura 7. Mapa y Cortes Geológicos

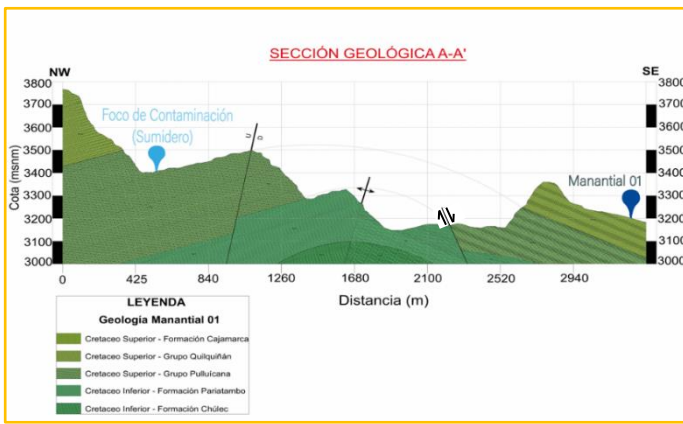


Figura 8. Sección Geológica A-A'

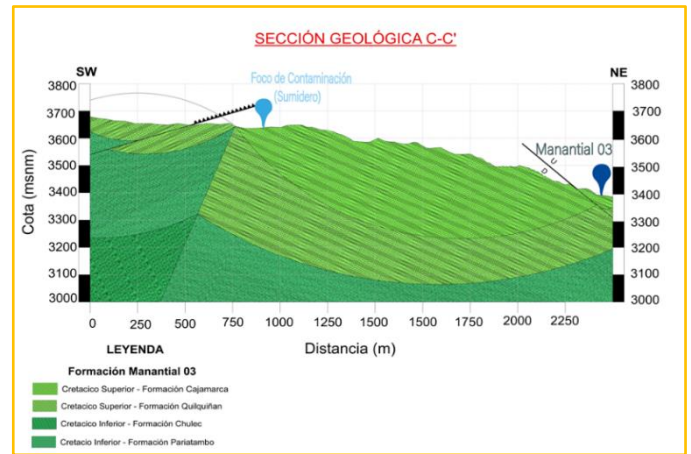


Figura 10. Perfil y Sección Geológica (M-03)

El Manantial 01 el cual se encuentra en el caserío de “Vigaspampa” perteneciente al grupo Quilquiñán, se puede apreciar el sumidero en el caserío “EL Milagro” que es el foco de contaminación, emplazado en el grupo Pulluicana, infiltrándose el agua, ayudado por la altitud, así como, la presencia de una falla normal, se observa un anticlinal, y una falla de rumbo dextral que favorece a que el agua logre presentarse en el Manantial 01. Esto significa, que para el caserío de “Vigaspampa” se tiene un acuífero moderadamente productivo, con una capacidad media de almacenar y transmitir el agua.

El control estructural obedece a la falla normal en donde se genera la infiltración, hasta el manantial que se encuentra en el caserío “San Francisco” con una distancia promedio de 1.5 km. El acuífero presenta una susceptibilidad baja con una capacidad alta-media de transmitir el agua.

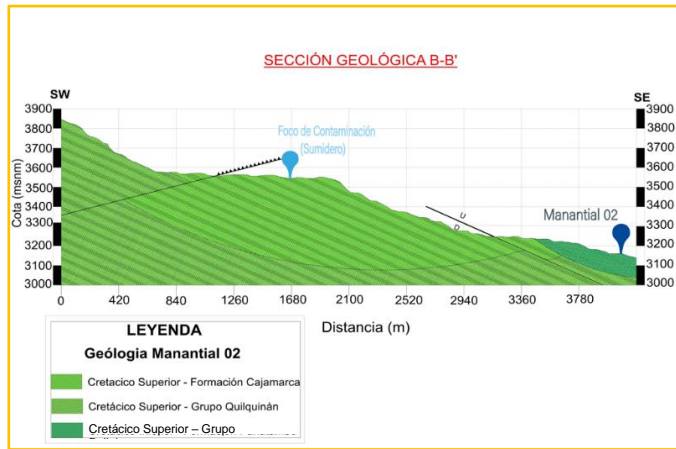


Figura 9. Sección y Perfil Geológico (M-02)

Se aprecia, una topografía accidentada, siendo la geología y las estructuras, protagonistas, de la recarga del acuífero kárstico, en la formación Cajamarca que contiene al sumidero calcáreo, entre ella se aprecia un falla normal con un buzamiento de 25° siendo permeable para que el agua pueda viajar por la formación Cajamarca y Grupo Pulluicana, con un recorrido promedio de la mezcla del agua y el suero de leche de 1.5 km hasta el manantial del Grupo Pulluicana. Se puede interpretar, que para el caserío de “La Florida” se tiene un acuífero de capacidad media-alta de transmitir y almacenar el agua subterránea.

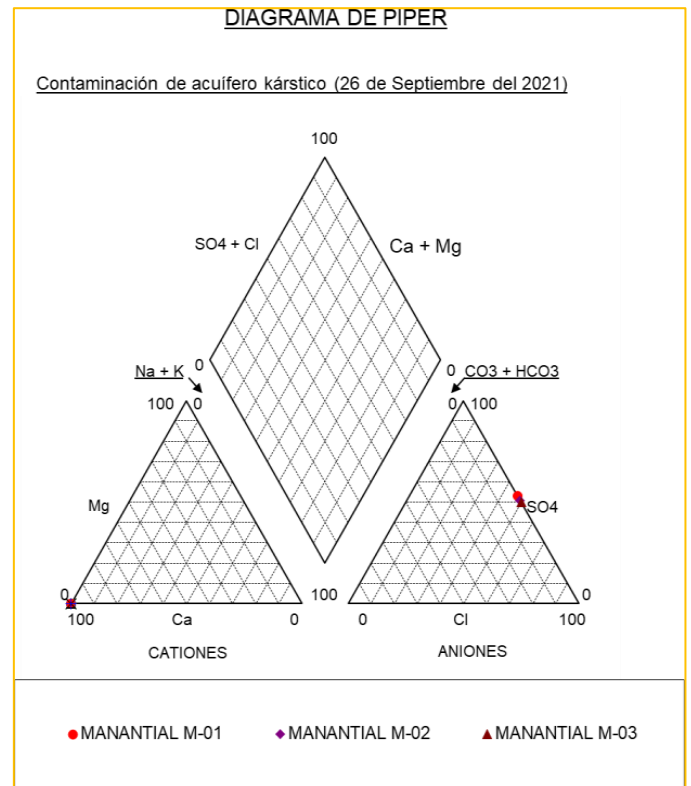


Figura 11. Diagrama de Piper de las muestras analizadas.

En el Diagrama de Piper se puede observar, en el triángulo de cationes que, los tres manantiales presentan una elevada concentración de calcio, esto se debe a la presencia de calizas de las diferentes formaciones geológicas que conforman los tres caseríos. En el triángulo de aniones el manantial M-02 y M-03 presenta un alto valor de ion cloruro e intermedio ion sulfatado, lo que hace interpretar, que el ion cloruro se debe a

alto contenido de sal que se emplea para la fabricación del queso, además de ello, el sulfato se debe a la presencia de calizas, con intercalaciones de lutitas y margas, perteneciente a la formación Cajamarca y Grupo Quilquiñan, en los caserío “La Florida” y “San Francisco”. Para el manantial M-01 el cual se encuentra en el caserío “Vigaspampa” presenta un valor de 50-55% del ion sulfato, esto en gran medida al Grupo Quilquiñan, esto se debe a que el agua posiblemente transcurra por las calizas, margas, además de ello, que, en base a varios estudios, es común encontrar valores intermedios-altos de sulfato en el agua subterránea. Teniendo en cuenta, el resultado de los dos triángulos el agua de los manantiales M-02 y M-03 es Clorurada. Sin embargo, el agua de la muestra M-01 corresponde a sulfatada y/o clorurada cálcica.

En el Diagrama de Schoeller, se puede observar que las tres muestras de agua poseen una mayor concentración de cloro y sulfato, tomando la consideración de que la muestras fueron tomadas el mismo con diferencias de una hora, entre cada muestra, lo que hace interpretar, que los valores que se observan se debe principalmente al ambiente geológico, donde se encuentren estas y al largo recorrido que posee, desde la fuente hasta la surgencia en cada caserío.

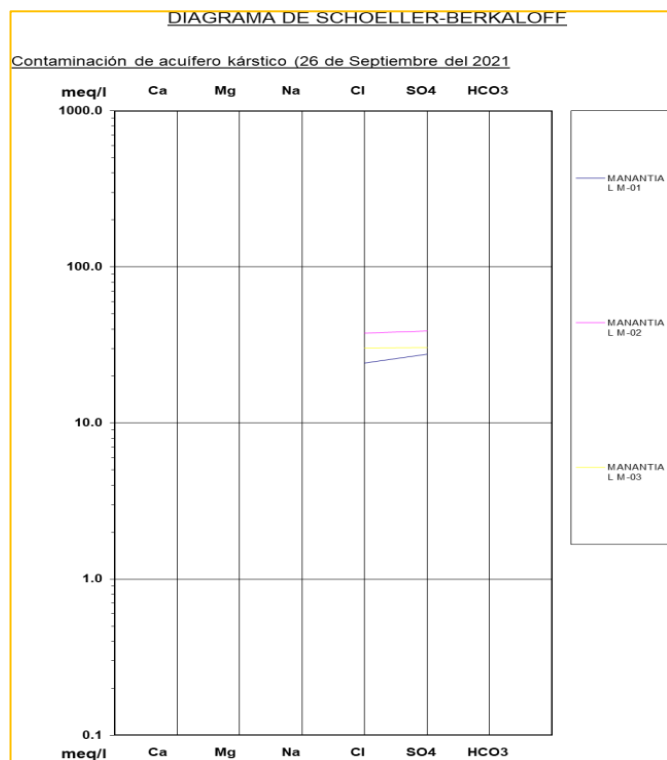


Figura 12. Diagrama de Schoeller-Berkaloff de las muestras.

Sólidos Disueltos Totales: La presencia de sólidos disueltos totales en el manantial M-01 es de 2208 mg/L mientras que el manantial M-02 oscila en 1312 mg/L y finalmente el manantial M-03 es de 1188 mg/L, los tres manantiales no se encuentran dentro del límite máximo permisible que es de 1000 mg/L.

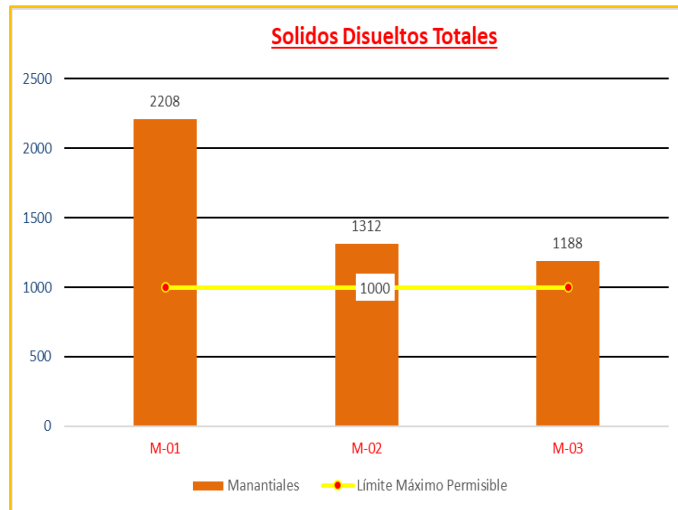


Figura 13. Comparación Sólidos Disueltos Totales.

Como se observa en la gráfica el manantial M-01 ubicado en el caserío “Vigaspampa” presenta mayor cantidad de Sólidos Disueltos Totales debido a que el suero no solamente es desechado, también va acompañado de la presencia de coliformes fecales y basura, que se logra infiltrar al subsuelo. Para el manantial M-02 ubicado en “La Florida” también está por encima del límite máximo permisible, esto, a que el agua está mezclado con el suero de leche, conteniendo de esta manera gran cantidad de sustancias disueltas (sólidos) además, de que la zona de recarga, que se genera en el caserío de “Vigaspampa” hasta la “Florida” tiene una distancia recorrida por el agua de 2.6 km adquiriendo, en el transcurso una mayor cantidad de minerales. Respecto al manantial M-03 ubicado en el caserío de “San Francisco” también sobrepasa el valor máximo permisible, pero en menor valor a los dos primeros manantiales, esto se debe a que la distancia recorrida del manantial es de 1.5 km, lo que produce, en el transcurso esta agua adquiere minerales, debido al contacto con diferentes tipos de rocas. Los valores de los sólidos disueltos totales, son una clara evidencia de contaminación, sobrepasando el límite máximo permisible, que es de 1000 mg/L se evidencia que, debido también, a las formaciones geológicas estos datos varían por la presencia de minerales en las rocas [11].

Potencial de Hidrógeno (pH): En base al gráfico, los valores del pH de los tres manantiales, no se encuentran dentro de los límites máximos permisibles (6.5 pH como mínimo y 8.5 pH como máximo), esto se debe a la mezcla del agua subterránea con el suero de leche, favoreciendo la mezcla de estas dos sustancias líquidas el recorrido, obteniendo de las tres muestras un pH ácido. Encontrándose el lactorusero ácido con un pH < 4.5. Teniendo un pH de 1.86 para el manantial M-01 y 1.83 para M-02/M-03.

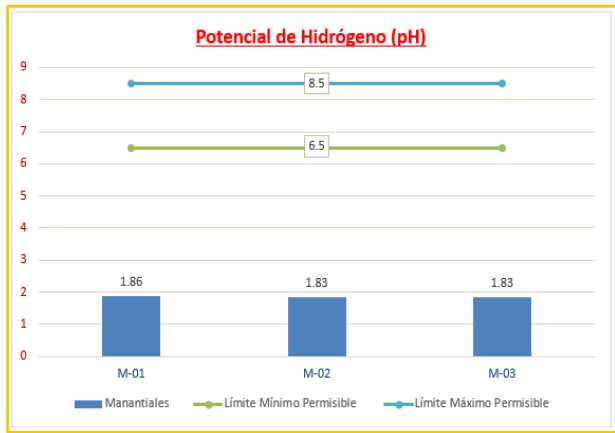


Figura 14. Comparación de Potencial de Hidrógeno.

Los valores altos, se debe a que son aguas contaminadas (agua subterránea + suero de leche) en ese sentido, se menciona que, para poder elaborar el queso, se utiliza una cantidad de 200 – 100 gramos de sal; es por ello, que el suero de leche contiene sales, generando valores mayores en las muestras de los manantiales. Los cloruros se presentan por encima de 250 mg/L del valor representado por la norma en todas las muestras, lo que evidencia, una clara presencia de coliformes fecales que son arrojados a los sumideros, presentándose, así valores anómalos [14][15].

Nitrato: Las tres muestras de agua, se encuentran dentro de LMP, que es de 3 mg/L, según los estándares nacionales de calidad ambiental para el agua.

Fluoruros: Las tres muestras de agua, se encuentran dentro del LMP siendo 1 mg/L. Los valores mínimos de las tres aguas, está relacionado con la mayor presencia del suero de leche, es así que, a mayor presencia de suero de leche por encima del agua subterránea, mucho menor serán los valores del ion fluoruro.

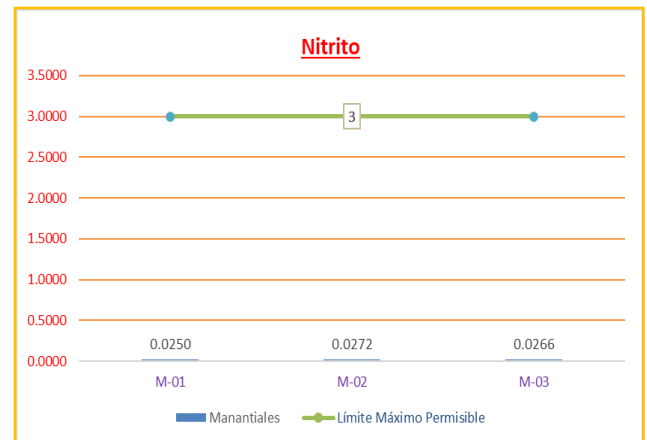


Figura 17. Comparación del Nitrito.

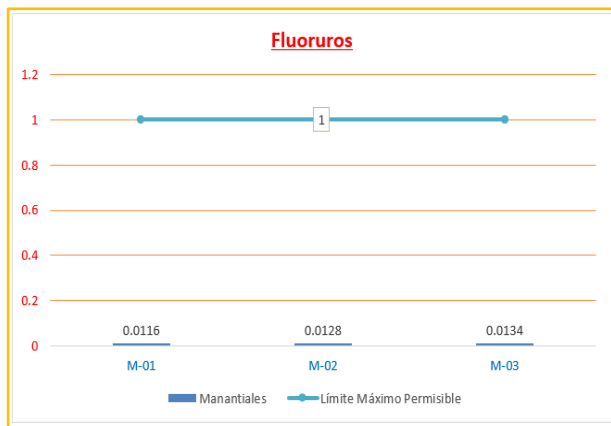


Figura 15. Comparación del Fluoruro.

Los valores menores, está relacionado con el pH de los manantiales.

Bromuros: Los valores de dichas muestras de aguas, sobrepasan el límite máximo permisible de 0.5 mg/L; esto en gran medida, a que la zona al ser agrícola, se utilizan fertilizantes para la cosecha de sus alimentos, estos al mezclarse con el agua de lluvia, llegan a infiltrarse al subsuelo, lo que produce contaminación, además, esto se ve apoyado por el vertimiento del suero de leche, a los sumideros calcáreos.

Cloruros: Las muestras de agua, sobrepasan, en mayor cantidad, el límite máximo permisible, que es de 250 mg/L, dando mayor relevancia a la hipótesis de que el suero de leche, generalmente oscila los 1100 mg/L

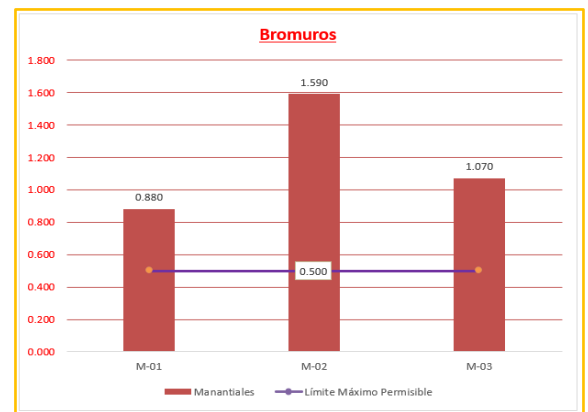


Figura 18. Comparación del Bromuro.

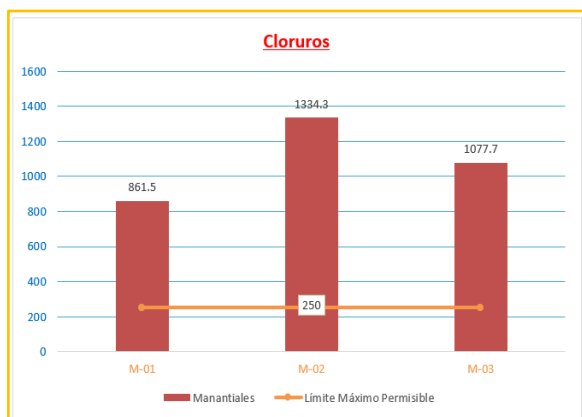


Figura 16. Comparación del Cloruro.

El bromuro sobrepasa claramente el límite máximo permisible como se representa en la figura 18, lo cual indicaría una contaminación residual doméstica, que es vertida en los manantiales [13].

Nitratos: La presencia de nitratos en el manantial M-01 es de 1.800 mg/L, de M-02 de 12.610 mg/L, mientras que la del manantial M-03 es de 1.680 mg/L. Las tres muestras se encuentran dentro los LMP que es de 50 mg/L.

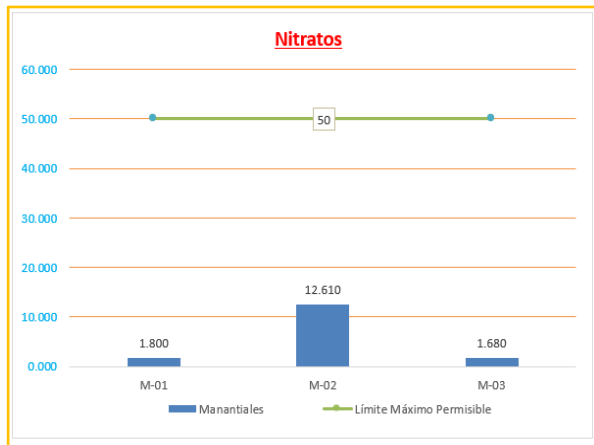


Figura 19. Comparación del Nitrato.

El valor más alto lo tiene el manantial M-02 como se observa en la figura, esto a que posee la mayor distancia de recorrido del agua subterránea, el transcurso del agua genera disolución de las rocas y minerales, además, de que el suero al ser altamente contaminante, genera descomposición de materia vegetal de la zona aledaña.

Sulfatos: Se puede apreciar, en la figura, valores muy altos, con respecto al LMP que es 250 mg/L. Los sulfatos claramente no se encuentran dentro del límite máximo permisible, lo que indicaría que debido al suero procedente del residuo industrial (suero). La OMS menciona que los sulfatos están presentes de manera natural en muchos minerales de las rocas, además, las concentraciones más altas suelen encontrarse en aguas subterráneas y provienen de fuentes naturales [14].

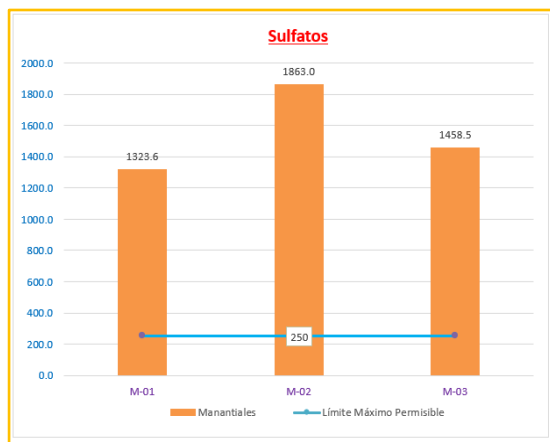


Figura 20. Comparación del Sulfato.

El valor alto del manantial M-02 radica en que la infiltración del suero de leche es mucho mayor, al de los dos manantiales, en gran parte al ser un agua contaminada por suero de leche.

Fosfatos: Los valores muy altos del ion fosfato, en los tres manantiales, radica en el agua contaminada, siendo mayor a los estándares de calidad ambiental y al límite máximo permisible que es de 0.1 mg/L.

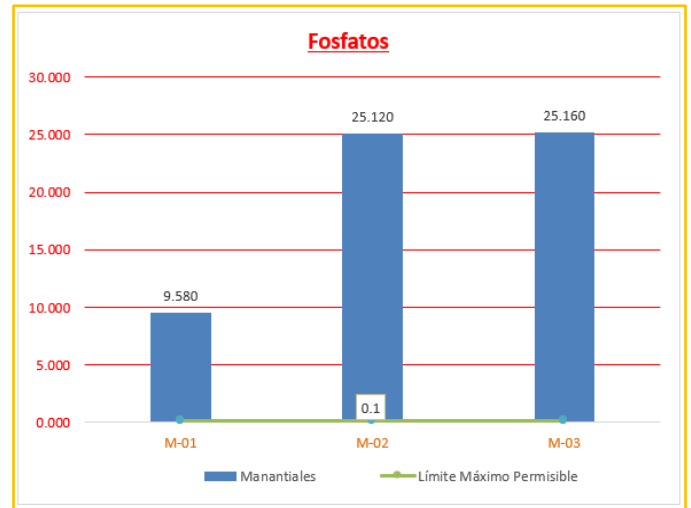


Figura 21: Comparación del Fosfato.

La cantidad excesiva, induce al crecimiento desmesurado de algas y otros organismos, lo que provoca la eutrofización de las aguas, al morir los vegetales y ser descompuestos, se agota el oxígeno, lo que se traduce a un agua maloliente, precisamente esta agua se encuentra en los dos ultimo manantiales en mayor cantidad. Se sobrepasa el límite máximo permisible, lo que indicaría la presencia contaminante de fertilizantes fosfatados que son vertidos al sumidero [12].

Demanda Química de Oxígeno (DQO): Como se observa en la figura la demanda química de oxígeno de los manantiales M-01 es de 2172.2 mg/L, del manantial M-02 oscila en los 4601.0 mg/L, mientras que del manantial M-03 es de 3143.7 mg/L.

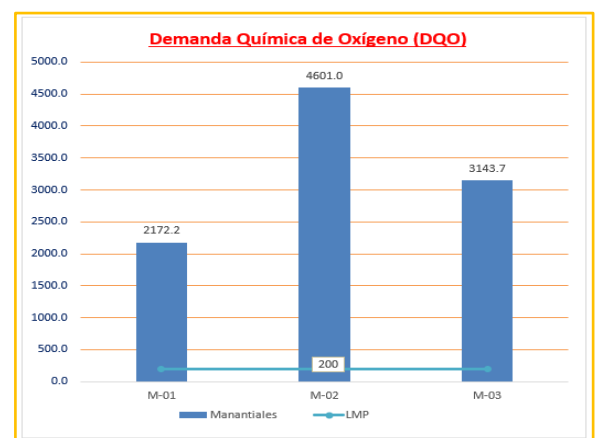


Figura 22. Comparación de la Demanda Química de Oxígeno (DQO).

Las tres muestras sobrepasan el límite máximo permisible, que es de 10 mg/L, lo que indica, un alto grado de materia orgánica susceptible a oxidarse químicamente, especialmente en el manantial M-02/M-03. El valor alto en el manantial M-02 se debe a que, el suero infiltrado es mucho mayor.

Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5): En las tres muestras el valor de la demanda bioquímica de oxígeno, sobrepasa el límite máximo permisible (3 mg/L) esto indica que existe contaminación en los tres manantiales, en mayor medida por la gran cantidad de materia susceptible a consumirse u oxidarse, por las bacterias presente en las muestras.

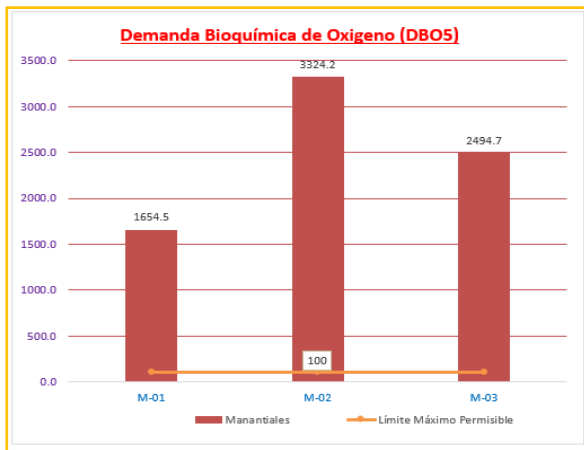


Figura 23. Comparación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5).

La muestra que presenta mayor cantidad es la M-02 que se encuentra en el caserío de “San Francisco” con un valor de 3324.2 mg/L en gran medida a la mayor cantidad de suero que se infiltra en la zona de recarga, a través, de los sumideros calcáreos, y apoyado por a distancia que recorre el agua contaminada.

De acuerdo al perfil A-A’, el Manantial 01 el cual se encuentra a 3.4 km de la planta quesera, posee su recarga en el caserío “El Milagro”, al poseer una mayor elevación favorece el desplazamiento del agua (líneas de flujo) producto de las precipitaciones, y alguna sustancia contaminantes como: suero de leche y algunos desechos producidos por factores humanos, al manantial del caserío “Vigaspampa” presentando un caudal de 4 l/s todo ello, emplazado en la formación Pulluicana.

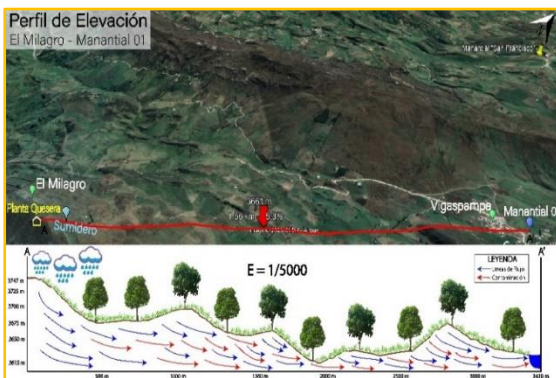


Figura 24. Perfil de elevación y líneas de flujo del “manantial 01”.

En el corte de perfil B-B’ que pertenece al Manantial 02 el sumidero calcáreo donde se desecha el suero de leche, producto de la planta quesera en la localidad de “Vigaspampa” se encuentra a 2.6 km donde, la zona de recarga es en las zonas altas, la precipitación y los contaminantes como el suero y otros productos, logran desplazarse hacia la zona más baja (línea de flujo) favorecido por la presencia de una falla normal, hasta el manantial 02 que posee un caudal de 12 l/s emplazado en la formación Cajamarca.

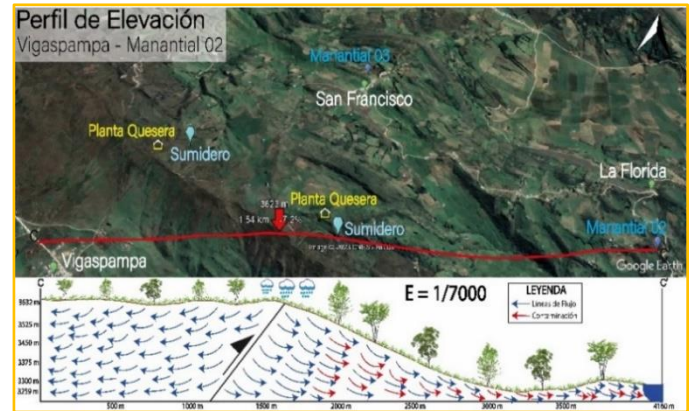


Figura 25. Perfil de elevación y líneas de flujo del caserío “Vigaspampa – manantial 02”.

Por otro lado, el perfil C-C’ su zona de recarga también está en las partes altas, en donde se presenta una planta quesera, que el producto, junto a otros se arroja al sumidero calcáreo, que termina en el manantial 03 el cual se encuentra a 1.5 km de la vertiente, presentando un caudal de 7 l/s encontrándose en la formación Cajamarca.

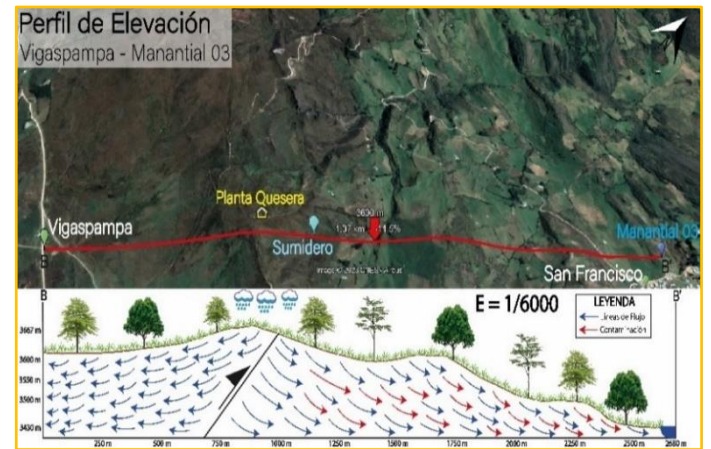


Figura 26. Perfil de elevación y líneas de flujo del caserío “Vigaspampa – manantial 03”.

IV. CONCLUSIONES

La infiltración que se genera, en los caseríos de “Vigaspampa” “La Florida” y “San Francisco” esta relacionada a la presencia de sumideros calcáreos, por los cuales, las empresas queseras presente en la zona, logran infiltrar el suero de leche, en las depresiones geológicas, esto acompañado de las precipitaciones aluviales, conducen a que dentro del acuífero kárstico se genera la mezcla (suero de leche + agua) dando resultado al líquido contaminante, el cual aflora en el manantial (M-01) en el caserío de “Vigaspampa”. Por otra parte, en el caserío “La Florida” debido a la topografía accidentada, la infiltración se genera, en las estructuras relacionadas a la falla “El Punrré” formando diferentes sumideros calcáreos, por ende la empresa Quesera desecha el suero de leche en el sumidero, encontrado en la parte SE del caserío, de esta manera genera la contaminación, acompañado también de las precipitaciones aluviales, recorriendo el contaminante una distancia de 2.6 km, aflorando de esta manera en el manantial (M-02) perteneciente al caserío “La Florida”. Finalmente, el manantial (M-03) presente en el distrito de “San Francisco” la infiltración se genera en el caserío “Vigaspampa” de la misma manera, que para el manantial (M-02), obedeciendo el recorrido y la presencia de sumidero calcáreo en la parte NE por el Grupo Quilquiñán y la falla Normal generando la mezcla del suero de leche y las precipitaciones aluviales, con una distancia de 1.5 km, hasta el caserío “San Francisco” aflorando el manantial (M-03) perteneciente a la formación Cajamarca.

Mediante la recolección de las muestras de agua, en el manantial M-01 presente en el caserío “Vigaspampa” enviadas al Laboratorio Regional Del Agua se comprobaron que las muestras poseen valores anómalos con respecto a los estándares de calidad ambiental (ECA) exceden lo límites máximos permisibles (LMP) de agua, muestran un pH de 1.86, sólidos totales de 2208.0 mg/L sobrepasando los valores establecidos. Mientras que, para los parámetros Físicoquímicos, muestran que la presencia de fluoruro, cloruro, nitrito, bromuro, nitrato, sulfato y fosfatos sobrepasan los valores de los estándares de calidad, así como los límites máximos permisibles del manantial; de igual manera, los valores biológicos, especialmente la demanda bioquímica y química de oxígeno, sobrepasa los intervalos del Decreto Supremo N°004-2017-MINAM el cual establece, los estándares nacionales de la calidad ambiental del agua (ECA) de categoría A1 en el territorio peruano, excediendo los límites máximos permisibles (LMP) DS N°031-2010-SA para efluentes de aguas residuales domésticas, del sector vivienda.

Para el manantial M-02 el cual se encuentra en el caserío “La Florida” posee un pH de 1.83, sólidos totales de 1312.0 mg/L. La presencia de los parámetros Físicoquímicos, muestran que la presencia de fluoruro, cloruro, nitrito, bromuro, nitrato, sulfato y fosfatos sobrepasan los valores del LMP, así como, datos biológicos, correspondiente a la demanda bioquímica y química de oxígeno, sobrepasando los intervalos del Decreto Supremo N°004-2017-MINAM y (LMP) DS N°031-2010-SA para aguas de categoría A1.

Por otro lado, para el Manantial M-03 presente en el caserío

“San Francisco” posee un pH de 1.83, sólidos totales de 1188.0 mg/L; para los parámetros físicoquímicos y biológicos, de igual manera, sobrepasan los valores de LMP para efluentes de aguas residuales domésticas, del sector vivienda. Los datos evaluados de los tres puntos de muestreo, se puede mencionar que los resultados obtenidos sobrepasan los valores establecidos, por el LMP; concluyendo que las tres áreas presentan una contaminación elevada, por la Demanda Bioquímica y Química de Oxígeno, para las muestras M-01 es de 2172.2 mg/L, del manantial M-02 oscila en los 4601.0 mg/L, mientras que del manantial M-03 es de 3143.7 mg/L.

AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo se ejecutó en la Universidad Privada del Norte (UPN).

REFERENCIAS

- [1] Anguas Cabrera, D., Ortiz Hernández, M. C., Camacho Cruz, K., & Sanchez González, A. (2020). Incremento de Nitrógeno en *Thalassia testudinum* por el aporte de nitrógeno disuelto inorgánico de aguas residuales durante precipitaciones extraordinarias. *SciELO*, 36 (1), 209-214. doi:<https://doi.org/10.20937/rica.2020.53392>
- [2] Antiguiedad, I., Uriarte, T. M., & Angel, J. (2007). Los acuíferos kársticos, casos del País Vasco. Madrid: Enseñanzas de la ciencia de la tierra.
- [3] Auler, A., Bakalowicz, M., Zhao, C., Drew, D., Griger, F., Hartmann, J., . . . Goldsneider, N. (2017). The World Karst Aquifer Mapping project: concept, mapping procedure and map of Europe. *Springer Link*, 25(2), 771-785. doi:10.1007/s10040-016-1519-3
- [4] Bojo Canales, C., Fraga Medín, C., Hernández Villegas, S., & Primo Peña, E. (2009). *SciELO: Un proyecto cooperativo para la difusión de la ciencia*. *SciELO*, 11(1), 49-56. Obtenido de <http://www.scielo.com>
- [5] Bolaños Alfaro, J. D. (2017). Determinación de nitritos, nitratos, sulfatos y fosfatos en agua potable como indicadores de contaminación ocasionada por el Hombre, en dos cantones de Alajuela (Costa Rica). *Alajuela: Tecnología en Marcha*.
- [6] Cairampoma Rojas, M. (2015). Tipos de Investigación Científica: Una simplificación de la complicada incoherente nomenclatura y clasificación. *REDVET*, 16(01), 1-14.
- [7] Callejas Hernandez, J., Priero Garcia, F., & Reyes Cruz, V. (2012). Caracterización físicoquímica de un lactosuero: Potencialidad de recuperación de fósforo. *SciELO*, 22(1), 11-18.
- [8] Carrillo, J. (2002). Tratamiento y Reutilización del Suero de Leche. *Mundo Lácteo y Cárnico*, 22-35.
- [9] Centro de PML de Nicaragua. (2001). *Manual de Buenas Prácticas Operativas de la Industria Láctea*. *SciELO*, 40-78.
- [10] Centro Panamericano de Estudios Superiores. (28 de agosto de 2017). *yosoycepes*. Obtenido de Tesis Doctorales en Red: [http://www.yosoycepes.com/blog/index.php/12-blog/articulos/33-tesisdoctorales-en-red-tdr-repositorio-de-tesis-doctorales-de-diferentesuniversidades#:~:text=TDR%20\(Tesis%20Doctorales%20en%20Red,Ca](http://www.yosoycepes.com/blog/index.php/12-blog/articulos/33-tesisdoctorales-en-red-tdr-repositorio-de-tesis-doctorales-de-diferentesuniversidades#:~:text=TDR%20(Tesis%20Doctorales%20en%20Red,Ca)
- [11] Vasques Peralta, C. (2011). Estudio Hidrológico de la Región Cajamarca. Gobierno Regional de Cajamarca.
- [12] Sauquillo, A. (1994) *La contaminación de las aguas subterráneas. Situación en España*. Vol.1, n°3, pp.39.
- [13] Ecofuidos Ingenieros S.A. (2012). *Estudio de calidad de fuentes utilizadas para consumo humano y plan de mitigación por contaminación por uso doméstico y agroquímicos en Apurímac y Cusco*. Organización Panamericana para la Salud. Perú.
- [14] Medina Quispe, A., Yupanqui Mendoza, M. (2014). *Determinación de la calidad del agua del manantial del fundo San Bernardo distrito de Chiguata para consumo humano*. Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa. Perú.
- [15] Bolaños Alfaro, J. D., Cordero Castro, G., & Segura Atalaya G. (2017). *Determinación de nitritos, nitratos, sulfatos y fosfatos en agua potable como indicadores de contaminación ocasionada por el hombre, en dos cantones de Alajuela (Costa Rica)*. *Tecnología en Marcha*. Vol. 30-4. Pág. 15-27.