

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**Escuela Académico Profesional de Ingeniería Geológica**



**TESIS PROFESIONAL**

**EVOLUCIÓN ESPACIAL HIDROGEOQUÍMICA DE LA MICROCUENCA  
PAIGUAL, SUB CUENCA ASUNCIÓN – CAJAMARCA**

**Para optar el título profesional de:**

**INGENIERO GEÓLOGO**

**Presentado por:**

Bach. Darwin Heynner Pérez Briceño

**Asesor:**

Dr. Crispín Zenón Quispe Mamani

**Cajamarca-Perú**

2021

## **Agradecimiento**

A Dios, por darme la vida y a la Virgen María, por cuidarla.

A mi alma máter, la Universidad Nacional de Cajamarca – Escuela Académico Profesional de Ingeniería Geológica, tangible en sus docentes, por haberme formado académicamente.

A mi familia, por el apoyo íntegro en cada momento de mi formación profesional.

A mi asesor Dr. Ing. Crispín Zenón Quispe Mamani por haberme guiado en el desarrollo de la presente tesis.

Al Mg. Ing. Ronald Mayta Rodas, por su amable revisión y atinados comentarios al plan de tesis que contribuyeron exitosamente en la consolidación de la presente investigación.

A la Municipalidad Distrital de Asunción por el apoyo logístico brindado y a los pobladores que brindaron su apoyo desinteresado.

A todas las personas que directa o indirectamente colaboraron de cualquier manera para que éste proyecto se lleve a cabo.

## CONTENIDO

	pág.
<b>Índice de tablas</b>	iv
<b>Índice de figuras</b>	vi
<b>Índice de fotografías</b>	vii
<b>RESUMEN</b>	ix
<b>ABSTRACT</b>	x
<b>CAPÍTULO I</b>	
<b>INTRODUCCIÓN</b>	1
<b>CAPÍTULO II</b>	
<b>MARCO TEÓRICO</b>	4
<b>2.1. Antecedentes Teóricos de la Investigación</b>	4
2.1.1. Antecedentes Internacionales	4
2.1.2. Antecedentes Nacionales	6
2.1.3. Antecedentes Locales	7
<b>2.2. Bases Teóricas</b>	7
2.2.1. El Ciclo Hidrológico	7
2.2.2. El Agua Subterránea	8
2.2.3. Hidrogeoquímica	8
2.2.4. Constituyentes químicos del agua subterránea	10
2.2.5. Parámetros Hidrogeoquímicos	14
2.2.6. Análisis de datos Hidrogeoquímicos	15
2.2.7. Evolución geoquímica de las aguas subterráneas	21
<b>2.3. Definición de Términos Básicos</b>	24
<b>CAPÍTULO III</b>	
<b>MATERIALES Y MÉTODOS</b>	26
<b>3.1. Ubicación y Accesibilidad</b>	26
3.1.1. Ubicación Geográfica	26
3.1.2. Ubicación Política	26
3.1.3. Ubicación Temporal	27
3.1.4. Accesibilidad	27
3.1.5. Clima	27
3.1.6. Vegetación	29
3.1.7. Geomorfología	30
3.1.8. Hidrología	35
3.1.9. Geología Local	40
3.1.10. Geología Estructural	43
<b>3.2. Procedimientos</b>	48
3.2.1. Metodología	48
3.2.2. Definición de variables	49
3.2.3. Técnicas	49
3.2.4. Instrumentos y equipos	50
<b>3.3. Hidrogeología e Hidrogeoquímica</b>	53
3.3.1. Delimitación de la microcuenca	53
3.3.2. Inventario de Manantiales y parámetros fisicoquímicos	54

	pág.
3.3.3. Comportamiento Hidrogeológico	69
<b>3.4. Tratamiento, análisis de datos y presentación de resultados</b>	<b>72</b>
<b>CAPÍTULO IV</b>	
<b>ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS</b>	<b>71</b>
<b>4.1. Balance Iónico</b>	<b>73</b>
<b>4.2. Relaciones entre iones – Índices Hidrogeoquímicos</b>	<b>73</b>
4.2.1. Relación Ca/Mg	73
4.2.2. Relación Cl/HCO <sub>3</sub>	75
4.2.3. Relación SO <sub>4</sub> /Cl	76
4.2.4. Relación SiO <sub>2</sub> /Cl	77
4.2.5. Relación Ca/Cl - Mg/Cl - Na/Cl	78
<b>4.3. Índice de Saturación de Minerales</b>	<b>80</b>
4.3.1. Índice de Saturación de Calcita	80
4.3.2. Índice de Saturación de Aragonito	81
4.3.3. Índice de Saturación de Dolomita	82
4.3.4. Índice de Saturación del Yeso y Anhidrita	83
<b>4.4. Evolución Espacial de la Temperatura</b>	<b>85</b>
<b>4.5. Evolución del Potencia de Hidrógeno</b>	<b>85</b>
<b>4.6. Diagramas Hidrogeoquímicos</b>	<b>86</b>
4.6.1. Diagramas de Stiff	86
4.6.2. Diagrama de Schoeller Berkaloff	89
4.6.3. Diagrama de Piper	91
4.6.4. Diagrama de Gibbs	94
<b>4.7. Diagramas de Wilcox y Reverside para uso del agua</b>	<b>95</b>
<b>4.8. Dureza del agua</b>	<b>97</b>
<b>4.9. Metales Pesados</b>	<b>99</b>
<b>CAPÍTULO V</b>	
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>	<b>98</b>
<b>5.1. Conclusiones</b>	<b>100</b>
<b>5.2. Recomendaciones</b>	<b>100</b>
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>102</b>
<b>ANEXOS</b>	<b>105</b>

## Índice de tablas

	pág.
Tabla 1. Elementos mayores del agua subterránea (Gómez 2009)	10
Tabla 2. Elementos menores del agua subterránea. (Gómez 2009)	10
Tabla 3. Clasificación de aguas subterráneas, según Piper. (GIDAHATARI 2014)	19
Tabla 4. Accesibilidad al distrito de Asunción	27
Tabla 5. Ensayos realizados en laboratorio	52
Tabla 6. Parámetros Geomorfológicos de la microcuenca del río Paigual	53
Tabla 7. (Continuación...) Parámetros Geomorfológicos de la microcuenca	54
Tabla 8. Parámetros fisicoquímicos - Manantial 001	55
Tabla 9. Parámetros fisicoquímicos - Manantial 002	55
Tabla 10. Parámetros fisicoquímicos - Manantial 003	56
Tabla 11. Parámetros fisicoquímicos - Manantial 004	56
Tabla 12. Parámetros fisicoquímicos - Manantial 005	56
Tabla 13. Parámetros fisicoquímicos - Manantial 006	57
Tabla 14. Parámetros fisicoquímicos - Manantial 007	57
Tabla 15. Parámetros fisicoquímicos - Manantial 008	57
Tabla 16. Parámetros fisicoquímicos - Manantial 009	58
Tabla 17. Parámetros fisicoquímicos - Manantial 010	58
Tabla 18. Parámetros fisicoquímicos - Manantial 011	58
Tabla 19. Parámetros fisicoquímicos - Manantial 012	59
Tabla 20. Parámetros fisicoquímicos - Manantial 013	59
Tabla 21. Parámetros fisicoquímicos - Manantial 014	59
Tabla 22. Parámetros fisicoquímicos - Manantial 015	60
Tabla 23. Parámetros fisicoquímicos - Manantial 016	60
Tabla 24. Parámetros fisicoquímicos - Manantial 017	60
Tabla 25. Parámetros fisicoquímicos - Manantial 018	61
Tabla 26. Parámetros fisicoquímicos - Manantial 019	61
Tabla 27. Parámetros fisicoquímicos - Manantial 020	61
Tabla 28. Parámetros fisicoquímicos - Manantial 021	62
Tabla 29. Parámetros fisicoquímicos - Manantial 022	62
Tabla 30. Parámetros fisicoquímicos - Manantial 023	62
Tabla 31. Parámetros fisicoquímicos - Manantial 024	63
Tabla 32. Parámetros fisicoquímicos - Manantial 025	63
Tabla 33. Parámetros fisicoquímicos - Manantial 026	63
Tabla 34. Parámetros fisicoquímicos - Manantial 027	64
Tabla 35. Parámetros fisicoquímicos - Manantial 028	64
Tabla 36. Parámetros fisicoquímicos - Manantial 029	64
Tabla 37. Parámetros fisicoquímicos - Manantial 030	65
Tabla 38. Parámetros fisicoquímicos - Manantial 031	65
Tabla 39. Parámetros fisicoquímicos - Manantial 032	65
Tabla 40. Parámetros fisicoquímicos - Manantial 033	66
Tabla 41. Parámetros fisicoquímicos - Manantial 034	66
Tabla 42. Parámetros fisicoquímicos - Manantial 035	66
Tabla 43. Parámetros fisicoquímicos - Manantial 036	67
Tabla 44. Parámetros fisicoquímicos - Manantial 037	67
Tabla 45. Parámetros fisicoquímicos - Manantial 038	67
Tabla 46. Parámetros fisicoquímicos - Manantial 039	68
Tabla 47. Parámetros fisicoquímicos - Manantial 040	68
Tabla 48. Parámetros fisicoquímicos - Manantial 041	68

Tabla 49. Parámetros fisicoquímicos - Manantial 042 .....	69
Tabla 50. Características hidrogeológicas de la microcuenca. (Peña et al. 2015) .....	69
Tabla 51. Balance Iónico de las muestras enviadas a laboratorio .....	73
Tabla 52. Tipos de familias hidrogeoquímicas de la microcuenca Paigual .....	94
Tabla 54. Concentración de metales pesados (ppm) en la microcuenca Paigual .....	99

## Índice de figuras

	pág.
Figura 1. Esquema del Ciclo Hidrológico. (FCIHS 2011)	8
Figura 2. Ejemplo de un diagrama de Stiff. (GIDAHATARI 2013)	16
Figura 3. Diagramas de Stiff. (Sánchez 2012)	17
Figura 4. Ejemplo de un diagrama de Piper. (San Román 2012)	18
Figura 5. Representación de valores de cationes mayoritarios. (San Román 2012)	18
Figura 6. Ejemplo de la proyección. (Sánchez 2012)	18
Figura 7. Clasificación de aguas subterráneas - Piper. (GIDAHATARI 2014)	19
Figura 8. Escala de punto - diagrama de Piper. (GIDAHATARI 2013)	19
Figura 9. Diagrama de Gibbs. (Árcega 2010)	20
Figura 10. Diagrama de Schoeller-Berkaloff. (GIDAHATARI 2013)	20
Figura 11. Secuencia de Chevotareb. (Sánchez 2012)	22
Figura 12. Tipos de flujo en un acuífero. (Sánchez 2012)	23
Figura 13. Ubicación Política de la microcuenca del río Paigual	26
Figura 14. Precipitaciones medias (Julio 2011- Junio 2017). (SENAMHI 2017)	28
Figura 15. Temperatura media anual (Julio 2011 - Junio 2017). (SENAMHI 2017)	29
Figura 16. Relación Iónica Ca/Mg	74
Figura 17. Relación Iónica Cl/HCO <sub>3</sub>	75
Figura 18. Relación SO <sub>4</sub> /Cl <sup>-</sup> .	76
Figura 19. Relación SiO <sub>2</sub> /Cl.	77
Figura 20. Evolución espacial de los cationes principales	79
Figura 21. Índice de saturación de calcita en la microcuenca Paigual	80
Figura 22. Índice de saturación del aragonito en la microcuenca Paigual	81
Figura 23. Índice de saturación de dolomita en la microcuenca Paigual	82
Figura 24. Índice de saturación del yeso en la microcuenca	83
Figura 25. Índice de saturación de la anhidrita en la microcuenca Paigual	84
Figura 26. Diagramas de Stiff - zona alta de la microcuenca	87
Figura 27. Diagramas de Stiff - zona media de la microcuenca	88
Figura 28. Diagrama de Stiff - zona baja.	89
Figura 29. Diagrama de Schoeller - Berkaloff de la microcuenca Paigual	90
Figura 30. Diagrama de Piper para Aniones (a) y cationes (b), de la microcuenca	92
Figura 31. Diagrama de Piper de la microcuenca Paigual	93
Figura 32. Diagrama de Gibbs de la microcuenca Paigual	95
Figura 33. Diagrama de Wilcox para uso de agua en irrigación	96
Figura 34. Diagrama de Riverside para uso de agua en irrigación.	97
Figura 35. Diagrama de relación de la dureza con el calcio (a) y el magnesio (b)	98

## Índice de fotografías

	pág.
Fotografía 1. Desvío a la carretera a Asunción	27
Fotografía 2. Estación Climatológica Ordinaria - Asunción del SENAMHI	28
Fotografía 3. Eucaliptos en la parte alta de la microcuenca <b>¡Error! Marcador no definido.</b>	<b>no</b>
Fotografía 4. Vista panorámica - morfología de la cordillera de Los Andes	30
Fotografía 5. Valle en forma de V, por donde transcurre el río Paigual	30
Fotografía 6. Piedemonte andino en la microcuenca del río Paigual	31
Fotografía 7. Colinas altas en la microcuenca del río Paigual	32
Fotografía 8. Colinas medianas en la microcuenca	333
Fotografía 9. Colinas bajas en la microcuenca	33
Fotografía 10. Terraza formada en márgenes del río Alcaparosa	344
Fotografía 11. Escarpe en la zona alta de la microcuenca	355
Fotografía 12. Afloramientos de agua presentes en la parte alta de la microcuenca	35
Fotografía 13. Quebrada La Collpa ubicada en el caserío de Sapalí.	366
Fotografía 14. Río Alcapa Rosa	377
Fotografía 15. Quebrada Tendido.	377
Fotografía 16. Quebrada Chavacano.	388
Fotografía 17. Quebrada Sapalí	388
Fotografía 18. Quebrada El Chorro	399
Fotografía 19. Quebrada Rinconada.	399
Fotografía 20. Formación Farrat.	40
Fotografía 21. Formación Inca.	41
Fotografía 22. Formación Yumagual.	422
Fotografía 23. Afloramiento Grupo Quilquiñan - Formación Mujarrun.	422
Fotografía 24. Formación Cajamarca.	433
Fotografía 25. Geología local de la microcuenca	433
Fotografía 26. Afloramiento de la formación Farrat.	444
Fotografía 27. Flanco suroeste del anticlinal presente en la microcuenca.	444
Fotografía 28. Estación estructural 1.	455
Fotografía 29. Estación estructural 2.	455
Fotografía 30. Estación estructural 3.	466
Fotografía 31. Estación estructural 5.	476
Fotografía 32. Estación estructural 7.	477
Fotografía 33. Estación estructural 8.	488
Fotografía 34. Recolección de muestras para laboratorio.	5050
Fotografía 35. Materiales utilizados en la etapa de recolección de muestras.	51
Fotografía 36. Manantial 001.	555
Fotografía 37. Manantial 002.	555
Fotografía 38. Manantial 003.	566
Fotografía 39. Manantial 004.	566
Fotografía 40. Manantial 005.	566
Fotografía 41. Manantial 006.	577
Fotografía 42. Manantial 007.	577
Fotografía 43. Manantial 008.	577
Fotografía 44. Manantial 009.	588
Fotografía 45. Manantial 010.	588
Fotografía 46. Manantial 011.	588
Fotografía 47. Manantial 012.	599

Fotografía 48. Manantial 13.	599
Fotografía 49. Manantial 14.	599
Fotografía 50. Manantial 015.	6060
Fotografía 51. Manantial 016.	60
Fotografía 52. Manantial 017.	60
Fotografía 53. Manantial 018.	61
Fotografía 54. Manantial 019.	61
Fotografía 55. Manantial 020.	61
Fotografía 56. Manantial 021.	62
Fotografía 57. Manantial 022.	62
Fotografía 58. Manantial 023.	62
Fotografía 59. Manantial 024.	63
Fotografía 60. Manantial 025.	63
Fotografía 61. Manantial 026.	63
Fotografía 62. Manantial 027.	64
Fotografía 63. Manantial 028.	64
Fotografía 64. Manantial 029.	64
Fotografía 65. Manantial 030.	65
Fotografía 66. Manantial 031.	65
Fotografía 67. Manantial 032.	65
Fotografía 68. Manantial 033.	66
Fotografía 69. Manantial 034.	66
Fotografía 70. Manantial 035.	66
Fotografía 71. Manantial 036.	67
Fotografía 72. Manantial 037.	67
Fotografía 73. Manantial 038.	67
Fotografía 74. Manantial 039.	68
Fotografía 75. Manantial 040.	68
Fotografía 76. Manantial 041.	68
Fotografía 77. Manantial 042.	69

## RESUMEN

En el Perú se vienen desarrollando estudios de cuencas hidrográficas, enfatizando la hidrogeología y las propiedades hidrogeoquímicas; sin embargo, son estudios a nivel macro y los datos, aun siendo representativos, necesitan ser ampliados a escala local. En este contexto surge la iniciativa de un proyecto en hidrogeoquímica de la microcuenca del río Paigual, ubicada en el distrito de Asunción – Cajamarca; ésta investigación tiene como objetivo analizar e interpretar los resultados de muestras de agua subterránea y superficial (de control) mediante diagramas para determinar los procesos hidrogeoquímicos que se desarrollan en la zona. Para llegar a dicho objetivo se compiló la información hidrogeológica existente, se han inventariado manantiales y se midieron in situ parámetros de campo con un equipo multiparámetro lector de pH, temperatura, conductividad eléctrica y sólidos totales disueltos; también se enviaron ocho muestras al laboratorio para analizar sus aniones y cationes principales, además de 36 elementos traza. Las unidades hidrogeológicas de la microcuenca son: acuífero fisurado sedimentario, acuitardo sedimentario y acuitardo intrusivo. Las relaciones iónicas y el pH muestran que existen procesos de disolución predominante en la caverna San Antonio y en la quebrada El Chorro. Los índices de saturación mineral indican que existe mayor actividad de disolución de carbonatos en la zona alta de la microcuenca que mengüa hasta la zona baja. Se concluye que las familias hidrogeoquímicas corresponden a aguas bicarbonatadas-sódicas y bicarbonatadas-sulfatadas, siendo la interacción del agua con las rocas el mecanismo predominante en la composición química de las aguas subterráneas.

Palabras Clave: hidrogeoquímica, iones mayores, diagramas hidrogeoquímicos, índices de saturación mineral, interacción agua-roca.

## ABSTRACT

In Peru, watershed studies are being carried out, emphasizing hydrogeology and hydrogeochemical properties; however, they are macro-level studies and the data, although representative, need to be expanded at the local level. In this context, the initiative of a hydrogeochemistry project of the Paigual river microbasin, located in the district of Asunción - Cajamarca; This research aims to analyze and interpret the results of groundwater and surface (control) samples by means of diagrams to determine the hydrogeochemical processes that take place in the area. In order to reach this objective, the existing hydrogeological information was compiled, springs were inventoried and field parameters were measured in situ with a multiparameter reader for pH, temperature, electrical conductivity and total dissolved solids; Eight samples were also sent to the laboratory to analyze their main anions and cations, in addition to 36 trace elements. The hydrogeological units of the micro-basin are: sedimentary fissured aquifer, sedimentary aquitard and intrusive aquitard. Ionic relations and pH show that there are predominant dissolution processes in the San Antonio cavern and El Chorro stream. The mineral saturation indices indicate that there is a greater dissolution activity of carbonates in the upper zone of the micro-basin that diminishes to the low zone. It is concluded that the hydrogeochemical families correspond to bicarbonated-sodium and bicarbonated-sulfated waters, being the water with the rocks interaction the predominant mechanism in the chemical composition of groundwater.

Key words: hydrogeochemistry, major ions, hydrogeochemical diagrams, mineral saturation indexes, rocks domain.

## **CAPÍTULO I**

### **INTRODUCCIÓN**

La hidrogeoquímica es una rama de la geoquímica que se ocupa del comportamiento de elementos y compuestos químicos en la hidrosfera, abarcando los procesos geológicos y las leyes fisicoquímicas que rigen a éstos. En el Perú desde hace algunos años se vienen desarrollando estudios que buscan profundizar en el estudio de las cuencas hidrográficas, caracterizando el comportamiento hidrológico, hidrogeológico y analizando las propiedades hidrogeoquímicas de las cuencas en todo el Perú.

Como producto de estos estudios existen diversas publicaciones por parte de instituciones gubernamentales como el INGEMMET y el Gobierno Regional de Cajamarca. Dichas publicaciones ofrecen un valioso aporte al conocimiento científico, sin embargo, debido a la gran magnitud de área de estudio que abarcan, los datos mostrados, aun siendo representativos, necesitan ser ampliados para brindar una mejor interpretación a escala local (microcuencas).

Dentro de la cuenca del río Jequetepeque, la subcuenca Asunción es una de las más grandes que están ubicadas en la cabecera de cuenca, junto con la subcuenca San Miguel; los datos hidrogeoquímicos que se tienen de la subcuenca Asunción no abarcan todo el distrito, especialmente en la microcuenca del río Paigual. Entonces éste vacío presente en la información de dicha microcuenca induce a la siguiente interrogante: ¿Cuáles son las características hidrogeoquímicas de la microcuenca del río Paigual, Asunción - Cajamarca?

Es en este contexto que surge la iniciativa de éste proyecto, que tiene como objetivo central caracterizar hidrogeoquímicamente la microcuenca del río Paigual, ubicada en el distrito de Asunción – Cajamarca.

Para llegar a dicho objetivo es necesario conocer la hidrogeología del área de estudio en base a estudios previos y a un inventario de manantiales o cartografiado hidrogeológico, realizar análisis de laboratorio para determinar las propiedades fisicoquímicas de las

aguas y finalmente con los resultados obtenidos elaborar diagramas de Piper, Stiff y Gibbs, para graficar las concentraciones de iones mayores, agruparlos en familias hidrogeoquímicas y establecer posibles procesos químicos que se están desarrollando en la microcuenca.

Debido a la información científica que se tiene, se establece como hipótesis que la hidrogeoquímica de las aguas de la microcuenca del río Paigual pertenecen a la familia de aguas bicarbonatadas, por la litología de la zona (calizas) y debido a que esta familia corresponde a aguas cuya composición química se ve influenciada principalmente por el agua de lluvia, esto debido a que la microcuenca se ubica en la cabecera de la subcuenca Asunción (correspondiendo a una zona de recarga). El uso de las aguas es posible en actividades económicas como la agricultura y ganadería.

En resumen, la investigación se centra básicamente en las características hidrogeoquímicas de la microcuenca del río Paigual, estudiando variables fisicoquímicas como pH, temperatura, alcalinidad total, conductividad, dureza, sólidos totales disueltos, cationes y aniones mayoritarios, también se estudia la geología e hidrogeología de la zona para un análisis correcto de los datos obtenidos en laboratorio.

El desarrollo de una investigación hidrogeoquímica en esta área de estudio es de importancia para poder generar conocimiento confiable de la hidrogeoquímica de ésta microcuenca, además de aumentar datos a nivel macro que permitan estudios más detallados y sirvan como línea base para cualquier otro estudio. Es importante también la justificación de éste proyecto en el contexto social, debido a que la información obtenida será una importante contribución a la comunidad que habita en dicha área, debido a que las principales actividades económicas que se desarrollan son la agricultura y ganadería, entonces con los resultados de la presente investigación se puede tener certeza del tipo de agua que utilizan para diversos usos, de igual manera pueden sentar bases para proyectos de desarrollo de infraestructura hidráulica como captaciones de agua potable, canales de riego, pozos de agua, entre otros.

La presente investigación, consta de cinco capítulos, el primero dirigido al contexto de la investigación; el segundo muestra antecedentes teóricos de la investigación: internacionales, nacionales y locales, define también las bases teóricas con las que se desarrolla ésta investigación; presentando subcapítulos que abarcan las principales teorías y conocimiento hidrogeoquímico: el ciclo hidrológico, constituyentes químicos del agua

subterránea, parámetros fisicoquímicos, iones mayoritarios e interpretación hidrogeoquímica a través de diferentes tipos de diagramas.

El tercer capítulo muestra la ubicación del proyecto, la metodología empleada para la investigación y la aplicación de las bases teóricas antes mencionadas en ésta microcuenca.

Los dos últimos capítulos están abocados al análisis de los resultados obtenidos, a las conclusiones y recomendaciones de la presenta investigación.

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1. Antecedentes Teóricos de la Investigación**

##### 2.1.1. Antecedentes Internacionales

Sefie et al. (2015) estudiaron la geoquímica de las aguas subterráneas de la cuenca del Bajo Kelantan – Malasia; dicha cuenca fue evaluada basada en las características de los iones mayores para determinar su idoneidad para ser bebida, uso doméstico e irrigación. Las muestras fueron obtenidas de acuíferos superficiales, intermedios y profundos, y fueron colectadas y analizadas para pH, conductividad eléctrica, sólidos totales disueltos (TDS), Ca, Mg, Na K, Cl, SO<sub>4</sub>, CO<sub>3</sub>, HCO<sub>3</sub>, NO<sub>3</sub>, Fe y Mn. Los resultados muestran que las aguas subterráneas superficiales están dominadas por Ca-HO<sub>3</sub> y Na-HO<sub>3</sub> mientras que las intermedias están dominadas por Na-Cl y Na-HNO<sub>3</sub>, y los acuíferos profundos por facies de agua Na-HNO<sub>3</sub>. El ratio de adsorción del sodio (SAR) y el peligro de salinidad indican que el agua subterránea de acuíferos superficiales y profundos es adecuada para propósitos de irrigación, y parte del acuífero intermedio no es adecuada para la irrigación de cultivos. El agua subterránea de acuíferos superficiales y profundos está considerada como agua fresca y adecuada para ser bebida y utilizada domésticamente y en irrigación agrícola mientras que el agua subterránea del acuífero intermedio es ligeramente salobre particularmente en áreas cercanas a la zona costera.

Nagaraju et al. (2016) evaluaron la calidad de las aguas subterráneas en la zona de Raipur del distrito de Nellore – India, con el objetivo de determinar la hidrogeoquímica de la zona. Se analizaron los parámetros fisicoquímicos, tales como pH, conductividad eléctrica, sólidos totales disueltos, sílice, calcio, magnesio, sodio, potasio, bicarbonato, carbonato, sulfato, y cloruro, de un total de 30 muestras de aguas subterráneas para caracterizar la calidad del agua subterránea y su idoneidad para diferentes usos.

Los resultados de los análisis, tales como relación de absorción de sodio (SAR), porcentaje de sodio (Na%), salinidad, carbonato de sodio residual (RSC), el índice de

permeabilidad (PI), y los diagramas de Gibbs indican que la química de las aguas subterráneas de la zona de estudio está controlada principalmente por la interacción roca-agua.

Dushiyanthan et al. (2014) determinaron la calidad del agua subterránea en las partes orientales de la cuenca baja de Vellar, distrito de Cuddalore - India. Se recogieron diez muestras de agua, fueron analizadas para parámetros fisicoquímicos con fines de comprender la hidrogeoquímica del área. Los resultados fueron interpretados con varios diagramas geoquímicos: trilineal de Piper, clasificación USSL y el diagrama de Gibbs. El rango de concentración química de cationes: Ca, Mg, Na, K y aniones:  $\text{HCO}_3^-$ , Cl, y  $\text{SO}_4^{2-}$  son de 25,0 a 90,0 mg/L, 20,6 a 117,5 mg/L, 11,9 a 95,0 mg/L, 1-130 mg/L y de 25 a 197 mg/L, desde 111,0 hasta 275,0 mg/L, 0.13 a 0.78mg/L respectivamente. La interpretación gráfica del diagrama de Piper muestra facies Ca, Na, seguido por Cl,  $\text{SO}_4^{2-}$ , y facies  $\text{HCO}_3^-$ . Los diagramas de Gibbs indican que la hidrogeoquímica está controlada por procesos de interacción agua - roca.

Montero et al. (2011) captaron 16 muestras de aguas subterráneas, entre los sectores Barbacoas en el estado Aragua y Cachamas en el estado Guárico, Venezuela, con el propósito de estudiarlas hidrogeoquímicamente e identificar las facies presentes en ambos sectores, así como conocer los procesos que controlan la composición química de esta agua. Para ello, durante la fase de campo, fueron medidos los parámetros fisicoquímicos pH, Eh, conductividad, temperatura y la alcalinidad; mientras que en el laboratorio, se determinaron las especies químicas  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ , Cl,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  y  $\text{SiO}_2$ . En los resultados obtenidos se identificaron dos facies hidrogeoquímicas:  $\text{Mg}^{2+}$ -  $\text{HCO}_3^-$ , ubicadas en la Formación Mesa; y  $\text{Mg}^{2+}$ -  $\text{SO}_4^{2-}$ , captadas en áreas donde geológicamente predomina la Formación Roblecito. Los procesos asociados a la facies  $\text{Mg}^{2+}$ - $\text{SO}_4^{2-}$ , corresponden a la hidrólisis de silicatos, aluminosilicatos y carbonatos y para la facies  $\text{Mg}^{2+}$ - $\text{HCO}_3^-$ , domina la disolución de cuarzo. En ambos sectores ocurre el intercambio catiónico. Mientras que, las altas concentraciones de  $\text{NO}_3^-$  detectadas es derivada de las actividades agrícolas de la zona.

Sánchez et al. (2015) estudiaron los procesos que controlan la evolución geoquímica de las aguas subterráneas en la zona sur del estado de Quintana Roo-México, muestrearon 53 pozos de abastecimiento con una profundidad promedio de 29 m.

Los parámetros físicos medidos en campo fueron pH, temperatura, conductividad eléctrica y sólidos disueltos totales. Los constituyentes químicos analizados incluyeron los cationes:  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$  y los aniones:  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$  y  $\text{NO}_3^-$ . Se concluyó que el área de estudio se caracteriza por presentar una heterogeneidad en cuanto a sus características hidrogeológicas (karst), con cambios litológicos y geológico-estructurales que dan lugar a zonas acuíferas independientes de los acuíferos de extensión regional. De acuerdo con el análisis geoquímico a través del diagrama de Piper se observaron cuatro tipos de aguas predominantes en el área de estudio: cálcica-bicarbonatada ( $\text{Ca-HCO}_3$ ), mixta cálcica magnésica clorurada (mixta  $\text{Ca-Mg-Cl}$ ), cálcica sulfatada ( $\text{Ca-SO}_4$ ) y sódica clorurada ( $\text{Na-Cl}$ ).

Árcega (2010) realizó una investigación que incluyó estudios en hidrología, hidrogeología e hidrogeoquímica, donde mediante diagramas de Piper, Stiff y Gibbs concluye que las agua analizadas de manantiales se encuentran dentro de un intervalo de clasificación de aguas bicarbonatas – sulfatadas.

Núñez et al. (2015) caracterizaron hidrogeoquímicamente y determinación de la calidad del agua del acuífero Jerez - México, para ello tomaron de 29 muestras de agua subterránea, de las cuales determinaron las concentraciones de aniones y cationes mayores y elementos traza. Mediante diagramas de Piper y Stiff, definieron tres grupos de agua: bicarbonatada sódica, bicarbonatada mixta y bicarbonatada cálcica. La primera tiene el mayor tiempo de residencia relativa en el acuífero, circula a través del medio fracturado, compuesto por rocas volcanoclásticas, además considerando que tiene los mayores promedios de F y temperatura del sistema, infirieron la presencia de un sistema de flujo regional; la segunda de las familias tiene temperaturas moderadas, circula por el medio granular y la relacionaron con sistemas de flujo intermedio; por último, la familia bicarbonatada cálcica posee las menores concentraciones de Cl, la relacionaron con sistemas de flujo local, circula por el medio granular y es la de menor tiempo de residencia relativa del acuífero. En cuanto a la calidad del agua, está dentro de los límites permisible según normas de dicho país.

#### 2.1.2. Antecedentes Nacionales

Rojas (2010) muestra un estudio de los recursos hídricos a nivel de todo el Perú, brinda información de las cuencas existentes en el país, la disponibilidad de agua superficial y subterránea, así como los proyectos de infraestructura hídrica desarrollados en el país.

### 2.1.3. Antecedentes Locales

Tello (2010) desarrolló un plan en el que se determinó las características hídricas, geomorfológicas, hidrogeológicas y edafológicas de la zona de influencia (cuencas de los ríos Mashcón, Chonta y Cajamarquino y se determinaron medidas estructurales para el uso sustentable de su potencial hídrico con énfasis en el afianzamiento hídrico de las subcuencas Azufre, Paccha y río Grande.

Fluquer et al. (2015) muestran el resultado de estudios hidrogeológicos desarrollados en los departamentos de Cajamarca, La Libertad y Lambayeque, siendo sus unidades de análisis la cuenca de los ríos Jequetepeque y Chamán, en dicho estudio se caracteriza hidrogeológicamente dichas cuencas y se brindan datos hidrogeoquímicos de puntos muestreados. En la subcuenca Asunción se muestrearon 16 puntos de agua superficial y subterránea, donde según la clasificación presentada se concluye que la mayoría de muestras pertenecen a aguas cálcicas bicarbonatadas - magnésica sulfatada; existiendo también tres muestras con clasificación sulfatada cálcica, dos con clasificación clorurada cálcica, una muestra con clasificación clorurada magnésica y una con clasificación bicarbonatada sódica.

Burga (2013) realizó una investigación hidrogeológica en la microcuenca del río Utco-Celendín, mediante análisis fisicoquímicos, determinando que las muestras de agua analizadas se encuentran con valores muy por debajo de los límites máximos permisibles establecidos por las normas ambiental del país.

## 2.2. Bases Teóricas

### 2.2.1. El Ciclo Hidrológico

El ciclo hidrológico es un modelo conceptual de la dinámica del agua en los diferentes ambientes terrestres (atmósfera, biósfera, litósfera e hidrósfera). Fue descubierto en el siglo XVII por los científicos franceses Perrault y Mariotte (Werner 1996) gracias a los estudios que realizaron en el río Sena. Dicho ciclo se basa en el equilibrio donde la evaporación es igual a la precipitación.

El agua sufre cambios en sus propiedades físicas mientras se lleva a cabo éste ciclo (evaporación, condensación, precipitación) y al recorrer diversos ambientes del planeta, enumeradas anteriormente, es fuente de estudio para diversas disciplinas.

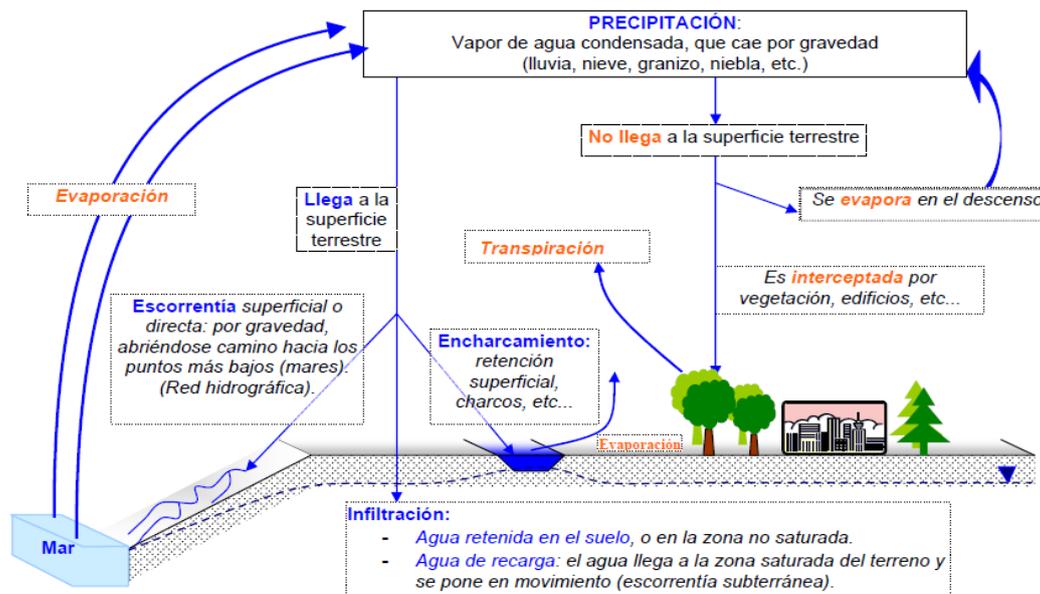


Figura 1. Esquema del Ciclo Hidrológico. (FCIHS, 2011)

### 2.2.2. El Agua Subterránea

Dentro del ciclo hidrológico, uno de sus componentes es el agua subterránea, Werner (1996) brinda una definición concreta e idónea de agua subterránea, la definiéndola como «toda el agua debajo de la superficie de la tierra que actualmente participa en el ciclo hidrológico o que está almacenada de tal modo que puede entrar nuevamente en éste ciclo».

#### 2.2.2.1. Acuífero

Los acuíferos, son un tipo de clasificación de las rocas según su comportamiento hidrogeológico. Se puede definir un acuífero como un cuerpo de agua subterráneo que tiene la capacidad de suministrar cantidades considerables de agua (relativo según el área donde está ubicado el acuífero), en cuanto a su composición, pueden variar desde rocas ígneas fracturadas, calizas karstificadas, areniscas porosas, entre otras. Gómez (2009) menciona que los acuíferos son normalmente uniformes en su composición y su geometría es tabular; sin embargo, las condiciones geológicas especiales y únicas de cada área definen un sinnúmero de condiciones hidrogeológicas posibles.

### 2.2.3. Hidrogeoquímica

La hidrogeoquímica al estudiar la composición química de las aguas subterráneas, se ocupa de la calidad química de éstas, dando también hipótesis acerca del origen y evolución de éstas.

Comprender una determinada composición química de una muestra de aguas subterráneas, implica tener conocimientos acerca del ciclo hidrológico del agua, la interacción física del agua con el suelo o una determinada litología cuando se producen las precipitaciones, la química que en dicha interacción se verá alterada significativamente en distancias relativamente cortas hasta alcanzar un acuífero donde se alcanzará una determinada estabilidad química, así como los diferentes contaminantes producto de actividad antrópica que alterarán en mayor o menor grado los parámetros fisicoquímicos que se obtienen como resultado final.

Además, la química del agua, no solamente está determinada por un conjunto de sustancias inorgánicas (aniones y cationes) incorporados a ella a través de proceso naturales; sino que también está el componente orgánico, que, aunque normalmente representan porcentajes menores con respecto a los anteriores, son de significativa importancia en la química del agua.

Entonces la composición de un agua puede contemplarse desde diferentes puntos de vista: fisicoquímico, bacteriológico, isotópico, entre otros.

Los factores que condicionan la composición del agua subterránea natural son múltiples, entre ellos cabe citar: naturaleza y disposición espacial de los materiales con los que el agua entra en contacto, superficie y duración del contacto, temperatura, presión, existencia de gases, grado de saturación del agua en relación con las distintas sustancias incorporables. En consecuencia, la composición del agua subterránea natural debe contemplarse con la perspectiva de su posible variación espacio-temporal, una composición química concreta por lo tanto no queda completamente definida si no se refiere a un lugar y momento determinado Rigola, citado por Castillo et al. (2009).

Aunque el número de constituyentes y propiedades del agua subterránea natural que pueden llegar a analizarse corresponde a cada elemento de la tabla periódica, además de cada compuesto existente, normalmente, en estudios convencionales, sólo se determinan entre 10 y 20 parámetros fundamentales (entre propiedades fisicoquímicas y análisis de iones mayoritarios).

Si bien la composición media del agua subterránea suele considerarse invariable en un acuífero o porción del mismo, no debe olvidarse que las interacciones agua-medio, que determinan dicha composición, son procesos dinámicos que se desarrollan a ritmo diverso tanto en el espacio como en el tiempo.

#### 2.2.4. Constituyentes químicos del agua subterránea

En el agua subterránea natural la mayoría de las sustancias disueltas se encuentran en estado iónico. A pesar de la gran variabilidad de los elementos presentes en el agua subterránea y de la de sus concentraciones, estos han sido clasificados completando las clasificaciones de Davis y M. De Wiest (2009) y Gómez (2009); con otras, brindadas por diferentes autores en los estudios previos de la presente tesis.

Constituyentes mayoritarios o fundamentales:

Aniones:  $\text{CO}_3^{2-}$  (carbonatos),  $\text{SO}_4^{2-}$  (sulfatos),  $\text{Cl}^-$  (cloruros) y  $\text{NO}_3^-$  (nitratos).

Cationes:  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ .

Otros:  $\text{CO}_2$ ,  $\text{O}_2$ ,  $\text{SiO}_4\text{H}_4$ , o  $\text{SiO}_2$ .

Constituyentes minoritarios o secundarios:

Cationes. Mn, Fe, Li, Sr, Zn.

Constituyentes traza:  $\text{F}^-$ , S, SH, Br, NO,  $\text{PO}_3$ , Al, Ti, Co, Cu, Pb, Ni, Cr, etc.

En condiciones particulares un constituyente minoritario puede alcanzar rangos de concentración que permitan incluirlo dentro de los mayoritarios. En un agua natural dulce estos constituyentes aparecen por lo general en forma iónica (sales casi totalmente disociadas) con menor frecuencia se presentan en forma molecular parcialmente disociadas o como iones complejos de sustancias orgánicas o inorgánicas.

Tabla 1. Elementos mayores del agua subterránea (Gómez, 2009)

Aniones	Cationes
Cloruro ( $\text{Cl}^-$ )	Sodio ( $\text{Na}^+$ )
Sulfato ( $\text{SO}_4^{2-}$ )	Calcio ( $\text{Ca}^{+2}$ )
Bicarbonato ( $\text{HCO}_3^-$ )	Magnesio ( $\text{Mg}^{+2}$ )
Nitratos ( $\text{NO}_3^-$ )	Potasio ( $\text{K}^+$ )

Tabla 2. Elementos menores del agua subterránea. (Gómez, 2009)

Aniones	Cationes
Flúor ( $\text{F}^-$ )	Manganeso ( $\text{Mn}^{+2}$ )
Azufre ( $\text{S}^{-2}$ )	Hierro ( $\text{Fe}^{+2}$ )

Bromo (Br <sup>-</sup> )	Estroncio (Sr <sup>+2</sup> )
Iodo (I <sup>-</sup> )	Zinc (Zn <sup>+2</sup> )
Nitratitos (NO <sup>-2</sup> )	Litio (Li <sup>+</sup> )

#### 2.2.4.1. *Cationes Mayoritarios*

##### Calcio (Ca<sup>2+</sup>)

Suele ser el catión mayoritario en las aguas subterráneas debido a su abundancia, su concentración en el agua subterráneas está controlada por procesos de precipitación-disolución en un sistema carbonatado-bicarbonatado, también por intercambio catiónico. La concentración de Ca<sup>2+</sup> en un sistema acuífero oscila de 10 a 250 mg/L (Gómez 2009).

##### Magnesio (Mg<sup>2+</sup>)

Puede proceder de la disolución de rocas carbonatada, evaporitas, silicatos ferromagnesianos alterados o de agua marina. El proceso de intercambio iónico influye en su concentración en el agua subterránea debido a que el ion magnesio es generalmente retenido por el ion calcio. Su concentración en aguas subterráneas no suele sobrepasar los 40 mg/L, pero en terrenos calcáreos puede alcanzar valores mayores a 100 mg/L y en ambientes evaporíticos mayores a 1000 mg/L según (Castillo et al. 2009).

##### Sodio (Na<sup>+</sup>)

Proviene de la meteorización de silicatos y disolución de rocas sedimentarias, principalmente sales muy solubles por lo que tienden a permanecer disueltas en el agua, Árcega Santillán (2010). Los procesos de intercambio catiónico son los principales en los que intervienen al ser adsorbidos por arcillas.

##### Potasio (K<sup>+</sup>)

Proviene de la meteorización de feldespatos y tiende a ser fijado a arcillas y a ser adsorbido a minerales con alta capacidad de intercambio iónico, no suele superar los 20 mg/L en aguas subterráneas según (Montero et al. 2011).

#### 2.2.4.2. *Aniones Mayoritarios*

##### Bicarbonato (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>)

Deriva de la disolución de calizas, dolomitas y  $\text{CO}_2$  en el agua. En las aguas subterráneas el ion bicarbonato suele variar entre 50 y 400 mg/L pero puede llegar a alcanzar valores de hasta 800 mg/L (Castillo et al. 2009).

#### Cloruro ( $\text{Cl}^-$ )

Generalmente la mayoría de las rocas presentan concentraciones bajas de cloruros, son sales solubles y pasan rápidamente a fases acuosas pudiendo alcanzar concentraciones altas de cloruro. El ion cloruro no forma sales de baja solubilidad, no se oxida ni se reduce, no es absorbido significativamente y tampoco forma parte de procesos bioquímicos en aguas naturales por lo que, se considera un trazador. Según Gómez (2009) su concentración en el agua subterránea no suele sobre pasar los 150 mg/L y cuando llega a alcanzar valores superiores a los 300 mg/L produce un sabor salado al agua.

#### Sulfato ( $\text{SO}_4^{2-}$ )

La disolución de yeso y anhidrita aporta la mayor cantidad de este ion al agua subterránea. Aunque también puede proceder de la oxidación de sulfuros y de la descomposición de materia orgánica. Suele formar iones complejos con sodio y calcio. Su concentración en aguas subterráneas varía entre 2 y 150 mg/L (Sánchez 2012).

#### Nitrato ( $\text{NO}_3^-$ )

78% del nitrógeno aparece en forma gaseosa en la atmósfera ( $\text{N}_2$ ), en forma oxidada constituye una fracción en suelos y sustancias, en las rocas es un elemento minoritario que se puede encontrar como gas disuelto, combinaciones inorgánicas y combinaciones orgánicas. El nitrógeno puede aparecer en forma de amonio ( $\text{NH}_4^+$ ), nitrito ( $\text{NO}_2^-$ ), y mediante procesos de oxidación transformarse en nitrógeno ( $\text{N}_2$ ) en concentraciones traza y finalmente en nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) la cual es la forma más estable en la que se encuentra en las aguas subterráneas, Pacheco et al. (2002), su concentración varía entre 0.1 y 10 mg/L.

#### Ion Cloruro ( $\text{Cl}^-$ )

Procede de lavado de terrenos marinos, aguas congénitas y fósiles. El agua de lluvia puede ser una fuente importante, especialmente en zonas próximas a la costa.

La concentración de  $\text{Cl}^-$  en el agua de lluvia disminuye rápidamente tierra adentro. Puede proceder también de la meteorización de rocas, aunque su aporte es pequeño, ya que es un elemento escaso en la corteza terrestre, es posible también el aporte del ion cloruro por

rocas evaporitas y por el ataque de ciertos minerales asociados a rocas ígneas y metamórficas.

No forma sales de baja solubilidad, no se oxida ni se reduce en aguas naturales, no es adsorbido significativamente, ni entra a formar parte de procesos bioquímicos, lo que le da un carácter de trazador casi ideal. La concentración de Cl<sup>-</sup> en aguas subterráneas es muy variable, desde menos de 10 mg/l a más de 2000 ó 3000 mg/l. En salmueras naturales, próximas a la saturación de NaCl, puede llegar a casi 200000 mg/l.

#### 2.2.4.3. Balance Iónico

El balance iónico es el cálculo que permite definir la fiabilidad de un análisis químico. En todo análisis debe cumplirse que la suma de equivalentes de los cationes debe ser igual a la suma de equivalentes de los aniones (Martínez Alfaro et al. 2006), así:

$$Error = \frac{\sum \text{Cationes (meq/L)} - \sum \text{Aniones (meq/L)}}{\sum \text{Cationes} \left(\frac{meq}{L}\right) + \sum \text{Aniones} \left(\frac{meq}{L}\right)} \times 100,$$

esto debido a que teóricamente el agua debe ser eléctricamente neutra. Sen (2015) menciona que el porcentaje de error debe oscilar entre un ±5%, llegando a aceptar como máximo un 10%; Martínez et al. (2006) limita el error al 5% indicando que un error de 0% sería dudoso y explicando que errores superiores al 5% se deben a la presencia de iones minoritarios que no han sido evaluados en un análisis. Fetter (2014) menciona a Fritz (1994) como autor de un estudio que determinó un 3,99% de error promedio en los análisis químicos a través de balance de cargas de iones, adiciona también que la mayoría de errores de medición ocurren en los cationes debido a la alcalinidad (los iones precipitan en los envases donde se recolectan las muestras y no son recuperados totalmente en el laboratorio). Sin embargo Custodio y Llamas (1983) - además de la variable de los componentes minoritarios- introducen a la conductividad eléctrica como un factor capaz de variar el error y lo plasman en los valores modificados de Anderson (1996), así:

<b>Conductividad</b>	<b>uS/cm</b>	<b>50</b>	<b>200</b>	<b>500</b>	<b>2000</b>	<b>&gt;2000</b>
<b>Error admisible</b>	<b>%</b>	30	10	8	4	4

Entonces se puede concluir que de darse el caso en el que un porcentaje sea mayor a 10%, (además de un error en el muestreo o en laboratorio) existen dos posibilidades posibles: que la concentración de elementos denominados minoritarios sea elevada o que la

conductividad eléctrica y por ende los sólidos totales disueltos de una muestra presente valores muy bajos.

## 2.2.5. Parámetros Hidrogeoquímicos

### 2.2.5.1. *Temperatura*

La temperatura del agua es un parámetro físico que varía de acuerdo al gradiente geotérmico ( $\sim 3^\circ\text{C}/100\text{m}$ ), la longitud y profundidad de la cuenca, la zona de recarga y descarga y por lo tanto sirve como indicativo de distintos procesos químicos que puedan ocurrir dentro del sistema. La temperatura a su vez puede afectar procesos de solubilidad y precipitación. En general la temperatura de las aguas subterráneas es estable por lo que valores bajos se asocian a zonas de recarga y valores altos a zona de descarga (Árcega 2010).

### 2.2.5.2. *Potencial de Hidrógeno*

El pH es una medida de la concentración de iones hidrógeno. En general los valores de pH dentro de un acuífero varían entre 6 y 8. El pH es una variable que controla infinidad de procesos entre los que se encuentran procesos de precipitación y disolución, procesos de adsorción, biogeoquímicos y redox. Además, el pH depende también de la temperatura, en una misma muestra a mayor temperatura, el pH será más bajo, es decir se producirá una acidificación (Davis y De Wiest 2009).

### 2.2.5.3. *Oxígeno disuelto*

El oxígeno proviene de la atmósfera o de la generación de oxígeno en el agua por la actividad de microorganismos. La cantidad de oxígeno determina las características oxidantes o reductoras del agua, además es importante en los procesos de solubilidad de minerales y descomposición de materia orgánica (Werner 1996).

### 2.2.5.4. *Potencial Redox*

Es una medida de la actividad de los electrones que determina la disponibilidad de éstos en el agua, permite inferir sobre la distribución de ciertas especies de minerales a lo largo del acuífero y se mide en mV (De la Lanza et al. 1999).

### 2.2.5.5. *Alcalinidad*

La alcalinidad es la capacidad que tiene un agua para neutralizar ácidos. En la mayoría de los sistemas acuíferos son los iones carbonato y bicarbonato los que amortiguan la acidez, por lo que ésta se expresa como  $\text{mgCaCO}_3/\text{L}$ . Los valores más comunes de

alcalinidad dentro de un acuífero varían entre 100 y 300 mgCaCO<sub>3</sub>/L (Davis y De Wiest 2009).

#### 2.2.5.6. *Conductividad eléctrica*

La conductividad eléctrica es una propiedad que tiene el agua para conducir corriente eléctrica dada por la cantidad de sólidos totales disueltos inorgánicos conductores de la electricidad como los cationes (Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Na<sup>+</sup> y K<sup>+</sup>) y aniones (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, Cl<sup>-</sup> y NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) mayores. En aguas subterráneas los valores pueden variar de 100 y 2000 µS/cm.

#### 2.2.5.7. *Sólidos totales disueltos*

Es la suma de los minerales, sales, iones mayoritarios y elementos traza que se encuentran disueltos en el agua. Mide el peso de todas las sustancias disueltas en el agua incluyendo las sustancias volátiles. El origen de los sólidos disueltos puede ser múltiple, orgánico e inorgánico, tanto en aguas superficiales como subterráneas (Árcega 2010).

#### 2.2.5.8. *Dureza*

Se refiere comúnmente al contenido de iones calcio y magnesio disueltos en el agua, los mismos que producen incrustaciones en las tuberías le dan un sabor indeseable al agua potable. La mayoría de los suministros de agua potable tienen un promedio de 250 mg/l de dureza (De la Lanza et al. 1999).

### 2.2.6. Análisis de datos Hidrogeoquímicos

Debido a la gran cantidad de parámetros fisicoquímicos y componentes que pueden ser obtenidos de un análisis de aguas, existen también diversas técnicas de procesamiento de datos hidrogeoquímicos. Dichas técnicas nos permiten clasificar las aguas en diversos grupos, de manera que se brinde una información simple en cuanto a su comprensión, pero también representativa en su composición química.

Las clasificaciones pueden basarse en solamente un parámetro, por ejemplo, la dureza, donde podemos encontrar aguas desde blandas hasta muy duras – según su concentración de CaCO<sub>3</sub>.

Existen también clasificaciones por iones dominantes, donde se interpolan diversos componentes para que a través de gráficas puedan determinarse diversos grupos. En este tipo de clasificaciones se nombra el agua por el ion (anión o catión) que luego de un tratamiento estadístico representa más del 50% de sus sumas respectivas. En caso ningún ion sobrepase el 50%, las aguas toman el nombre de los dos iones más abundantes.

Además, según el objetivo de investigación puede añadirse el nombre de algún ion menor de interés y que presente una concentración anómala alta.

Como se mencionó el manejo y estudio de análisis químicos de aguas puede hacerse simple con el empleo de gráficos o diagramas, siendo éstos herramientas aún más interesantes cuando se trata de relacionar o comparar varios análisis de aguas que corresponde a un área común en distintas estaciones del año o en lugares diferentes, pero en una determinada época del año.

Los diagramas desarrollados con este fin presentan distintas disposiciones: diagramas columnares, triangulares, circulares, poligonales, logarítmicos, semilogarítmicos, etc. Los diagramas representativos que se utilizan en la mayoría de estudios de aguas son: diagramas de Piper, de Stiff, de Gibbs (y sus modificaciones), de Schoeller-Berkaloff.

#### 2.2.5.1. Diagramas de Stiff

Los diagramas de Stiff se realizan para cada muestra analizada y normalmente son representados sobre un mapa, de manera que facilite mostrar la relación entre la distribución geográfica y composición química de cada muestra. Estos diagramas se construyen a partir de cuatro rectas paralelas igualmente espaciadas (el espacio vertical no representa ningún dato o valor, es arbitraria).

Dichas rectas son interceptadas por una recta perpendicular dando así, cuatro semirrectas a la izquierda (campo de cationes), los cationes que se ubican son: Na+K, Ca, Mg y Fe; mientras que las cuatro semirrectas de la derecha corresponden al campo de los aniones (Cl, HCO<sub>3</sub>, SO<sub>4</sub>, CO<sub>3</sub>).

Sobre cada recta se toma un segmento proporcional a los miliequivalentes/litro del ion correspondiente (dichos valores empiezan de 0 en la línea perpendicular y va aumentando en su valor mientras se aleja de la línea antes mencionada). El polígono final que se visualiza en este tipo de diagramas resulta de la unión de las intercepciones del valor de

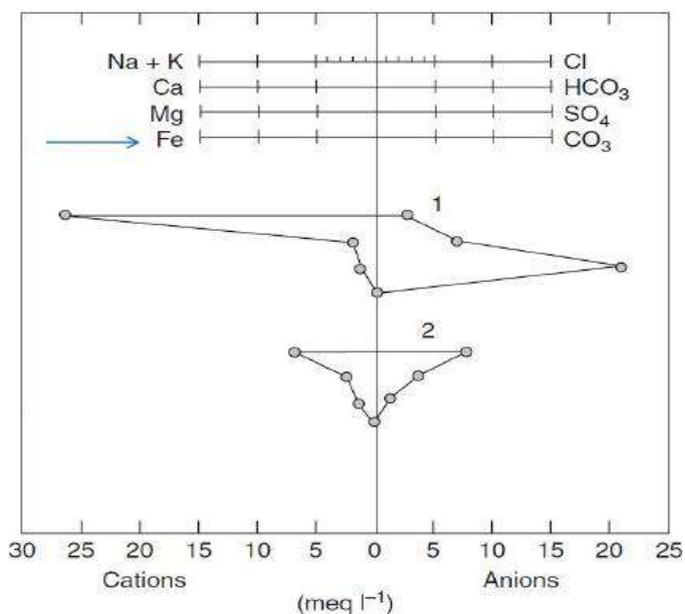


Figura 2. Ejemplo de un diagrama de Stiff a partir de 4 rectas, la flecha azul muestra los iones que algunos autores recomiendan no usar.

cada ion y su respectiva semirrecta, obteniendo un polígono representativo (GIDAHATARI 2013).

Los diagramas de Stiff también pueden construirse a partir de tres rectas, obviándose los iones Fe y  $\text{CO}_3$ , el procedimiento es el mismo y los resultados son idénticos, debido a que los valores de los iones obviados son aproximados a 0.

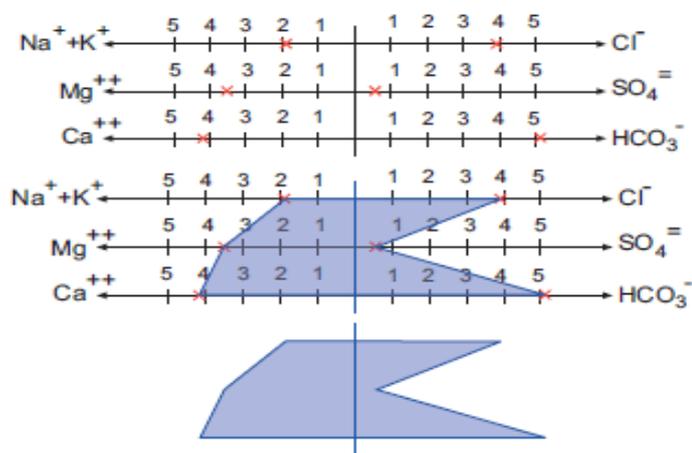


Figura 3. Diagramas de Stiff, construido a parte de tres pares de iones, se muestra también el procedimiento de su construcción. Sánchez San Román (2012).

Sin embargo Sánchez San Román (2012) menciona que es absolutamente desaconsejable añadir más líneas horizontales al

diagrama de tres ejes (la cuarta línea con Fe y  $\text{CO}_3$ ), porque al mostrar más información en el mismo polígono se pierde su principal ventaja: captar en un instante la composición química del agua y apreciar fácilmente las semejanzas y diferencias entre polígonos que se muestran en el mismo mapa.

#### 2.2.5.2. Diagramas de Piper

Los diagramas de Piper están compuestos por tres figuras: dos triángulos, ubicados en la parte lateral de un rombo, que es el tercer componente del diagrama. Debido a su naturaleza los diagramas triangulares representan a tres componentes distintos cuya suma representa el 100% de una composición química determinada.

Cada campo triangular representa los iones mayores: el triángulo de la izquierda representa los cationes mayoritarios (Ca, Mg y  $\text{Na}+\text{K}$ ), por su parte los aniones mayoritarios están ubicados en el triángulo derecho.

Por ejemplo, en la figura 4, para situar un punto en un triángulo  $\text{Ca}^{+2} / \text{Mg}^{+2} / (\text{Na}^{+2}+\text{K}^{+})$ , un vértice representa el 100% de ese componente; por el contrario, los puntos que contengan 0% de ese componente estarán en el lado opuesto al vértice correspondiente. El vértice  $\text{Ca}^{+2}$  representa 100% de  $\text{Ca}^{+2}$ , mientras que todos los puntos del lado opuesto a ese vértice suponen 0% de  $\text{Ca}^{+2}$ .

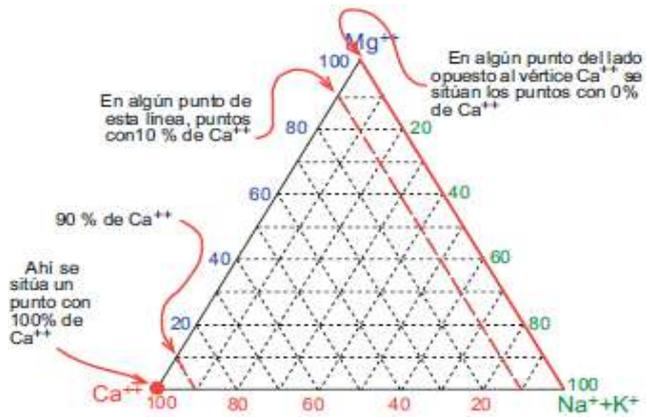


Figura 4. Ejemplo de la construcción de un diagrama de Piper, donde se considera un 100% del catión Ca. Sánchez San Román (2012).

Este ejemplo complementario, representa tres valores iniciales que no suman 100, y es necesario calcular la proporción. Supongamos un agua con la siguiente composición de cationes:

$\text{Ca}^{++} = 82 \text{ meq/L}$ ;  $\text{Na}^{++}\text{K}^{+} = 104 \text{ meq/L}$ ;  $\text{Mg}^{++} = 49 \text{ meq/L}$  Suma de cationes= 235 meq/L

$$\text{Porcentaje de Ca}^{++}: \frac{235}{82} = \frac{100}{x}; x = 34.9\%$$

Mediante cálculos análogos obtenemos que:  $\text{Na}^{++}\text{K}^{+} = 44,3 \%$  y  $\text{Mg}^{++} = 20,8\%$

El punto correspondiente sería el marcado en la figura 5. Con respecto al diamante central solamente se proyectan los puntos obtenidos de cada triángulo (figura 6).

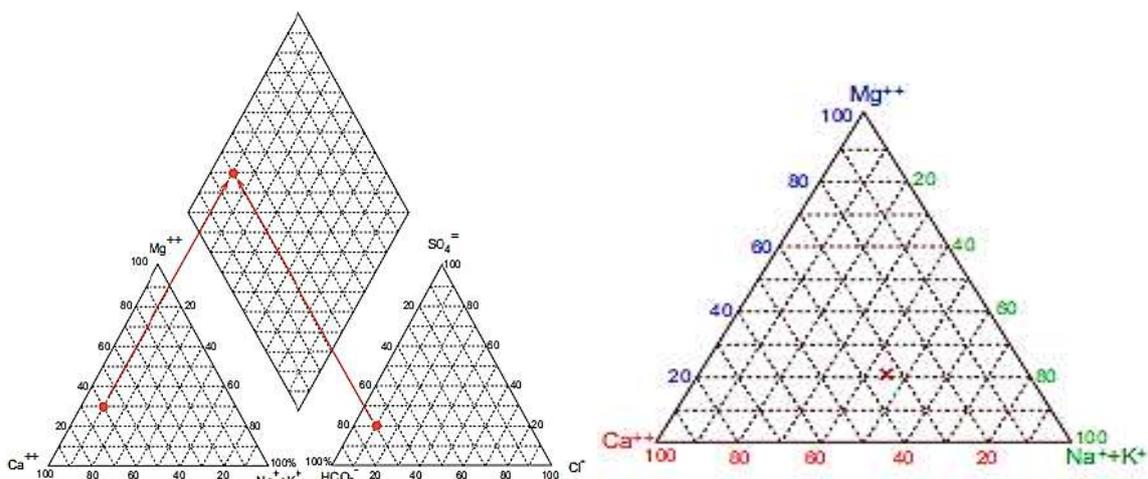


Figura 6. Ejemplo de la proyección de los triángulos que contienen los porcentajes iónicos al rombo o diamante central. (Sánchez 2012).

Figura 5. Representación de valores de cationes mayoritarios en la construcción de diagrama de Piper. (Sánchez 2012).

Para poder interpretar clasificar las muestras según el Diagrama de Piper se utiliza la tabla y figura siguientes:

Tabla 3. Clasificación de aguas subterráneas, según el diagrama de Piper. (GIDAHATARI 2014)

Área	Interpretación
Área 1	Tierras alcalinas exceden elementos alcalinos.
Área 2	Elementos alcalinos exceden las tierras alcalinas.
Área 3	Ácidos débiles exceden los ácidos fuertes.
Área 4	Ácidos fuertes exceden ácidos débiles.
Área 5	Dureza cálcica (alcalinidad secundaria), propiedades del agua dominadas por ácidos débiles y tierras alcalinas, excede el 50%.
Área 6	Dureza magnésica (alcalinidad secundaria), excede el 50%.
Área 7	Alcalinidad no carbonatada (salinidad primaria) excede el 50%. Propiedades químicas dominadas por elementos alcalinos y ácidos fuertes. Aquí por lo general se representa el agua salada.
Área 8	Alcalinidad carbonatada (salinidad primaria) excede el 50%. Aguas subterráneas con poca dureza en proporción a la cantidad de TDS.
Área 9	Ningún catión o anión excede el 50%.

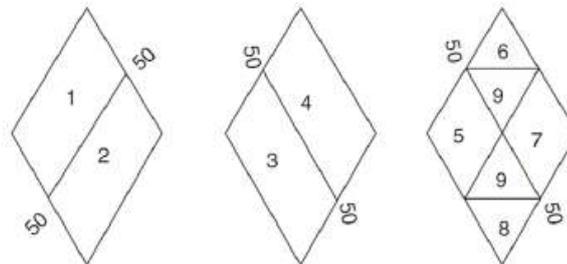


Figura 7. Clasificación de aguas subterráneas, según el diagrama de Piper. GIDAHATARI (2014).

Finalmente, cada punto ubicado en el diamante, se inscribe en una circunferencia cuyo diámetro corresponde a la escala especificada para representar los TDS, como se muestra en la figura 8.

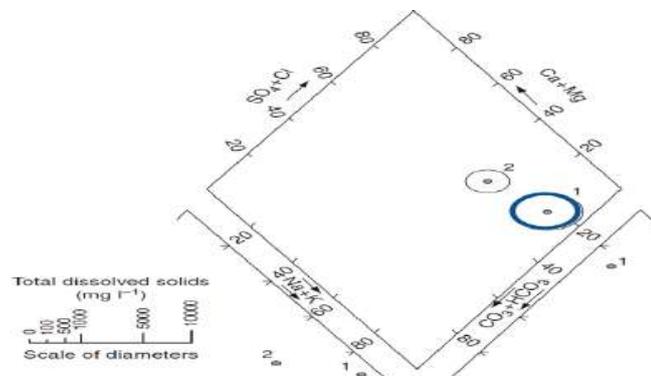


Figura 8. Escala de punto - diagrama de Piper. GIDAHATARI (2013)

### 2.2.5.3. Diagramas de Gibbs

Los diagramas de Gibbs son diagramas semilogarítmicos de dispersión, mediante los cuales se pueden establecer hipótesis de posibles procesos químicos que se están desarrollando en un acuífero.

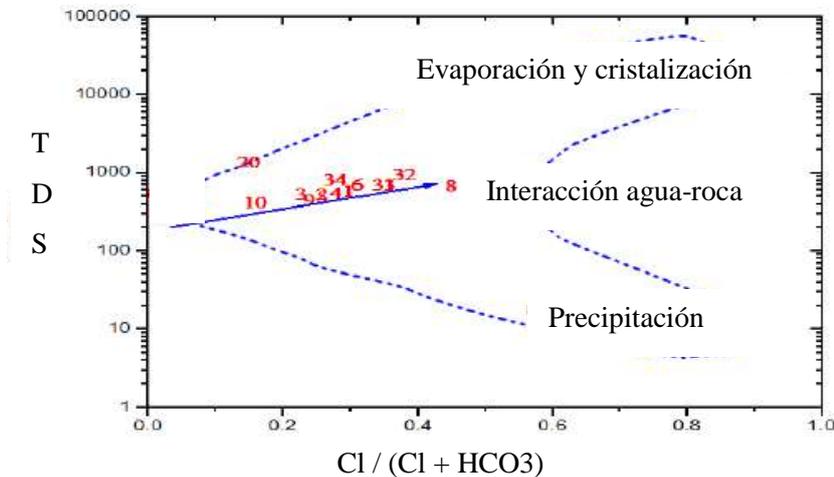


Figura 9. Diagrama de Gibbs. Árcega (2010).

Esto se logra analizando los datos de enriquecimiento de  $\text{Na}^+$  y  $\text{Ca}^+$  en los sólidos totales disueltos o TDS. Con los resultados obtenidos y según la figura mostrada, podemos inferir procesos de evaporación y cristalización, interacción agua – roca y precipitación atmosférica (de acuerdo a la cantidad de sólidos totales disueltos de cada muestra y los iones  $\text{Na}^+$  y  $\text{Ca}^+$ ).

### 2.2.5.4. Diagrama de Schoeller-Berkaloff

Éste tipo de diagramas permiten representar a cada ion analizado y su respectiva concentración. En el eje horizontal se ubican las especies iónicas analizadas, mientras que en el eje vertical se muestran a escala logarítmica las respectivas concentraciones (en unidades equivalentes-gramos por litro) de cada ion; dicho valor vertical se obtiene luego de operar el logaritmo de la concentración de cada ion.

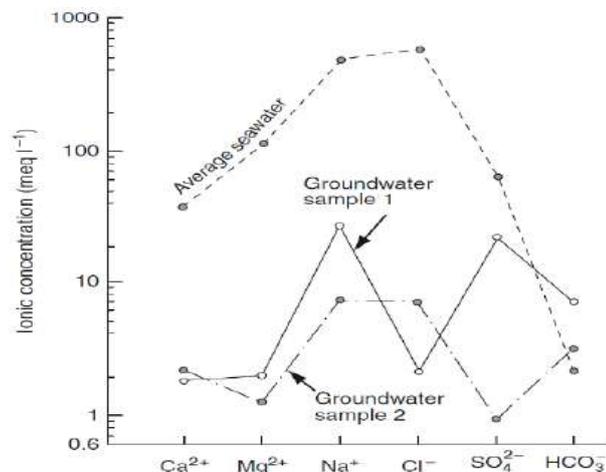


Figura 10. Diagrama de Schoeller-Berkaloff, donde se muestra un valor predeterminado promedio de agua marina y dos valores de muestras de agua subterránea. (GIDAHATARI 2013).

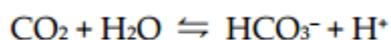
Entonces los diagramas de Schoeller-Berkaloff permiten plasmar en un gráfico las concentraciones máximas y mínimas de los aniones y cationes analizados y compararlos con modelos empíricos preestablecidos, además gracias a la superposición de muestras se puede visualizar fácilmente la variación de composición química entre las muestras analizadas.

#### 2.2.7. Evolución geoquímica de las aguas subterráneas

La evolución geoquímica de las aguas subterráneas obedece a una composición inicial de las aguas que precipitan en la superficie terrestre y a la composición de los diversos materiales que atraviesa (suelo, roca, acuífero), ésta interacción constante conlleva a un sinnúmero de reacciones químicas (oxidación, reducción, etc.) que se producen para llegar a un equilibrio químico en un determinado espacio y tiempo (Sánchez 2012).

En cuanto a la composición del agua de lluvia, ésta presenta concentraciones pequeñas de sustancias disueltas, debido al polvo atmosférico (independientemente de una posible contaminación del aire que genera por ejemplo las lluvias ácidas), tales cantidades son del orden de 0,2-0,4 mg./L de cada ion; en zonas costeras la concentración de Na<sup>+</sup> puede llegar a ser importante por el aerosol de agua marina.

La etapa de infiltración de las precipitaciones a través del suelo es definitoria para la composición química del agua subterránea, debido a que, gran parte de las características geoquímicas del agua subterránea se adquieren en los primeros metros de su recorrido en el subsuelo; el hecho de que los poros del suelo presentan gran concentración de CO<sub>2</sub> otorga al agua normalmente una característica ácida aunque después haya recorrido varios kilómetros el subsuelo, la reacción de acidificación es la siguiente:



Por ende, si se tiene una capa de lo suficientemente potente ésta reacción seguirá aportando acidez en el agua hasta que se llegue a un nivel acuífero o saturado donde el agua recupera su característica básica. Desde el momento en que el agua alcanza la superficie freática más hasta que aflora al exterior a través de un río o manantial pueden transcurrir desde unos pocos días hasta millones de años debido a que el recorrido puede variar desde metros hasta cientos de kilómetros; en el camino el agua evolucionará en su química mientras entra en contacto con diferentes litologías y minerales con los que entre en contacto y de acuerdo a la velocidad de flujo que ésta presente.

Generalmente, a mayor tiempo de permanencia en el terreno, mayor será la salinidad del agua, sin embargo, esto es relativo: por ejemplo, una determinada agua que permanezca unas horas en contacto con cloruro sódico será más salina que otra que esté muchos años en contacto con cuarzo (Sánchez 2012).

También veremos circunstancias en las que alguna de las sustancias disueltas en el agua no aumentan, sino que disminuyen. Hay otros aspectos obvios: si atraviesa yesos se obtendrán  $\text{SO}_4^{2-}$  y  $\text{Ca}^+$ , si encuentra niveles salinos, con sales cloruradas adquirirá  $\text{Cl}^-$  y  $\text{Na}^+$ ; y si atraviesa formaciones calizas adquirirá  $\text{HCO}_3^-$  y  $\text{Ca}^+$  (Árcega 2010).

Después de los carbonatos predomina el sulfato, y las aguas más salinas son cloruradas. Esta evolución se denomina secuencia de Chevotareb:

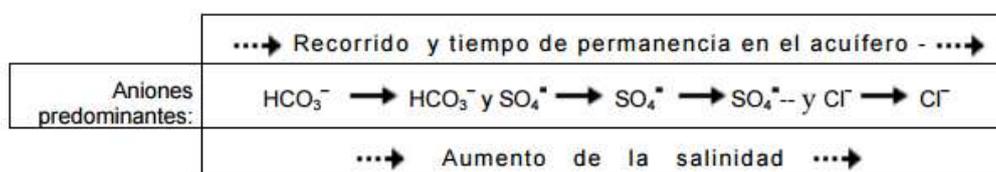


Figura 11. Secuencia de Chevotareb. Sánchez San Román (2012)

En la composición catiónica la secuencia análoga sería:  $\text{Ca}^+ \text{Mg}^+ \text{Na}^+$ , pero no es tan clara y es mayor el número de excepciones (San Román 2012).

La secuencia presentada se dispone de esa manera debido a dos factores fundamentales: la solubilidad y abundancia en el subsuelo de las distintas sales. Como se mencionó, la salinidad aumenta (en condiciones normales) proporcionalmente con el tiempo de permanencia del agua en el terreno, entonces el agua disuelve o altera los minerales que encuentra hasta que se alcanza un límite marcado por la constante de equilibrio correspondiente a cada compuesto, luego de superar éste límite ya no se disolverá más un mineral y se continuará disolviendo otros de constante más elevada hasta alcanzar un nuevo equilibrio. La solubilidad de los carbonatos es menor que la de los sulfatos, que, a su vez son menos solubles que los cloruros. Entonces, primero se alcanza el tope para los carbonatos, después para los sulfatos, y finalmente para los cloruros, (Sánchez 2012).

Por otro lado, la abundancia, es la probabilidad que existe de que un agua encuentre minerales que le aporten bicarbonatos, sulfatos o cloruros. Normalmente la disponibilidad de las distintas sales es así: siempre existe un aporte de bicarbonatos debido al  $\text{CO}_2$  presente en el suelo, además de minerales como calcita en litologías calcáreas que son

abundantes en todo el mundo. Luego, los yesos o sulfato cálcico también son frecuentes en formaciones sedimentarias, finalmente, las sales cloruradas son las menos abundantes; por lo que se definiría una secuencia desde los carbonatos/bicarbonatos hasta los cloruros. Está de más decir que la secuencia es ideal y que los factores geológicos -básicamente la mineralogía- la condiciona y hace que se altere.

Domenico, citado por Freeze y Cherry (1979) menciona que en las grandes cuencas sedimentarias, se distinguen tres zonas en profundidad: la primera es una zona superior, que presenta flujo activo, recorridos cortos y tiempos de permanencia de años o decenas de años, con aguas bicarbonatadas y poco salinas. La segunda es una zona intermedia con flujo menos activo, recorridos más largos y tiempos de permanencia de cientos a miles de años cuyas aguas son más salinas y tienen al sulfato como anión principal. La tercera es una zona inferior de flujo aún más lento, largos recorridos y tiempos de miles a millones de años, con salinidad elevada y el anión  $\text{Cl}^-$  como ión característico.

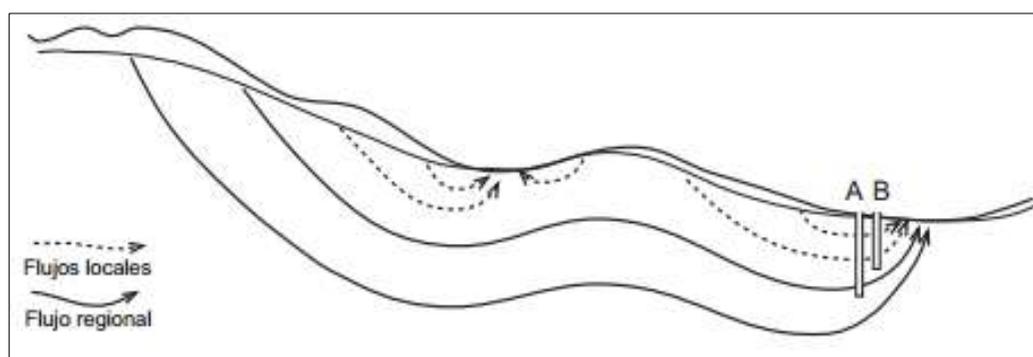


Figura 12. Tipos de flujo en un acuífero. Sánchez San Román (2012)

Podemos concluir entonces en que las aguas subterráneas tienden a evolucionar a lo largo del tiempo y el espacio desde aguas bicarbonatadas (debido a la interacción de la lluvia con dióxido de carbono) hacia aguas cloruradas (debido a su interacción con rocas del subsuelo). Mientras las aguas bicarbonatadas se consideran de reciente infiltración o poco evolucionadas, las aguas cloruradas se consideran más evolucionadas debido a un mayor tiempo de residencia en un determinado trayecto o acuífero.

La litología, las secuencias estratigráficas, la tectónica de la región, agrietamientos, textura y porosidad de las rocas, determinan generalmente las características hidroquímicas del agua, como una consecuencia del contacto entre el agua y la roca a lo largo de su recorrido y tiempo de residencia.

### **2.3. Definición de Términos Básicos**

#### *Aguas duras*

Agua que posee concentraciones elevadas de Ca y Mg, suelen ser características de aguas subterráneas que entran en contacto con litología calcárea (Davis y De Wiest 2009).

#### *Disolución*

Mezcla homogénea, por ende, proceso físico, de dos o más sustancias que no reaccionan químicamente y que tienen proporcionalidad (Davis y De Wiest 2009).

#### *Elementos traza*

Elementos que están presentes en el agua, sin embargo, tienen un porcentaje muy bajo, menor a 0,01 ppm. (De la Lanza et al. 1999).

#### *Estabilidad química*

Ocurre cuando un sistema está en su estado de menor energía o equilibrio químico con su entorno. Este puede ser un equilibrio dinámico, en donde moléculas o átomos individuales cambian de forma, pero su número total en una forma o estado particular se conserva. Los sistemas químicos pueden incluir cambios en el estado de la materia o un grupo de reacciones químicas (Sánchez 2012).

#### *Grado de saturación*

Es la proporción de vacíos ocupada por el agua, es decir la relación entre el volumen del agua y el volumen de sus vacíos.

#### *Hidrólisis*

Reacción química que consiste en la división de sales presentes en agua, hasta convertirse en iones (De la Lanza et al. 1999).

#### *Intercambio iónico*

Proceso que surge del contacto entre una fase líquida y una sólidas (rocas) que permite un intercambio de iones entre ambas fases, tendiendo hacia el equilibrio de concentraciones de los diferentes iones presentes en ambas fases (Martínez et al. 2006).

### *Karstificación*

Es un proceso químico de disolución de las rocas calizas en presencia de agua y CO<sub>2</sub> (Sánchez et al. 2015).

### *Oxidación*

Proceso mediante el cual un elemento cede electrones y gana valencia química (Farfán et al. 2010).

### *Ratio de Adsorción de Sodio (SAR)*

Parámetro que refleja la influencia del ion Na<sup>+</sup> en las propiedades del suelo, debido a su propiedad dispersante que afecta la permeabilidad. Su efecto depende también de la concentración de los iones Mg<sup>2+</sup> y Ca<sup>2+</sup> (Dushiyanthan et al. 2014).

## CAPÍTULO III MATERIALES Y MÉTODOS

### 3.1. Ubicación y Accesibilidad

#### 3.1.1. Ubicación Geográfica

La ubicación geográfica de la presente investigación está determinada por la microcuenca del río Paigual, dicha microcuenca está ubicada al sur de la ciudad de Cajamarca, su área es de 31,4 km<sup>2</sup> y su perímetro de 26,06 km; su cota oscila entre los 2050 y 4150 m.s.n.m.

#### 3.1.2. Ubicación Política

La microcuenca del río Paigual está ubicada en:

- Departamento: Cajamarca
- Provincia: Cajamarca
- Distrito: Asunción
- Caseríos: Cochapampa, Rinconada, Chiquildo, Congacruz, Shirac, Sapalí.



Figura 13. Ubicación Política de la microcuenca del río Paigual.

### 3.1.3. Ubicación Temporal

La presente investigación se desarrolló entre los meses de agosto y diciembre del año 2016, las muestras analizadas en laboratorio y emitidas como resultado (ver anexo 10) corresponden al 28 de octubre de 2016.

### 3.1.4. Accesibilidad

El acceso a la zona de estudio se realiza desde la ciudad de Cajamarca, mediante carretera asfaltada, tomando la carretera a la costa o ruta nacional PE-08 (carretera Cajamarca - Ciudad de Dios), posteriormente se toma el desvío hacia el distrito de Asunción, ubicado en Choropampa.

Tabla 4. Accesibilidad al distrito de Asunción.

Origen	Destino	Tipo de Carretera	Distancia (km)	Tiempo aproximado
Cajamarca	Choropampa	Asfaltada	52.3	70 minutos
Choropampa	Asunción	Asfaltada	14	25 Minutos
Total			66.3	95 Minutos



Fotografía 1. Desvío a la carretera a Asunción a la altura del centro poblado de Choropampa.

### 3.1.5. Clima

El clima en la zona de estudio varía de templado a muy frío, debido al alto rango de altura que presenta, la temperatura media anual en el distrito de Asunción oscila entre 12°C y 25°C, variando de acuerdo a la estación del año en que se esté.



Fotografía 2. Estación Climatológica Ordinaria - Asunción del SENAMHI.  
N: 9189436 E: 774262 Cota: 2162 m.s.n.m.

### 3.1.5.1. Precipitación

Con los datos históricos que se tienen de la estación Asunción del SENAMHI (fotografía 2) se ha elaborado la ilustración de precipitaciones medias mensuales, las cuales reflejan dos estaciones marcadas: la primera de lluvias correspondiente a los meses de diciembre a abril; la segunda, es una estación de estiaje correspondiente a los meses de junio a setiembre principalmente.

La información histórica que se analizó corresponde a 9 años (desde 2011 hasta 2020), debido a que la estación antes mencionada empezó a funcionar en dicho año inicial. El mes al que corresponde una mayor precipitación histórica es el mes de marzo (precipitación mensual promedio de 154.5 mm), a dicho mes le preceden valores alto de precipitación superiores a los 70 mm desde el mes de diciembre, con un aumento sostenido hasta alcanzar su cima en marzo; mientras que para el mes de abril el descenso de precipitaciones está notablemente marcado (60.9 mm). Los meses que presentan mayor estiaje son julio y agosto con precipitaciones históricas inferiores a 1 mm e incluso en el año 2015 no se registraron precipitaciones en éstos meses.

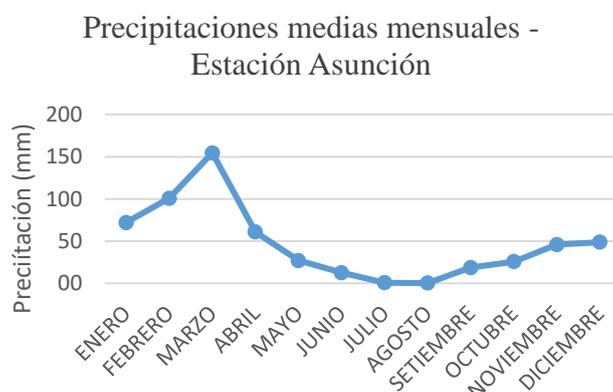


Figura 14. Precipitaciones medias mensuales de la microcuenca Paigual (Julio 2011- Junio 2020).

### 3.1.5.2. Temperatura

Como se aprecia en la ilustración, las temperaturas medias máximas se presentan entre los meses de junio y setiembre, tales meses corresponden al periodo de estiaje en la zona de estudio; por otro lado, las temperaturas descienden (un promedio de 3.5°C) entre los meses de octubre y abril que corresponden a los meses donde las precipitaciones empiezan a incrementarse (especialmente entre enero y marzo). La temperatura influye en la evaporación y evapotranspiración, debido a que en los meses de mayor temperatura la evaporación incrementa, por lo que la humedad desciende y también el flujo subterráneo se ve afectado: las zonas de descarga se modifican (manantiales estacionales se secan).

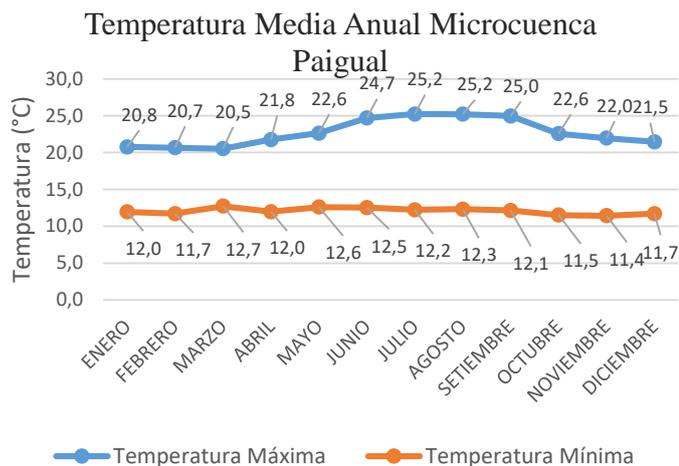


Figura 15. Temperatura media anual de la microcuenca Paigual (Julio 2011 - Junio 2020).

### 3.1.6. Vegetación

La vegetación de la microcuenca es predominantemente de eucalipto, con un pequeño porcentaje de otro tipo de flora como arboles de pino, palta, arbustos de manzana, entre otros.

Según el informe ASPADERUC (1999) se identificaron 177 especies en la microcuenca de Asunción, las cuales se agruparon en 69 familias. Además, se demostró que son solamente 09 familias las que acumulan el 51% del total de las especies y que son 5 las especies arbóreas nativas que dominan la microcuenca: el “pauco”, “mote mote”, “taya”, chirimoya y “lechiquero”, además el eucalipto en su condición de exótica (autóctona).



Fotografía 3. Eucaliptos en la parte alta de la microcuenca, son predominantes en toda la microcuenca.

### 3.1.7. Geomorfología

#### 3.1.7.1. Unidades Geomorfológicas Mayores

##### Cordillera

Es un sistema dual de alineaciones montañosas y colinosas, enlazadas entre sí. Constituyen zonas plegadas o en fase de plegamiento. La microcuenca del río Paigual está ubicada en la margen este de la cadena oriental de la Cordillera de los Andes, ésta unidad es apreciable en los caseríos que están ubicados en los límites de la microcuenca: Sapalí, Shirac y Shullapacha, en cotas superiores a los 3500 metros.



Fotografía 4. Vista panorámica del distrito de Asunción, se aprecia la morfología de la cordillera de Los Andes. N: 9187727 E: 775536 Cota: 2795 m.s.n.m.

##### Valle

Extensión de terreno cuyas aguas vierten en un río y está delimitado por montañas o cordilleras. A lo largo de todo el recorrido del río Paigual se puede observar el valle en forma de V, debido a que es un valle joven y la microcuenca en la mayoría de su área supera los 3000 metros de altitud. La fotografía que se muestra se tomó del caserío Sapalí (zona alta de la microcuenca), donde se observa la configuración del valle perteneciente al río Paigual.



Fotografía 5. Valle en forma de V, por donde transcurre el río Paigual. N:9187450 E: 779207Cota: 3097 m.s.n.m

## Piedemonte

Partes bajas de montañas y serranías hasta el punto de inflexión con el valle o la llanura. Hace referencia al Piedemonte Andino, esta unidad geomorfológica mayor puede observarse en cotas que oscilan entre los 2800 y 3000 metros de altura, la zona delimitada por el caserío de Ogoríz y la parte alta de Cochapampa muestran una configuración idónea de ésta geoforma.



Fotografía 6. Piedemonte andino en la microcuenca del río Paigual. N: 9185915 E: 774936 Cota: 3364

### 3.1.7.2. Unidades Geomorfológicas Menores

Debido a la ubicación de la microcuenca (cabecera de la cuenca del Jequetepeque) y a la pendiente media del río calculada.

La microcuenca presenta un relieve accidentado, por lo que las unidades geomorfológicas menores corresponden a colinas (que oscilan de altas a bajas) y escarpes (en la zona alta de la microcuenca: caseríos Sapalí y Shirac). Las colinas se han clasificado de acuerdo a su pendiente y altura relativa.

#### Colinas

Son elevaciones naturales y aisladas del terreno, presentan un desnivel desde la línea base hasta la cima menor a 300 m; sus laderas presentan una inclinación promedio superior al 16% y divergen en todas direcciones a partir de la cima relativamente estrecha, siendo su base aproximadamente circular. Se han considerado colinas altas, medias y bajas (Castro et al. 2013).

## Colinas Altas

Son unidades morfológicas con una topografía en forma colinada arrugada, con una diferencia de altura relativa de 75-200 metros con una pendiente que oscila entre 14-20% (Castro et al. 2013).

En la microcuenca, las colinas altas están presentes en la parte media y alta de ésta. La fotografía que se presenta a continuación fue tomada en el caserío de Sapalí (en el límite sureste de la microcuenca), pueden observarse sus laderas, las cuales presentan una fuerte inclinación superior al 20%, el desnivel aproximado es de 250 metros. La morfología es colinada y arrugada (rasgo típico de este tipo de colinas).



Fotografía 7. Colinas altas en la microcuenca del río Paigual. N: 9185843 E: 776942 Cota: 3471 m.s.n.m.

## Colinas Medianas

Son unidades morfológicas con una topografía ondulada con una diferencia de altura relativa de 25-75 m con una pendiente de 8-13% (Castro et al. 2013). Las colinas medianas están presentes en toda la microcuenca en la parte central, por donde transcurren los principales drenajes.



Fotografía 8. Colinas medianas en la microcuenca (La verbena – Sapalí). N: 9185229 E: 779007 Cota: 3519 m.s.n.m.

En la fotografía 11 se observan colinas medianas con una pendiente aproximada de 12%, y con desniveles de 60 metros. La mayoría de los caseríos que pertenecen a la microcuenca están ubicados en morfologías correspondientes a colinas medianas.

#### Colinas Bajas

Son unidades morfológicas con una topografía suavemente ondulada con una diferencia de altura relativa de 5-25 m con una pendiente 3-7%, en la parte inferior a la línea roja de la fotografía puede observarse una morfología característica de colinas bajas, con una pendiente media de 6% y una diferencia de altura de 15 metros.

Este tipo de morfología está presente en la parte baja de la microcuenca (cercana a la capital del distrito) y en la parte media oeste de la microcuenca.



Fotografía 9. Colinas bajas en la microcuenca.  
N: 9188433 E: 777344 Cota: 2643 m.s.n.m.

## Terrazas

Son zonas llanas, bajas y estrechas formadas por depósitos aluviales de arenas características del Cuaternario combinados con guijarros grandes. Se localizan a ambos lados del plano inundable y originado por repetidos descensos del nivel de base de erosión (Castro et al. 2013).

En la microcuenca se observan pequeñas terrazas cercanas a los drenajes principales, dichas terrazas están constituidas básicamente por guijarros debido a que en el invierno las precipitaciones arrastran bloques considerables de rocas de la parte alta de la microcuenca, que van depositándose en las márgenes en la parte media e inferior de ésta.

En la fotografía 13 se muestra una pequeña terraza en el margen del río Alcaparosa (parte oeste de la microcuenca), pueden observarse los guijarros en la parte inferior de la foto que conforman a ésta.



Fotografía 10. Terraza formada en márgenes del río Alcaparosa. N: 9189051 E: 774860 Cota: 2350 m.s.n.m.

## Escarpe

Es una vertiente de roca que corta el terreno abruptamente, la pendiente es mayor a  $45^\circ$ , aunque sea solamente una parte de la vertiente. A veces adopta la forma de una cornisa, que corona una vertiente en una extensión más o menos larga, aunque conservando una altitud sensiblemente constante (Castro et al. 2013). Los escarpes están presentes en los límites de la microcuenca, la fotografía muestra un escarpe en la zona límite de los caseríos Sapalí y Chim Chin (límite sureste de la microcuenca), en la parte superior del perfil del macizo puede observarse una pequeña saliente o cornisa que persiste a lo largo del escarpe.



Fotografía 11. Escarpe en la zona alta de la microcuenca.  
N: 9188319 E: 779069 Cota: 3141 m.s.n.m.

### 3.1.8. Hidrología

La microcuenca del río Paigual, pertenece a la subcuenca Asunción y esta a su vez a la cuenca del Jequetepeque; la zona de estudio tiene un área de 31,4 km<sup>2</sup>.

El río principal y colector de la microcuenca es el río Paigual, que resulta de la unión de dos afluentes principales: el primero ubicado en la parte Este que tiene la misma denominación del río colector (río Paigual); mientras que en la parte oeste de la microcuenca transcurre el otro afluente principal, el río Alcapa Roca, dichos ríos son drenajes de orden 3 que a su vez están formados por varias quebradas menores aguas arriba del distrito de Asunción, pertenecientes a los caseríos: Chiquildo, Rinconada, Cochapampa, Shirac, Sapalí, y Shullapacha.

La parte alta de la microcuenca presenta manantiales formados por el flujo corto de agua que se infiltra a través del suelo y que afloran a la superficie luego de unas pocas decenas de metros.



Fotografía 12. Afloramientos de agua presentes en la parte alta de la microcuenca.

La fotografía de la izquierda corresponde al caserío Sapalí y la de la derecha a Shullapacha. Dichos afloramiento de agua se caracterizan por su baja temperatura, de entre 11°C y 13°C y por estar ubicados sobre los 3600 m.s.n.m.

Los manantiales o afloramiento de aguas se concentración a medida que se descende formando pequeñas quebradas (drenajes de orden 1) que a medida que avanzan forman las quebradas principales de la microcuenca.

En el vertiente oeste se encuentran las quebradas: Tendido, Chavacano y Río Seco que se unen con otros afluente menores para formar el río Alcapa Rosa. Por otra parte, en el vertiente este se encuentran el mayor número de quebradas, también presentan mayor extensión, las quebradas principales son: Sapalí, El Chorro, Pilancón, El Chorro Amarillo, Condorera, Cueva de León y La Collpa.



Fotografía 13. Quebrada La Collpa ubicada en el caserío de Sapalí. N: 9184650 E: 778502 Cota: 3489 m.s.n.m.

En la parte media de la microcuenca se forman los ríos, que son vertientes principales: Alcapa Rosa en la vertiente oeste y Paigual (el mismo río lleva la denominación de Huayllagual en la parte alta) en la vertiente este. Finalmente, ambos se unen en la parte baja de la microcuenca, a la altura del distrito de Asunción.

#### 3.1.7.1. Ríos

##### Río Alcapa Rosa

Está ubicado en la vertiente oeste de la microcuenca, presenta una dirección SE-NO, se forma por la confluencia de las quebradas Chavacano y Tendida en la parte alta del caserío Chiquildo, y termina en la unión de éste con el río Paigual (al este del distrito de Asunción). Presenta una longitud de 3.4 kms (calculados mediante SIG).



Fotografía 14. Río Alcapa Rosa  
N: 9189330 E: 774802 Cota: 2284 m.s.n.m.

### Río Paigual

También denominado río Asunción, es el drenaje de mayor longitud, además del río principal, está ubicado en la vertiente este de la microcuenca. Presenta una dirección SE-NW, se forma en la parte alta de la microcuenca en el caserío de Shullapacha y a lo largo de su recorrido se alimenta de las principales quebradas de la vertiente oeste presentadas en el siguiente apartado. Su longitud (calculadas por medio de SIG) es de 8.4 kms.

#### 3.1.7.2. Quebradas

##### Quebrada Río Seco

Ésta quebrada pertenece a la vertiente oeste de la microcuenca, presenta una dirección S-N, se forma en la parte alta del caserío Chiquildo y se une al río Alcapa Rosa en la parte baja del mismo caserío. Presenta una longitud de 1.4 kms.

##### Quebrada Tendido

Pertenece a la vertiente oeste de la microcuenca, su dirección es SE-NW, se forma a la altura del caserío Shirac y se une al río Alcapa Rosa en el caserío de Chiquildo. Presenta una longitud de 1.2 kms.



Fotografía 15. Quebrada Tendido (Chiquildo).  
N: 9186920 E: 775861 Cota: 2688 m.s.n.m.

### Quebrada Chavacano

Pertenece también a la vertiente oeste de la microcuenca y al igual que la quebrada Tendido tiene su origen en el caserío de Shirac, tiene una longitud de 1.1 kms.



Fotografía 16. Quebrada Chavacano.  
N: 9187011 E: 77592 Cota: 2690 m.s.n.m.

### Quebrada Sapalí

Pertenece a la vertiente este de la microcuenca, se forma en el caserío del mismo nombre y lo recorre longitudinalmente. Se une al río Paigual en la parte baja del caserío Sapalí. Tiene una longitud de 1.1 kms.



Fotografía 17. Quebrada Sapalí.  
N: 9187116 E: 777870 Cota: 3098 m.s.n.m.

### Quebrada Pilancón

Pertenece a la vertiente este de la microcuenca, se forma en el caserío de Sapalí y recorre hasta unirse al río Paigual en la zona denominada Pilancón. Se une al río Paigual en la parte baja del caserío Sapalí. Tiene una longitud de 376.9 metros (calculado a partir de SIG).

### Quebrada El Chorro

Pertenece a la vertiente este de la microcuenca, se forma en el caserío de Shullapacha y llega hasta el caserío de Sapalí, en la parte baja de éste se une al río Paigual. Tiene una longitud de 312 metros (calculado a partir de SIG).



Fotografía 18. Quebrada El Chorro  
N: 9185673 E: 778805 Cota: 3453 m.s.n.m.

### Quebrada La Collpa

Pertenece a la vertiente este de la microcuenca, se forma en la parte alta del caserío de Shullapacha, donde se une al río Paigual. Tiene una longitud de 770 metros (calculado a partir de SIG).

### Quebrada La Rinconada

Pertenece a la vertiente este de la microcuenca, se forma en la parte alta del caserío Rinconada y recorre longitudinalmente dicho caserío hasta unirse al río Paigual en el caserío de Cochapampa. Tiene una longitud de 1.7 kms (calculado a partir de SIG).



Fotografía 19. Quebrada La Rinconada.  
N: 9188202 E: 776010 Cota: 2680 m.s.n.m.

## Quebrada Condorera

Pertenece a la vertiente este de la microcuenca, se forma en el caserío Cochapampa, y se une al río Paigual. Tiene una longitud de 450 metros (calculado a partir de SIG).

### 3.1.9. Geología Local

La geología local de la microcuenca está determinada por formaciones geológicas que inician en el Cretáceo inferior con la formación Farrat y se extienden hasta el límite del Cretáceo superior (formación Cajamarca, que aflora en el límite sureste de la microcuenca). En la parte alta de la zona de estudio (límite sureste) existen dos afloramientos de intrusivos granodioríticos.

#### *Grupo Goyllarisquizga*

##### *3.1.9.1. Formación Farrat*

La formación Farrat aflora en la parte central de la microcuenca, se extiende desde la capital del distrito (Asunción) hasta la parte baja del caserío de Sapalí, en las vías de acceso hacia la microcuenca se pueden observar afloramiento de espesores considerables, además su morfología escarpada puede observarse en toda su magnitud en la zona media de la microcuenca (entre los caseríos Rinconada y Sapalí). Su litología está determinada por areniscas blancas intercaladas por limolitas (que son más apreciables en el corte de la carretera que une Asunción con los caseríos de Chiquildo, Rinconada y Sapalí). En la fotografía se observa el afloramiento de ésta formación en la carretera que pasa por el caserío de Chiquildo.



Fotografía 20. Formación Farrat en el caserío de La Rinconada. N: 9187643 E: 776898 Cota: 2875

##### *3.1.9.2. Formación Inca*

La formación Inca aflora en la parte central de la microcuenca en los caminos que unen los diversos caseríos de la microcuenca, sin embargo, por su alta meteorización es posible

reconocerla solamente por su coloración y en muy escasos afloramiento, por ejemplo, la fotografía 21 corresponde a un afloramiento de la Formación Inca en el borde del río Alcapa Rosa.



Fotografía 21. Formación Inca a la altura del caserío Chiquildo, río Alcapa Rosa.  
N: 9189043 E: 774860 Cota: 2350 m.s.n.m.

### *Grupo Crisnejas*

#### *3.1.9.3. Formación Chulec*

La formación Chulec aflora suprayaciendo a la formación Inca, presenta una meteorización elevada debido a su litología, que conlleva a una topografía suave con pendientes menores a  $10^\circ$ . Se caracteriza por la presencia de calizas arenosas y lutitas calcáreas.

#### *3.1.9.4. Formación Pariatambo*

Aflora en los caseríos de Shirac, Ogoriz y Sapalí, se caracteriza por su espesor reducido (aproximadamente 100 metros), en cuanto a su litología se caracteriza por la presencia de calizas nodulares bituminosas.

#### *3.1.9.5. Formación Yumagual*

Aflora en la parte norteste (Ogoriz) y sur (Shirac y Sapalí) de la microcuenca, se caracteriza por su resistencia a la erosión, presentando una topografía escarpada, su coloración amarillenta en superficie fresca, su litología está compuesta por calizas y margas de espesores potentes y uniformes, como se aprecia en la fotografía 22.



Fotografía 22. Formación Yumagual.  
N: 9184926 E: 779075 Cota: 3704 m.s.n.m.

### *Grupo Quilquiñán*

#### *3.1.9.6. Formación Mujarrún*

Aflora solamente en la zona sur (parte alta de la microcuenca) en el caserío de Sapalí, infrayaciendo a la formación Cajamarca, se caracteriza por su topografía suave debido a que ha sido afectada por procesos erosivos. Litológicamente se caracteriza por la presencia de calizas y lutitas amarillentas, como se muestra en la fotografía 23.



Fotografía 23. Afloramiento Grupo Quilquiñán  
- Formación Mujarrun. N: 918487 E: 778681  
Cota: 3556 m.s.n.m.

#### *3.1.9.7. Formación Cajamarca*

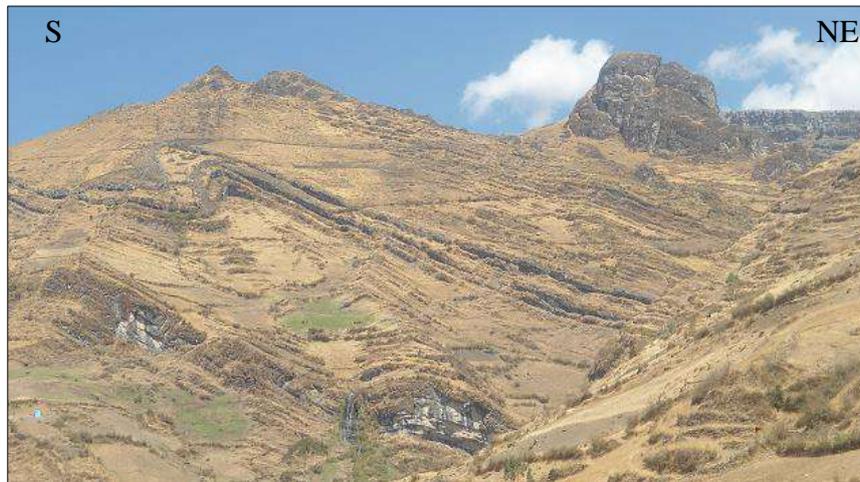
Aflora solamente al suroeste de la microcuenca, en la zona de Shullapacha sobre el caserío de Sapalí, ocupando además las cotas máximas de la microcuenca; es fácilmente reconocible debido a su resistencia a la erosión que origina una topografía escarpada de gran pendiente además de su coloración con grandes contrastes de gris y el blanco (ver fotografía 24).



Fotografía 24. Afloramiento de la Formación Cajamarca en el caserío Shullapacha.  
N: 9184728 E: 779331 Cota: 3857 m.s.n.m.

### 3.1.9.8. Intrusivo Granodiorítico

Está presente en dos zonas de la microcuenca: en la parte alta del caserío Sapalí y en el límite entre éste y Chim Chim, en la fotografía 25 puede observarse en la parte superior derecha de ésta (con una coloración oscura y geometría rectangular).



Fotografía 25. Geología local de la microcuenca, tomada desde el caserío de Sapalí; se observa en primer plano en la parte superior derecha el intrusivo y en el fondo la geometría regular de la Formación Cajamarca; mientras que en el centro las formaciones que conforman el Grupo Goyllarisquizga con estratos plegados. N: 9185222 E: 778274 Cota: 3550 m.s.n.m.

### 3.1.10. Geología Estructural

La microcuenca del río Paigual pertenece a la provincia estructural de pliegues descrita por (Reyes 1980), que se caracteriza por presentar pliegues alargados y estrechos, paredes escarpadas y cumbres agudas en las formaciones Chimú y Farrat. En la fotografía 26

puede observarse una morfología escarpada perteneciente a la formación Farrat, aflorando en la parte baja del caserío de Sapalí.



Fotografía 26. Vista panorámica de la formación Farrat.  
N: 9186472 E: 778230 Cota: 3243 m.s.n.m.

La estructura predominante en la microcuenca es el anticlinal emplazado en toda el área de estudio, dicha estructura presenta una orientación aproximada  $N32^\circ$ ; y se extiende longitudinalmente en la microcuenca y culmina en el caserío Sapalí, el núcleo de ésta estructura es la formación Farrat.

También es visible un parte de un sinclinal ubicado en la parte suroeste de la microcuenca (donde aflora la formación Cajamarca), en el cerro Mirador.

En la fotografía 27 se muestra una vista panorámica del flanco suroeste del anticlinal presente en la microcuenca, el rumbo de los estratos medidos en dicho punto era de  $N110^\circ$  buzando hacia el suroeste, el buzamiento era de  $40^\circ$ .



Fotografía 27. Flanco suroeste del anticlinal presente en la microcuenca. N: 9184926 E: 779075 Cota: 3704 m.s.n.m.

En campo se tomaron 6 estaciones estructurales, las cuales se describen a continuación:

Estación 1:

<b>Est. 1</b>	<b>N: 9189923</b>	<b>E: 774366</b>	<b>Cota: 2284</b>	
<b>Datos</b>	Estrato	Fam. 1	Fam. 2	
<b>Z</b>	N 289°	N 198°	N 92°	
<b>DIP</b>	55°	90°	43°	
<b>DD</b>	N 17°	N 286°	N 182°	
<b>Litología: Lutitas intercaladas con calizas ferruginosas (Fm. Inca).</b>				



Fotografía 28. Estación estructural 1.

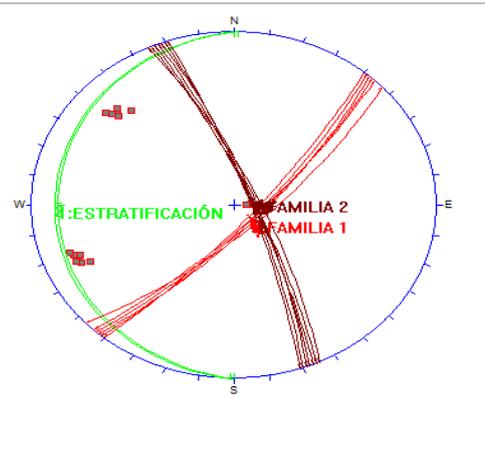
Estación 2:

<b>Est. 2</b>	<b>N: 9189923</b>	<b>E: 775366</b>	<b>Cota: 2284</b>	
<b>Datos</b>	Estrato			
<b>Z</b>	N 330°			
<b>DIP</b>	35°			
<b>DD</b>	N 20°			
<b>Litología: Calizas arenosas intercaladas con lutitas calcáreas (Fm. Chulec).</b>				

Fotografía 29. Estación estructural 2.

Estación 3:

<b>Est. 3</b>	<b>N: 9189065</b>	<b>E: 774869</b>	<b>Cota: 2330</b>
<b>Datos</b>	Estrato	Fam. 1	Fam. 2
<b>Z</b>	N 185°	N 48°	N 333°
<b>DIP</b>	8°	76°	79°
<b>DD</b>	N 270°	N 133°	N 68°
<b>Litología: Areniscas rojizas intercaladas con lutitas grises.</b>			



Fotografía 30. Estación estructural 3.

Estación 4:

<b>Est. 4</b>	<b>N: 9184926</b>	<b>E: 779075</b>	<b>Cota: 3704</b>
<b>Datos</b>	Estrato	Fam. 1	Fam. 2
<b>Z</b>	N 110°		
<b>DIP</b>	38°		
<b>DD</b>	N 200°		
<b>Litología: Calizas grises (Fm. Yumagual).</b>			

Estación 5:

<b>Est. 5</b>	<b>N: 9185173</b>	<b>E: 778875</b>	<b>Cota: 3414</b>
<b>Datos</b>	Estrato	Fam. 1	Fam. 2
<b>Z</b>	N 75°		
<b>DIP</b>	23°		
<b>DD</b>	N 150°		
<b>Litología: Fm. Yumagual.</b>			



Fotografía 31. Estación estructural 5.

Estación 6:

<b>Est. 6</b>	<b>N: 9187750</b>	<b>E: 775890</b>	<b>Cota: 2807</b>	
<b>Datos</b>	Estrato	Fam. 1	Fam. 2	
<b>Z</b>	N 110°	N 260°	N 20°	
<b>DIP</b>	5°	79°	74°	
<b>DD</b>	N 200°	N 350°	N 110°	
<b>Litología: Areniscas calcáreas intercalas con lutitas (Fm. Farrat).</b>				

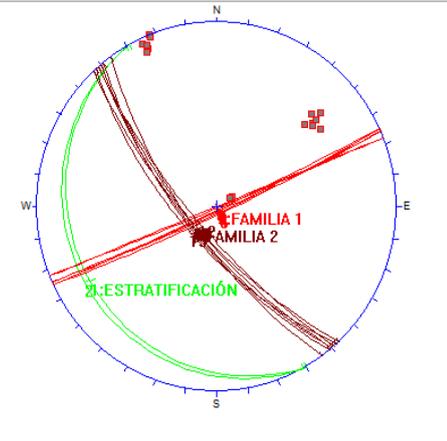
Estación 7:

<b>Est. 7</b>	<b>N: 9187750</b>	<b>E: 775890</b>	<b>Cota: 2807</b>	
<b>Datos</b>	Estrato	Fam. 1	Fam. 2	
<b>Z</b>	N 250°			
<b>DIP</b>	15°			
<b>DD</b>	N 160°			
<b>Litología: Areniscas blancas (Fm. Farrat).</b>				

Fotografía 32. Estación estructural 7.

Estación 8:

<b>Est. 8</b>	<b>N: 9188005</b>	<b>E: 775202</b>	<b>Cota: 2620</b>
<b>Datos</b>	Estrato	Fam. 1	Fam. 2
<b>Z</b>	N 150°	N 65°	N 155°
<b>DIP</b>	12°	88°	70°
<b>DD</b>	N 240°	N 155°	N 230°
<b>Litología: Calizas amarillentas intercaladas con lutitas grises (Fm. Pariatambo).</b>			




Fotografía 33. Estación estructural 8.

### 3.2. Procedimientos

#### 3.2.1. Metodología

##### 3.2.1.1. Tipo, nivel, y método de investigación

El tipo y nivel de investigación es descriptiva-explicativa, debido a que basados en observaciones, datos de campo y de laboratorio (descripción de la microcuenca) se va llegar a explicar la hidrogeoquímica de la microcuenca del río Paigual.

El método inductivo-deductivo, donde a partir de los diferentes puntos muestreados, se obtienen datos para determinar las características hidrogeoquímicas de toda la microcuenca.

##### 3.2.1.2. Población de estudio

Está definida por la microcuenca del río Paigual, perteneciente a la subcuenca Asunción, que a su vez pertenece a la cuenca del Jequetepeque.

### 3.2.1.3. *Muestra*

La muestra está determinada por los manantiales y puntos de control de agua superficial (ríos y quebradas) que son inventariados como muestra de la investigación.

### 3.2.1.4. *Unidad de análisis*

La unidad de análisis es la química de las aguas subterráneas.

### 3.2.2. Definición de variables

Variables dependientes: hidrogeoquímica

Variables independientes: permeabilidad, litología, sólidos totales disueltos, iones mayores, conductividad eléctrica, pH, temperatura.

### 3.2.3. Técnicas

El trabajo se desarrolló en tres etapas:

#### Primera Etapa

Se inicia con la recopilación y análisis de la información: libros, boletines, informes técnicos, tesis, papers científicos de estudios hidrogeoquímicos realizados alrededor del mundo en el país, que permitieron tener un panorama claro acerca del conocimiento teórico y los procedimientos necesarios para desarrollar la presente tesis. En la primera parte también se delimitó la microcuenca Paigual, a través del software ArcGis 10.5, como base para el desarrollo de las etapas siguientes.

#### Segunda Etapa

La segunda etapa consistió en el trabajo de campo, se recopilaron todos los datos posibles con el fin de estudiar la geología de la zona, el comportamiento hidrogeológico, así como la química de las aguas subterráneas.

Se realizaron visitas de campo a la microcuenca, divididas en sub-etapas, como se detalla a continuación:

La primera sub-etapa consistió en realizar un recorrido general de la zona para determinar aspectos generales como el clima, vegetación, hidrología y límites de los caseríos presentes en la microcuenca.

La segunda sub-etapa consistió en el estudio geomorfológico, estratigrafía y la toma de datos para analizar la geología estructural de la microcuenca, para ello se utilizó una

brújula geotécnica, una picota, protactor y formatos para los datos tomados en diferentes estaciones.

La tercera sub-etapa fue la más larga, ésta se centró en la hidrogeología e hidrogeoquímica de la zona, basada en el inventariado de los manantiales de la microcuenca, así como la toma de parámetros fisicoquímicos con el equipo multiparámetro que se detalla en el apartado de instrumentos y equipos.

La cuarta sub-etapa consistió en la recolección de 8 muestras de agua (predeterminadas con los datos del inventario de la sub-etapa anterior) para el envío a laboratorio.



Fotografía 34. Recolección de muestras para laboratorio.

La quinta sub-etapa fue meramente de análisis químico, donde las muestras fueron analizadas por el Laboratorio Regional del Agua de Cajamarca, con el fin de obtener para la clasificación y comportamiento hidrogeoquímico de la microcuenca.

### Tercera Etapa

Consistió en el trabajo de gabinete, en donde se realizó el procesamiento e interpretación de los datos de geología estructural, parámetros fisicoquímicos tomados en campo, los resultados de laboratorio; posteriormente se procedió a la elaboración de planos, diagramas que permitieron la clasificación hidrogeoquímica de las aguas, así como la interpretación de resultados y redacción de la tesis.

#### 3.2.4. Instrumentos y equipos

La utilización de instrumentos y equipos se detallará a continuación de acuerdo a las etapas y sub-etapas mencionadas en el apartado anterior:

## Primera Etapa

Laptop Dell modelo inspiron, utilizada para delimitar la cuenca con la ayuda de los softwares: ArcGis 10.5, SAS Planet, Google Earth y Erdas viewer. También se utilizó para la revisión descrita en el apartado anterior.

## Segunda Etapa

### Primera sub-etapa

Cámara fotográfica Panasonic y GPS Garmin Etrex 30, utilizados junto con el mapa de la microcuenca para obtener fotografías de los aspectos mencionados para esta sub-etapa.

### Segunda sub-etapa

Además de los equipos utilizados en la primera sub-etapas se utilizó una brújula para la medición de las diversas discontinuidades en las estaciones estructurales, también se utilizaron los formatos necesarios para los datos estructurales, también se utilizó una picota, protactor. Mientras que las unidades geomorfológicas fueron fotografiadas para el presente informe (su ángulo de inclinación fue medido con la brújula).

### Tercera sub-etapa

En la sub-etapa de hidrogeología se utilizó el medidor Ezodo multiparámetro (pH, C.E, salinidad, TDS, temperatura) con electrodos intercambiables modelo 7200, los datos obtenidos se llenaron en formatos de inventario de manantiales (ver en anexos).

### Cuarta sub-etapa

Para ésta etapa se utilizaron todos los instrumentos necesarios para recolección de muestras: cooler, depósitos esterilizados para muestras, reactivos de preservación, guantes quirúrgicos y todo lo necesario para cumplir con el protocolo de muestreo para laboratorio.



Fotografía 35. Materiales utilizados en la etapa de recolección de muestras.

## Quinta sub-etapa

Se realizó en su totalidad en el Laboratorio Regional del Agua – Cajamarca, por ser un laboratorio debidamente acreditado por el Instituto Nacional de Calidad – INACAL; ente encargado de normar, regularizar y acreditar los múltiples métodos y ensayos que se llevan a cabo en éste caso para determinar las características fisicoquímicas del agua y elementos mayoritarios, minoritarios y trazas existentes en las muestras de agua.

Los equipos, método y parámetros estudiados se detallan a continuación en la tabla 5.

Tabla 5. Ensayos realizados en laboratorio.

<b>Ensayo</b>	<b>Unidad</b>	<b>Método de ensayo utilizado</b>
Metales por ICP-OES (Ag, Al, As, B, Ba, Be, Bi, Ca, Cd, Co, Cu, Cr, Fe, K, Li, Mn, Mg, Mo, Na, Ni, P, Pb, S, Sb, Se, Si, Sr, Ti, Tl, U, V, Zn).	mg/L	EPA 200.7. Rev 4.4.1994. (Validado) PEQ1-5.4-01. Determination of metals and trace elements in water and wastes by inductively coupled plasma-atomic emission spectrometry.
Aniones (Fluoruro, Cloruro, Nitrito, Nromuro, Nitrato, Sulfato, Fosfato)	mg/L	EPA 300.1. Rev1. 1997. Determination of inorganic anions in drinking water by ion chromatography.
Conductividad a 25°C	uS/cm	SMEWW-APHA-AWWA-WEF. Part2510. B. 22 <sup>nd</sup> Ed. 2012. Conductivity. Laboratory Method.
Solidos Totales Disueltos	mg/L	SMEWW-APHA-AWWA-WEF. Part2540. C. 22 <sup>nd</sup> Ed. 2012. Solids. Total Dissolved Solids Dried at 180°C
Alcalinidad	mg CaCO <sub>3</sub> /L	SMEWW-APHA-AWWA-WEF. Part2520. B. 22 <sup>nd</sup> Ed. 2012. Alcalinity. Titration Method.
Bicarbonatos	mg CaCO <sub>3</sub> /L	SMEWW-APHA-AWWA-WEF. Part2520. B. 22 <sup>nd</sup> Ed. 2012. Alcalinity. Titration Method.
Dureza Total	mg CaCO <sub>3</sub> /L	SMEWW-APHA-AWWA-WEF. Part2340. C. 22 <sup>nd</sup> Ed. 2012. Hardness EDTA Titrimetric Method.



a su coeficiente de Compacidad ( $K_c$ ) se considera a la cuenca ovalada u oval oblonga (Farfán et al. 2010).

De acuerdo al factor de forma ( $F_f$ ) la microcuenca se caracteriza por ser alargada, además el colector presenta una diferencia considerable con respecto a sus tributarios, por lo que se considera sujeta a crecientes de menor magnitud, según a la pendiente media del río ( $I_c$ ) la cuenca se clasifica dentro de un relieve accidentado.

Tabla 7. (Continuación...) Parámetros Geomorfológicos de la microcuenca del río Paigual.

<b>Parámetros de Elevación del Terreno o Relieve de la Microcuenca</b>				
12	ALTITUD MEDIA DE LA MICROCUENCA	Hm	msnm	3061.63
13	MÉTODO DEL ÍNDICE DE PENDIENTE DE LA MICROCUENCA O PENDIENTE MEDIA DE LA MICROCUENCA	Ip		0.45
14	POLÍGONO DE FRECUENCIA DE ALTITUDES			
15	CURVA HIPSOMETRICA			
<b>Parámetro del Rectángulo Equivalente</b>				
16	PARÁMETRO DEL RECTÁNGULO EQUIVALENTE			
		L	Km	9.83
		I	Km	3.20
<b>Parámetro Declividad de los Cursos de Agua</b>				
17	PENDIENTE MEDIA DEL RIO	lc	m/Km	0.18
18	DECLIVE EQUIVALENTE CONSTANTE	S		0.15
19	PERFIL LONGITUDINAL DE LA MICROCUENCA			
<b>Parámetro del Coeficiente de Torrencialidad</b>				
20	COEFICIENTE DE TORRENCIALIDAD	Ct	rios 1er Or/Km2	2.23
<b>Parámetro del Coeficiente de Masividad</b>				
21	COEFICIENTE DE MASIVIDAD	Cm	m/Km2	97.37

### 3.3.2. Inventario de Manantiales y parámetros fisicoquímicos

A continuación, se detallan los manantiales y flujos superficiales inventariados, en todos los datos de ubicación utilizados el sistema de coordenadas utilizado es el WGS84.

Tabla 8. Parámetros fisicoquímicos - Manantial 001.

Datos de Ubicación	Parámetros Fisicoquímicos				
	pH	C.E (μS/cm)	T (°C)	T.D.S (ppm)	Salinidad (ppm)
Código: 001	8.18	288	11.8	176	136
N: 9187653					
E: 776428					
Cota: 2840					
Flujo: Estacional					
Tipo de fuente: Quebrada					
Caudal (L/s): 3					

Fotografía 36. Manantial 001.

Tabla 9. Parámetros fisicoquímicos - Manantial 002.

Datos de Ubicación	Parámetros Fisicoquímicos				
	pH	C.E (μS/cm)	T (°C)	T.D.S (ppm)	Salinidad (ppm)
Código: 002	6.63	230	15.1	150	113
N: 9187409					
E: 777051					
Cota: 2940					
Flujo: Permanente					
Tipo de fuente: Manantial					
Caudal (L/s): 0.01					

Fotografía 37. Manantial 002.

Datos de Ubicación	Parámetros Fisicoquímicos				
	pH	C.E (μS/cm)	T (°C)	T.D.S (ppm)	Salinidad (ppm)
Código: 003	8.44	335	14.6	218	165
N: 9187116					

E: 777870	
Cota: 3098	
Flujo: Estacional	
Tipo de fuente: Quebrada	
Caudal (L/s): 5.5	

Fotografía 38. Manantial 003.

Tabla 10. Parámetros fisicoquímicos - Manantial 003.

Tabla 11. Parámetros fisicoquímicos - Manantial 004.

Datos de Ubicación	Parámetros Fisicoquímicos				
	pH	C.E (μS/cm)	T (°C)	T.D.S (ppm)	Salinidad (ppm)
Código: 004	6.45	422	15.0	284	213
N: 9186915					
E: 777417					
Cota: 3133					
Flujo: Permanente					
Tipo de fuente: Manantial					
Caudal (L/s): 0.01					

Fotografía 39. Manantial 004.

Tabla 12. Parámetros fisicoquímicos - Manantial 005.

Datos de Ubicación	Parámetros Fisicoquímicos				
	pH	C.E (μS/cm)	T (°C)	T.D.S (ppm)	Salinidad (ppm)
Código: 005	8.77	490	13.1	327	245
N: 9184650					
E: 778502					
Cota: 3489					
Flujo: Permanente					
Tipo de fuente: Quebrada					
Caudal (L/s): 6					

Fotografía 40. Manantial 005.

Tabla 13. Parámetros fisicoquímicos - Manantial 006.

Datos de Ubicación	Parámetros Fisicoquímicos				
	pH	C.E (μS/cm)	T (°C)	T.D.S (ppm)	Salinidad (ppm)
Código: 006	8.26	540	14.6	360	270
N: 9185670					
E: 778805					
Cota: 3453					
Flujo: Permanente					
Tipo de fuente: Manantial					
Caudal (L/s): 11					

Fotografía 41. Manantial 006.

Tabla 14. Parámetros fisicoquímicos - Manantial 007.

Datos de Ubicación	Parámetros Fisicoquímicos				
	pH	C.E (μS/cm)	T (°C)	T.D.S (ppm)	Salinidad (ppm)
Código: 007	8.32	670	14.6	445	334
N: 9185950					
E: 777586					
Cota: 3414					
Flujo: Estacional					
Tipo de fuente: Manantial					
Caudal (L/s): 0.13					

Fotografía 42. Manantial 007.

Tabla 15. Parámetros fisicoquímicos - Manantial 008.

Datos de Ubicación	Parámetros Fisicoquímicos				
	pH	C.E (μS/cm)	T (°C)	T.D.S (ppm)	Salinidad (ppm)
Código: 008	8.15	288	15.7	343	257
N: 9186300					
E: 777586					
Cota: 3250					
Flujo: Estacional					
Tipo de fuente: Manantial					
Caudal (L/s): -					

Fotografía 43. Manantial 008.

Tabla 16. Parámetros fisicoquímicos - Manantial 009.

Datos de Ubicación	Parámetros Fisicoquímicos				
	pH	C.E (μS/cm)	T (°C)	T.D.S (ppm)	Salinidad (ppm)
Código: 009	7.25	575	15.6	386	290
N: 9186672					
E: 776596					
Cota: 3149					
Flujo: Permanente					
Tipo de fuente: Manantial					
Caudal (L/s): -					
-					

Fotografía 44. Manantial 009.

Tabla 17. Parámetros fisicoquímicos - Manantial 010.

Datos de Ubicación	Parámetros Fisicoquímicos				
	pH	C.E (μS/cm)	T (°C)	T.D.S (ppm)	Salinidad (ppm)
Código: 010	8.35	412	14.3	274	207
N: 9187600					
E: 775249					
Cota: 3064					
Flujo: Permanente					
Tipo de fuente: Caverna					
Caudal (L/s): 9					
-					

Fotografía 45. Manantial 010.

Tabla 18. Parámetros fisicoquímicos - Manantial 011.

Datos de Ubicación	Parámetros Fisicoquímicos				
	pH	C.E (μS/cm)	T (°C)	T.D.S (ppm)	Salinidad (ppm)
Código: 011	6.19	196	17.2	133	100
N: 9188303					
E: 775849					
Cota: 2638					
Flujo: Permanente					
Tipo de fuente: Manantial					
Caudal (L/s): -					
-					

Fotografía 46. Manantial 011.

Tabla 19. Parámetros fisicoquímicos - Manantial 012.

Datos de Ubicación	Parámetros Fisicoquímicos				
	pH	C.E (μS/cm)	T (°C)	T.D.S (ppm)	Salinidad (ppm)
Código: 012	5.76	308	19.5	205	153
N: 9188418					
E: 775801					
Cota: 2617					
Flujo: Permanente					
Tipo de fuente: Manantial					
Caudal (L/s): -					

Fotografía 47. Manantial 012.

Tabla 20. Parámetros fisicoquímicos - Manantial 013.

Datos de Ubicación	Parámetros Fisicoquímicos				
	pH	C.E (μS/cm)	T (°C)	T.D.S (ppm)	Salinidad (ppm)
Código: 013	6.54	345	19.8	264	198
N: 9188748					
E: 775910					
Cota: 2495					
Flujo: Permanente					
Tipo de fuente: Quebrada					
Caudal (L/s): 0.3					

Fotografía 48. Manantial 13.

Tabla 21. Parámetros fisicoquímicos - Manantial 014.

Datos de Ubicación	Parámetros Fisicoquímicos				
	pH	C.E (μS/cm)	T (°C)	T.D.S (ppm)	Salinidad (ppm)
Código: 014	6.70	234	19.2	160	120
N: 9188324					
E: 775675					
Cota: 2631					
Flujo: Permanente					
Tipo de fuente: Manantial					
Caudal (L/s): -					

Fotografía 49. Manantial 14.

Tabla 22. Parámetros fisicoquímicos - Manantial 015.

Datos de Ubicación	Parámetros Fisicoquímicos				
	pH	C.E (μS/cm)	T (°C)	T.D.S (ppm)	Salinidad (ppm)
Código: 015	8.33	318	19.7	212	160
N: 9188090					
E: 775541					
Cota: 2941					
Flujo: Estacional					
Tipo de fuente: Manantial					
Caudal (L/s): -					

Fotografía 50. Manantial 015.

Tabla 23. Parámetros fisicoquímicos - Manantial 016.

Datos de Ubicación	Parámetros Fisicoquímicos				
	pH	C.E (μS/cm)	T (°C)	T.D.S (ppm)	Salinidad (ppm)
Código: 016	5.70	72	16.5	54	42
N: 9188408					
E: 776139					
Cota: 2638					
Flujo: Permanente					
Tipo de fuente: Manantial					
Caudal (L/s): -					

Fotografía 51. Manantial 016.

Tabla 24. Parámetros fisicoquímicos - Manantial 017.

Datos de Ubicación	Parámetros Fisicoquímicos				
	pH	C.E (μS/cm)	T (°C)	T.D.S (ppm)	Salinidad (ppm)
Código: 017	6.78	340	17.5	228	172
N: 9188347					
E: 776269					
Cota: 2650					
Flujo: Permanente					
Tipo de fuente: Manantial					
Caudal (L/s): -					

Fotografía 52. Manantial 017.

Tabla 25. Parámetros fisicoquímicos - Manantial 018.

Datos de Ubicación	Parámetros Fisicoquímicos				
	pH	C.E (μS/cm)	T (°C)	T.D.S (ppm)	Salinidad (ppm)
Código: 018	6.96	454	17.5	306	232
N: 9188340					
E: 776333					
Cota: 2648					
Flujo: Permanente					
Tipo de fuente: Manantial					
Caudal (L/s): -					

Fotografía 53. Manantial 018.

Tabla 26. Parámetros fisicoquímicos - Manantial 019.

Datos de Ubicación	Parámetros Fisicoquímicos				
	pH	C.E (μS/cm)	T (°C)	T.D.S (ppm)	Salinidad (ppm)
Código: 019	5.63	207	16.4	140	105
N: 9188484					
E: 776496					
Cota: 2621					
Flujo: Permanente					
Tipo de fuente: Manantial					
Caudal (L/s): -					

Fotografía 54. Manantial 019.

Tabla 27. Parámetros fisicoquímicos - Manantial 020.

Datos de Ubicación	Parámetros Fisicoquímicos				
	pH	C.E (μS/cm)	T (°C)	T.D.S (ppm)	Salinidad (ppm)
Código: 020	6.70	92	16.0	64	50
N: 9188983					
E: 776675					
Cota: 2553					
Flujo: Permanente					
Tipo de fuente: Quebrada					
Caudal (L/s): 0.15					

Fotografía 55. Manantial 020.

Tabla 28. Parámetros fisicoquímicos - Manantial 021.

Datos de Ubicación	Parámetros Fisicoquímicos				
	pH	C.E (μS/cm)	T (°C)	T.D.S (ppm)	Salinidad (ppm)
Código: 021	6.13	124	16.6	84	73
N: 9188718					
E: 776821					
Cota: 2528					
Flujo: Permanente					
Tipo de fuente: Manantial					
Caudal (L/s): -					

Fotografía 56. Manantial 021.

Tabla 29. Parámetros fisicoquímicos - Manantial 022.

Datos de Ubicación	Parámetros Fisicoquímicos				
	pH	C.E (μS/cm)	T (°C)	T.D.S (ppm)	Salinidad (ppm)
Código: 022	6.56	322	20.5	216	164
N: 9188792					
E: 777092					
Cota: 2493					
Flujo: Permanente					
Tipo de fuente: Manantial					
Caudal (L/s): -					

Fotografía 57. Manantial 022.

Tabla 30. Parámetros fisicoquímicos - Manantial 023.

Datos de Ubicación	Parámetros Fisicoquímicos				
	pH	C.E (μS/cm)	T (°C)	T.D.S (ppm)	Salinidad (ppm)
Código: 023	6.74	315	21	213	161
N: 9188700					
E: 777283					
Cota: 2508					
Flujo: Permanente					
Tipo de fuente: Manantial					
Caudal (L/s): -					

Fotografía 58. Manantial 023.

Tabla 31. Parámetros fisicoquímicos - Manantial 024.

Datos de Ubicación	Parámetros Fisicoquímicos				
	pH	C.E (μS/cm)	T (°C)	T.D.S (ppm)	Salinidad (ppm)
Código: 024	6.39	295	20.3	198	148
N: 9188459					
E: 777177					
Cota: 2582					
Flujo: Estacional					
Tipo de fuente: Manantial					
Caudal (L/s): -					

Fotografía 59. Manantial 024.

Tabla 32. Parámetros fisicoquímicos - Manantial 025.

Datos de Ubicación	Parámetros Fisicoquímicos				
	pH	C.E (μS/cm)	T (°C)	T.D.S (ppm)	Salinidad (ppm)
Código: 025	5.76	258	22.1	172	129
N: 9188222					
E: 776790					
Cota: 2695					
Flujo: Permanente					
Tipo de fuente: Manantial					
Caudal (L/s): -					

Fotografía 60. Manantial 025.

Tabla 33. Parámetros fisicoquímicos - Manantial 026.

Datos de Ubicación	Parámetros Fisicoquímicos				
	pH	C.E (μS/cm)	T (°C)	T.D.S (ppm)	Salinidad (ppm)
Código: 026	8.58	327	18.9	217	164
N: 9188222					
E: 776010					
Cota: 2680					
Flujo: Permanente					
Tipo de fuente: Quebrada					
Caudal (L/s): 7					

Fotografía 61. Manantial 026.

Tabla 34. Parámetros fisicoquímicos - Manantial 027.

Datos de Ubicación	Parámetros Fisicoquímicos				
	pH	C.E (μS/cm)	T (°C)	T.D.S (ppm)	Salinidad (ppm)
Código: 027	6.47	125	17.3	85	61
N: 9187491					
E: 776051					
Cota: 2765					
Flujo: Permanente					
Tipo de fuente: Manantial					
Caudal (L/s): 0.01					

Fotografía 62. Manantial 027.

Tabla 35. Parámetros fisicoquímicos - Manantial 028.

Datos de Ubicación	Parámetros Fisicoquímicos				
	pH	C.E (μS/cm)	T (°C)	T.D.S (ppm)	Salinidad (ppm)
Código: 028	6.35	58	18	41	31
N: 9188805					
E: 775256					
Cota: 2490					
Flujo: Permanente					
Tipo de fuente: Manantial					
Caudal (L/s): -					

Fotografía 63. Manantial 028.

Tabla 36. Parámetros fisicoquímicos - Manantial 029.

Datos de Ubicación	Parámetros Fisicoquímicos				
	pH	C.E (μS/cm)	T (°C)	T.D.S (ppm)	Salinidad (ppm)
Código: 029	6.40	200	20.2	139	104
N: 9188972					
E: 775168					
Cota: 2447					
Flujo: Permanente					
Tipo de fuente: Manantial					
Caudal (L/s): 1					

Fotografía 64. Manantial 029.

Tabla 37. Parámetros fisicoquímicos - Manantial 030.

Datos de Ubicación	Parámetros Fisicoquímicos				
	pH	C.E (μS/cm)	T (°C)	T.D.S (ppm)	Salinidad (ppm)
Código: 030	7.34		14		
N: 9185870					
E: 780266					
Cota: 3522					
Flujo: Permanente					
Tipo de fuente: Manantial					
Caudal (L/s): 2.5					

Fotografía 65. Manantial 030.

Tabla 38. Parámetros fisicoquímicos - Manantial 031.

Datos de Ubicación	Parámetros Fisicoquímicos				
	pH	C.E (μS/cm)	T (°C)	T.D.S (ppm)	Salinidad (ppm)
Código: 031	6.87		13.8		
N: 9185571					
E: 780759					
Cota: 3696					
Flujo: Permanente					
Tipo de fuente: Manantial					
Caudal (L/s): 1					

Fotografía 66. Manantial 031.

Tabla 39. Parámetros fisicoquímicos - Manantial 032.

Datos de Ubicación	Parámetros Fisicoquímicos				
	pH	C.E (μS/cm)	T (°C)	T.D.S (ppm)	Salinidad (ppm)
Código: 032	7.15		13.7		
N: 9185535					
E: 779901					
Cota: 3717					
Flujo: Permanente					
Tipo de fuente: Manantial					
Caudal (L/s): 0.5					

Fotografía 67. Manantial 032.

Tabla 40. Parámetros fisicoquímicos - Manantial 033.

Datos de Ubicación	Parámetros Fisicoquímicos				
	pH	C.E (μS/cm)	T (°C)	T.D.S (ppm)	Salinidad (ppm)
Código: 033	7.68		13.04		
N: 9185490					
E: 780168					
Cota: 3738					
Flujo: Permanente					
Tipo de fuente: Manantial					
Caudal (L/s): 1					

Fotografía 68. Manantial 033.

Tabla 41. Parámetros fisicoquímicos - Manantial 034.

Datos de Ubicación	Parámetros Fisicoquímicos				
	pH	C.E (μS/cm)	T (°C)	T.D.S (ppm)	Salinidad (ppm)
Código: 034	7.27		13.2		
N: 9185550					
E: 780329					
Cota: 3713					
Flujo: Permanente					
Tipo de fuente: Manantial					
Caudal (L/s): 0.2					

Fotografía 69. Manantial 034.

Tabla 42. Parámetros fisicoquímicos - Manantial 035.

Datos de Ubicación	Parámetros Fisicoquímicos				
	pH	C.E (μS/cm)	T (°C)	T.D.S (ppm)	Salinidad (ppm)
Código: 035	7.73		13.1		
N: 9186163					
E: 780089					
Cota: 3623					
Flujo: Permanente					
Tipo de fuente: Manantial					
Caudal (L/s): 1					

Fotografía 70. Manantial 035.

Tabla 43. Parámetros fisicoquímicos - Manantial 036.

Datos de Ubicación	Parámetros Fisicoquímicos				
	pH	C.E (μS/cm)	T (°C)	T.D.S (ppm)	Salinidad (ppm)
Código: 036	8.64		12.4		
N: 9186275					
E: 779343					
Cota: 3676					
Flujo: Permanente					
Tipo de fuente: Quebrada					
Caudal (L/s): 3					

Fotografía 71. Manantial 036.

Tabla 44. Parámetros fisicoquímicos - Manantial 037.

Datos de Ubicación	Parámetros Fisicoquímicos				
	pH	C.E (μS/cm)	T (°C)	T.D.S (ppm)	Salinidad (ppm)
Código: 037	7.58		13.2		
N: 9186133					
E: 779166					
Cota: 3606					
Flujo: Permanente					
Tipo de fuente: Manantial					
Caudal (L/s): 0.3					

Fotografía 72. Manantial 037.

Tabla 45. Parámetros fisicoquímicos - Manantial 038.

Datos de Ubicación	Parámetros Fisicoquímicos				
	pH	C.E (μS/cm)	T (°C)	T.D.S (ppm)	Salinidad (ppm)
Código: 038	7.80		13.6		
N: 9186504					
E: 778813					
Cota: 3447					
Flujo: Permanente					
Tipo de fuente: Manantial					
Caudal (L/s): -					

Fotografía 73. Manantial 038.

Tabla 46. Parámetros fisicoquímicos - Manantial 039.

Datos de Ubicación	Parámetros Fisicoquímicos				
	pH	C.E (μS/cm)	T (°C)	T.D.S (ppm)	Salinidad (ppm)
Código: 039	8.30		15		
N: 9185988					
E: 778674					
Cota: 3536					
Flujo: Permanente					
Tipo de fuente: Manantial					
Caudal (L/s): 1					

Fotografía 74. Manantial 039.

Tabla 47. Parámetros fisicoquímicos - Manantial 040.

Datos de Ubicación	Parámetros Fisicoquímicos				
	pH	C.E (μS/cm)	T (°C)	T.D.S (ppm)	Salinidad (ppm)
Código: 040	8.29		15		
N: 9185954					
E: 780079					
Cota: 3514					
Flujo: Permanente					
Tipo de fuente: Manantial					
Caudal (L/s): 0.7					

Fotografía 75. Manantial 040.

Tabla 48. Parámetros fisicoquímicos - Manantial 041.

Datos de Ubicación	Parámetros Fisicoquímicos				
	pH	C.E (μS/cm)	T (°C)	T.D.S (ppm)	Salinidad (ppm)
Código: 041	7.63		15.7		
N: 9185988					
E: 780138					
Cota: 3475					
Flujo: Permanente					
Tipo de fuente: Manantial					
Caudal (L/s): -					

Fotografía 76. Manantial 041.

Tabla 49. Parámetros fisicoquímicos - Manantial 042.

Datos de Ubicación	Parámetros Fisicoquímicos				
	pH	C.E (μS/cm)	T (°C)	T.D.S (ppm)	Salinidad (ppm)
Código: 042	7.48		17.5		
N: 9187050					
E: 778129					
Cota: 2964					
Flujo: Permanente					
Tipo de fuente: Manantial					
Caudal (L/s): -					

Fotografía 77. Manantial 042.

### 3.3.3. Comportamiento Hidrogeológico

Peña et al. (2015) con el fin de realizar la caracterización hidrogeológica de la cuenca del Jequetepeque (a la que pertenece la microcuenca del río Paigual), realizaron pruebas de conductividad hidráulica y porosidad.

Dichos datos permiten establecer el comportamiento hidrogeológico de las formaciones presentes en la microcuenca Paigual, clasificándolas en: acuífero fisurado sedimentario, acuitardos sedimentarios y acuitardos intrusivos.

Tabla 50. Características hidrogeológicas de la microcuenca del río Paigual. (Peña et al. 2015)

N°	Formación Geológica	Descripción Litológica	Control Estructural	Conductiv. Hidráulica (m/día)	Porosidad (%)	Clasificación Hidrogeológica
1	Rocas intrusivas	Monzonita, granodiorita y diorita	Sills y diques	$10^{-9} - 10^{-5}$	0,01 - 1	Acuitardo intrusivo
8	Formación Farrat	Secuencia de areniscas cuarzosas blancas, de grano medio a grueso	Plegamientos, fallas y fracturas.	$1,06 \times 10^{-1}$	5 - 35	Acuífero fisurado sedimentario
9	Formación Inca	Areniscas calcáreas, calizas arenosas oolíticas ferruginosas y lutitas fosilíferas	Plegamientos.	$7,32 \times 10^{-2}$	5 - 35	Acuitardo sedimentario
10	Formación Chulec	Secuencia fosilífera de calizas arenosas, lutitas calcáreas y margas.	Fallas y plegamientos.	$9,51 \times 10^{-2}$	5 - 25	Acuitardo sedimentario

11	Formación Pariatambo	Intercalación de calizas (bituminosas, negruzcas, ferruginosas) con delgados estratos de lutitas, estratos calcáreos con nódulos.	Fallas y plegamientos	1,15x10 <sup>-1</sup>	5 - 25	Acuitardo sedimentario
12	Formación Yumagual	Secuencia de margas y calizas parduscas en estratos uniformes, delgados niveles de lutitas con presencia de fósiles	Fallas y plegamientos	0,5 – 10 <sup>-4</sup>	5 - 25	Acuitardo sedimentario
13	Grupo Quilquiñán Formación Mujarrún	Secuencia de calizas nodulares macizas, seguidas de intrercalación de lutitas y margas	Fallas y plegamientos	8,0 – 10 <sup>-2</sup>	5 - 25	Acuitardo sedimentario
14	Formación Cajamarca	Secuencia de estratos gruesos de calizas gris oscuras azuladas y fracturadas con karstificación y delgados estratos de lutitas.	Fallas, fracturas y plegamientos.	2,06x10 <sup>-1</sup>	5- 25	Acuífero fisurado sedimentario

### 3.3.2.1. Acuíferos fisurados sedimentarios

Son los acuíferos más importantes de la cuenca del Jequetepeque, ubicados en la parte alta y media de éstas, se caracterizan por presentarse plegados formando grandes estructuras (anticlinales y sinclinales), litológicamente corresponden a areniscas cuarzosas intercaladas con lutitas (Peña et al. 2015).

#### *Acuífero fisurado sedimentario Farrat*

Presenta areniscas cuarzosas de tamaño medio a grueso, con una dureza superior a las areniscas del acuífero Chimú, intercaladas con lutitas. Su porosidad, oscila entre 5% y 35%, y su conductividad son producto del tectonismo que sufrió dicha litología (Peña et al. 2015). En la microcuenca, se presenta como el acuífero principal, ocupando la parte central del antinclinal presente en ésta.

*Acuífero fisurado sedimentario Cajamarca* Se caracteriza por calizas altamente fracturadas e indicios de karstificación en la parte alta de la cuenca del Jequetepeque. En la microcuenca aflora en un área pequeña cercana a la laguna Mamacocha, a la que no se pudo acceder debido a problemas sociales existentes.

### 3.3.2.2. *Acuitardos sedimentarios*

#### *Acuitardo Inca*

Presenta intercalación de areniscas calcáreas, calizas y lutitas, aflora en los dos flancos del anticlinal que tiene como centro al acuífero Farrat. Para esta unidad la porosidad de las areniscas es de 16 % y para las lutitas es de 2 %. La permeabilidad medida en campo es de  $7.32 \times 10^{-2}$  m/día (ver tabla 46), por lo que se clasifica como acuitardo sedimentario. (Peña et al. 2015).

#### *Acuitardo Chulec*

Tiene intercalaciones de calizas con margas y lutitas, con características impermeables. Esta unidad aflora en la parte norte y centro de la microcuenca. La transmisibilidad y el afloramiento de las aguas subterráneas están condicionados por la presencia de plegamientos.

#### *Acuitardo Pariatambo*

Intercalación de calizas y lutitas, presenta una permeabilidad registrada en campo de  $1,15 \times 10^{-1}$  m/día (Fluquer Peña et al. 2015), la porosidad de las calizas varía entre 5% - 25%. Aflora en la parte norte de la microcuenca en la carretera Ogoriz – Asunción y en la parte suroeste el caserío Chiquildo.

#### *Acuitardo Yumagual*

Presenta intercalación de margas y calizas como litología principal. Aflora en los límites norte y sur de la microcuenca. La porosidad de las calizas es del 5 %–25 %. La presencia de margas y en algunos sectores lutitas condicionan su baja permeabilidad.

#### *Acuitardo Quilquiñan y Mujarrun*

La porosidad de las calizas es de 5 %, de las lutitas 2 % y de las areniscas es 14 %, la permeabilidad es inferior a 0,5 m/día. Aflora en la zona sur de la microcuenca alrededor del acuífero Cajamarca (formando un sinclinal que está fuera de la microcuenca).

### 3.3.2.3. *Acuitardos intrusivos.*

Se caracterizan por presentar una porosidad muy baja (menor a 1%), en la microcuenca se identifican dos afloramientos intrusivos (granodioritas), el primero en el caserío de Sapalí y el segundo en el caserío Chim Chin.

### 3.4. Tratamiento, análisis de datos y presentación de resultados

Las variables independientes fueron divididas en 3 grupos, para poder ser tratados cada uno de manera específica. Dichos grupos son: el primero correspondiente a permeabilidad y litología; el segundo corresponde a los parámetros fisicoquímicos (pH, STD, CE, T); el tercero corresponde a los cationes y aniones mayores ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$  y  $\text{CO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$   $\text{NO}_3^-$  respectivamente). También se analizaron otras variables químicas importantes para la comprensión de los fenómenos hidroquímicos como las relaciones iónicas de los diferentes elementos, índice de saturación de minerales y concentraciones de elementos minoritarios – metales pesados entre ellos.

Con respecto a la permeabilidad y litología (primer grupo), los datos fueron tomados de Peña et al. (2015) que realizó un trabajo de hidrogeología de la cuenca del río Jequetepeque – la microcuenca Paigual pertenece a ésta cuenca; en la tabla N° 52 del presente trabajo se muestran dichos datos que brindan valores de conductividad hidráulica, porosidad y clasificación hidrogeológica. Se procedió a depurar los datos que corresponden únicamente a la litología o geología de la microcuenca del río Paigual para poder generar un plano hidrogeológico de la microcuenca.

El segundo grupo correspondiente a los parámetros fisicoquímicos (pH, TDS, CE, T) – medidos en campo con un equipo multiparámetro - fueron introducidos a una hoja de cálculo Excel acompañados de la ubicación exacta donde fueron tomados para luego interpolarlos en el software ArcGis 10.3 y mostrarlos en diferentes gráficas de concentración correspondientes a cada parámetro con sus respectivas cantidades - con la finalidad de ver la distribución de estas en la microcuenca.

El tercer grupo de valores corresponde a las concentraciones de los iones mayores obtenidos de los resultados de las muestras que fueron enviadas al laboratorio. Estos datos fueron procesados en el software DIAGRAMMES 6.59 para generar Diagramas de Piper, Stiff y otro tipo de diagramas que ayuden en la interpretación de los datos obtenidos. El tratamiento de los elementos minoritarios también se realizó en éste software.

**CAPÍTULO IV**  
**ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS**

**4.1. Balance Iónico**

El punto de partida para verificar la validez de cualquier análisis fisicoquímico de aguas es el balance iónico, que se muestra a través de un porcentaje; como se mencionó anteriormente los autores coinciden en que tal balance no debe superar el 10% de error.

Tabla 51. Balance Iónico de las muestras (8) enviadas al laboratorio.

N°	Nombre de las muestras	TDS (ppm)	T (°C)	pH	Concentración (meq/L)		Balance (%)
					Cationes	Aniones	
1	Pozo pejez	74	13,4	7,68	0,78	0,75	+2
2	Fam. Sánchez	129	14	7,34	1,56	1,45	+4
3	El Chorro	125	14,6	8,26	1,55	1,40	+5
4	Fam. Pérez	155	17,5	7,48	2,04	1,96	+2
5	Loma de los zorros	25	22,1	5,76	0,37	0,27	+14
6	Sn Antonio	198	14,3	8,35	2,65	2,38	+5
7	Los espinos	187	19,7	8,33	2,32	2,77	-9
8	Río Alcaparrosa	314	18,4	7,43	3,93	4,24	-4

La tabla 51 muestra el resultado del balance de cada muestra, observamos que 7 de las 8 muestras totales cumplen tal condición, no siendo el caso en la muestra N°5 – Loma de los zorros que presenta un 14% de error; sin embargo, al observar los valores de conductividad eléctrica de la muestra verificamos que corresponde a 24.6 uS/cm siendo la más baja y de acuerdo con Custodio y Llamas (1983) es un valor permisible.

**4.2. Relaciones entre iones – Índices Hidrogeoquímicos**

**4.2.1. Relación Ca/Mg**

En la relación iónica Ca – Mg, la línea punteada muestra una relación lineal ideal entre ambos iones; observamos notoriamente la predominancia de enriquecimiento de Ca con respecto al Mg. Además, observamos que el aumento de concentración de Ca es gradual y sostenido desde la parte alta de la microcuenca (con valores menores) hasta la parte baja

de la microcuenca (con valores mayores). Con respecto al ion Mg, la flecha de tendencia nos muestra igualmente el aumento proporcional de éste ion a lo largo de la microcuenca, pero con valores menores.

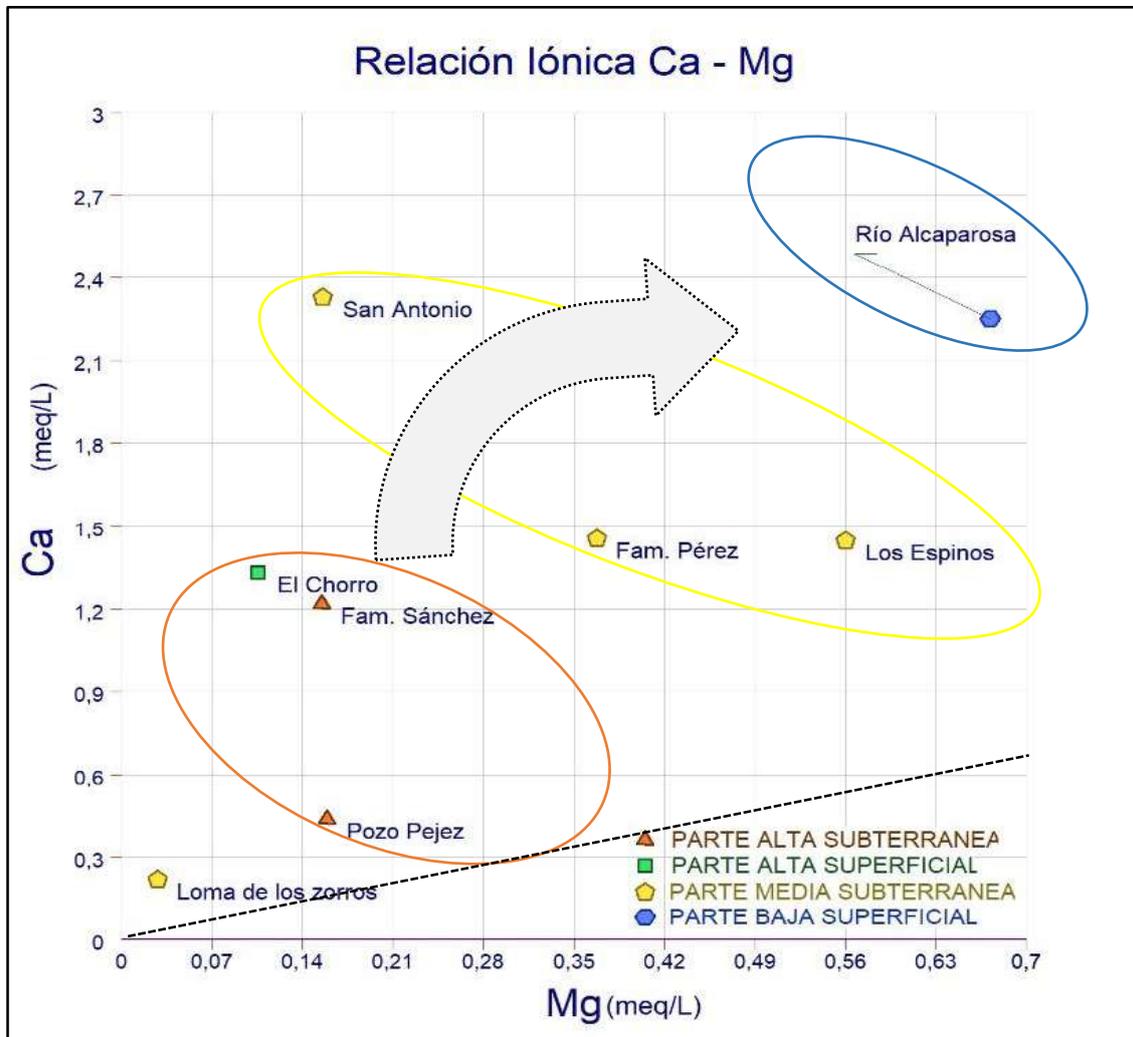


Figura 16. Relación Iónica Ca/Mg, que muestra un aumento proporcional de ambos cationes a lo largo de la microcuenca.

Adicionalmente Custodio y Llamas (1983) señalan primeramente que una relación Mg/Ca menor a 1 es un indicador de que las aguas a han atravesado terrenos dolomíticos y/o de calizas y que cuando ocurren procesos de precipitación de  $\text{CaCO}_3$  aumenta la relación Mg/Ca y en caso de procesos de disolución de calizas ésta relación disminuye, en la tabla N° 52 observamos en la fila Mg/Ca los valores de ésta relación iónica: los valores menores corresponden a la caverna San Antonio y la quebrada El Chorro, con valores de 0,08 y 0,07 respectivamente. Mientras que los valores mas altos superan el 0.3 y corresponden a muestras tomadas en las tres partes de la microcuenca (alta, media y baja).

#### 4.2.2. Relación Cl/HCO<sub>3</sub>

La figura 18 muestra la relación existente entre los iones Cl<sup>-</sup> y HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> que denota un aumento progresivo y lineal de los bicarbonatos con respecto al cloruro (línea punteada negra), con una inflexión a partir de la parte media de la microcuenca hasta la parte baja – flecha punteada- que muestra un aumento bastante marcado del ión cloruro desde la parte media hasta la parte baja (río Alcaparrosa).

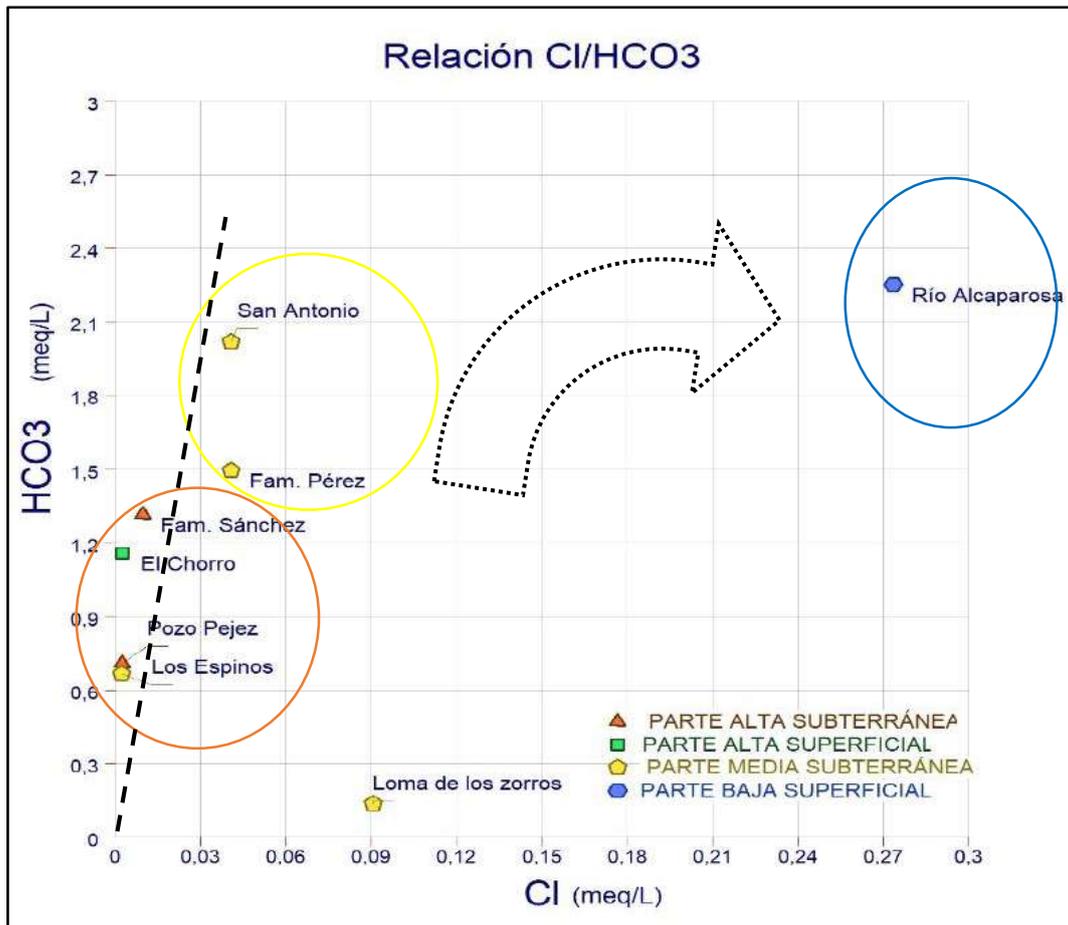


Figura 17. Relación Iónica Cl/HCO<sub>3</sub>, que muestra la relación entre la evolución de ésta relación iónica y la distribución espacial de la microcuenca.

Este comportamiento se explica debido a que el agua está en constante interacción con carbonatos (en menor o mayor medida) a lo largo de toda la microcuenca; pero en el límite entre la parte alta y la parte media se hacen notorias las áreas de cultivo y ganadería, y como indican Custodio y Llamas (1983), el incremento de cloruros es debido a la concentración de sales en zonas de regadío. En resumen la figura 18 nos muestra la incidencia que tiene el regadío en las evolución hidroquímica de las aguas de la microcuenca al aumentar cloruros ante una predominancia de carbonatos a lo largo de la microcuenca.

#### 4.2.3. Relación $\text{SO}_4/\text{Cl}$

En la figura 19 se observa la evolución hidroquímica de las aguas subterráneas con respecto a ion sulfato y el cloruro; puede observarse una distribución lineal de las concentraciones (a diferencia de la figura anterior), es decir existe un aumento progresivo y sostenido (aunque en pocos meq/L) de éste anión, cumpliéndose de esta manera la secuencia de Chevotarev descrita por Freeze y Cherry (1979) – en los aniones las aguas van evolucionando de una composición carbonatada a una sulfatada.

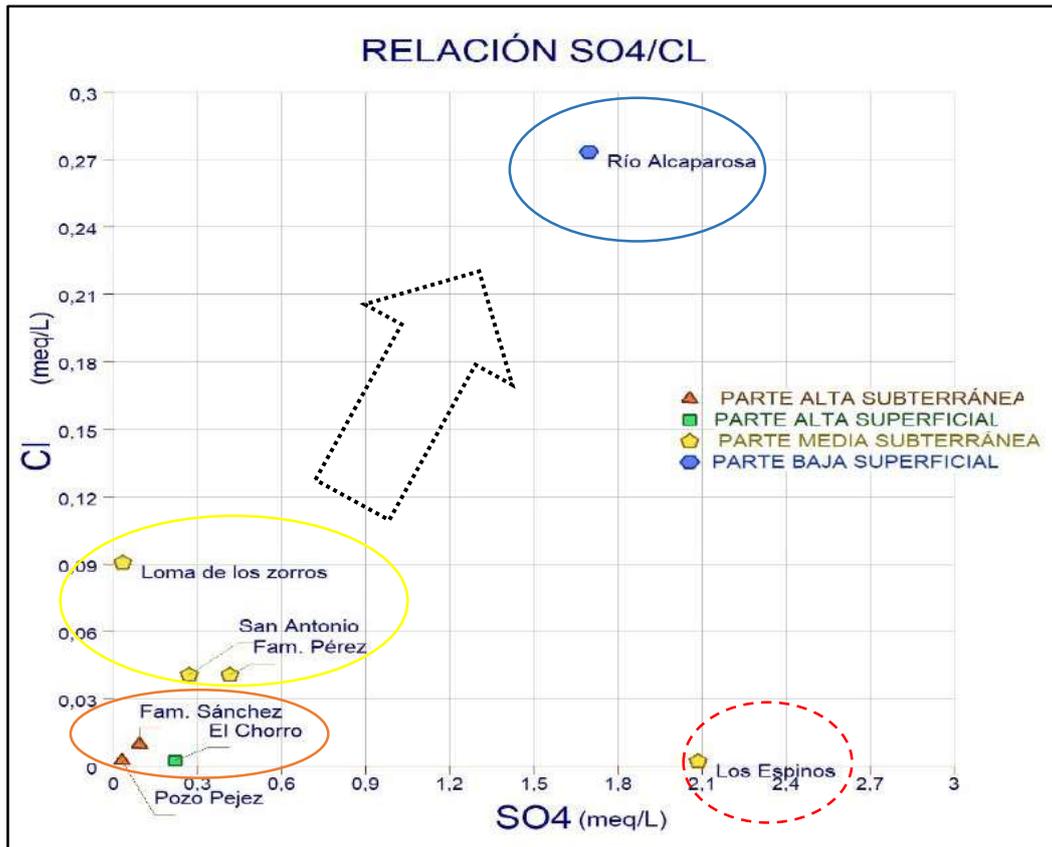


Figura 18. Relación  $\text{SO}_4/\text{Cl}$  que muestra una evolución sostenida en sulfatos y una posible contaminación puntual.

Se observa también el círculo rojo punteado que se considera un valor anómalo, debido a que la muestra fue tomada en la parte media de la microcuenca y tiene una concentración mayor con respecto al valor del río Alcaparrosa (parte inferior) y también porque el manantial de donde se realizó el muestreo corresponde a una zona meramente agrícola; la alta concentración probablemente viene del uso de fertilizantes que es común en la práctica agrícola de esta microcuenca.

#### 4.2.4. Relación SiO<sub>2</sub>/Cl

La figura 20 surge con la necesidad de analizar tanto el comportamiento del cloruro en función de la sílice (debido a la nula solubilidad de ésta en condiciones normales), como de la sílice en función al cloruro, debido a que éste se utiliza como elemento de referencia (en la presente investigación y en otras consultadas) en las relaciones iónicas gracias a su alta estabilidad química y que no está sujeta a procesos de disolución – precipitación, como mencionan Castillo y Morell (1988).

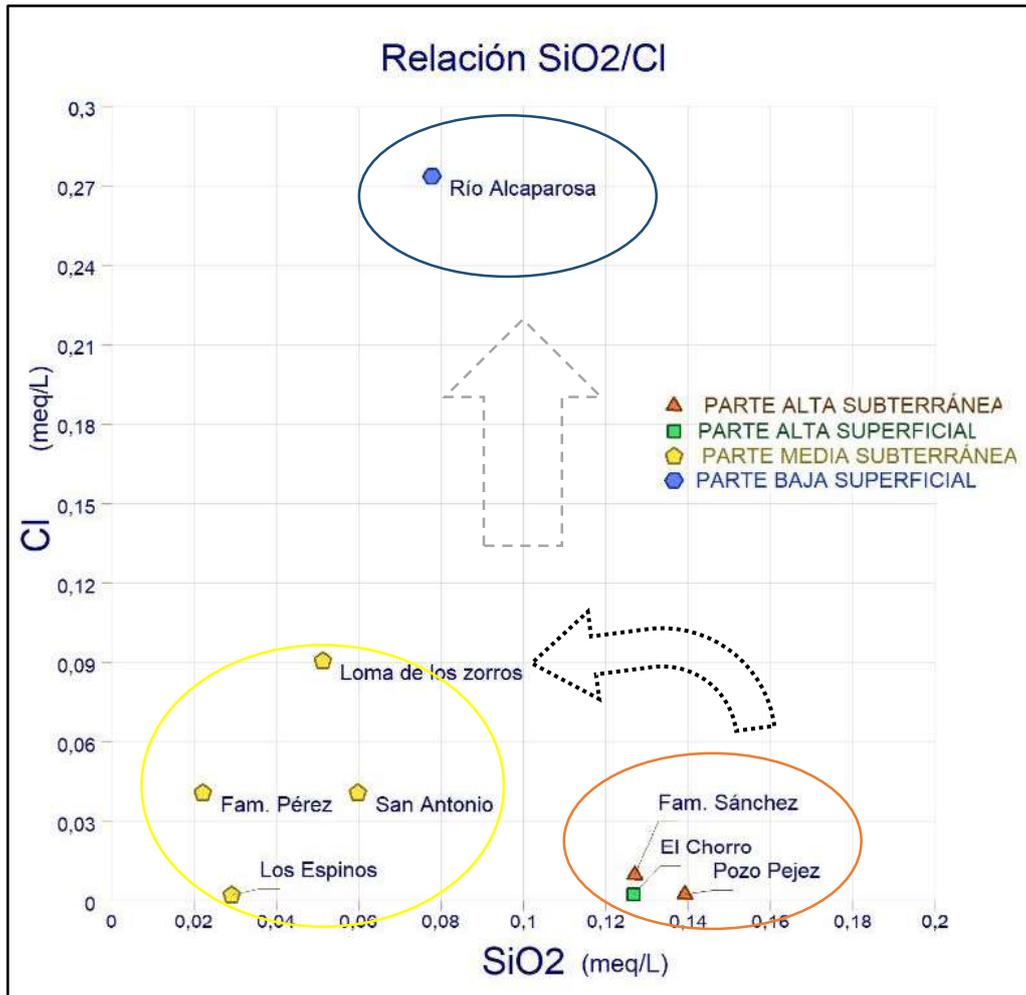


Figura 19. Relación SiO<sub>2</sub>/Cl, donde se observa tanto la evolución del cloruro como de la sílice en la microcuenca.

Lo primero que observamos es la disminución de la concentración de sílice en su recorrido desde la parte alta de la microcuenca hasta la parte media (flecha punteada negra horizontal), debido posiblemente al intrusivo granodiorítico ubicado en el extremo superior de la microcuenca que permite que en la parte alta se concentre sílice y a media que se desciende vaya precipitando y por ende disminuyendo su concentración hasta la

parte media de la microcuenca; en la parte inferior existe un ligero aumento que se podría adjudicar a materiales detríticos sueltos en el cauce del río Alcaparosa.

Con respecto al cloruro se observa un comportamiento igual que en la figura 19, es decir un ‘salto’ en la concentración de éste desde la parte media 0,05 –en promedio- hasta un 0,27 en la parte baja (denotado por la flecha punteada gris vertical); se mantiene además el ligero aumento desde la zona alta de microcuenca 0,01 hasta el valor de 0,05 ya mencionado en la parte media.

#### 4.2.5. Relación Ca/Cl - Mg/Cl - Na/Cl

La figura 21 muestra las relaciones iónicas entre los cationes Ca, Mg y Na con respecto al ion cloruro, con el fin de analizar la distribución de concentraciones espacial de éstos en la microcuenca; además de descartar el posible intercambio iónico de éstos, basados en la premisa de que en sistemas carbonatados el proceso fisicoquímico que prevalece es el de precipitación -disolución sobre el de intercambio iónico según Sen (2015).

En primer lugar, en los gráficos correspondientes a relaciones iónicas (a, b y c) están representados a través de una flecha punteada la amplitud de concentración de cada elemento (en miliequivalentes por litro) en las partes alta y media de la microcuenca, observamos cómo ésta flecha va haciéndose pequeña a medida que se pasa del calcio (a) hasta el sodio (c), lo que denota una composición predominante de calcio, secundada por magnesio hasta llegar al sodio en una relación proporcional, cumpliéndose de ésta manera una concentración ideal propuesta por Chevotarev (1956) y descartándose también un posible intercambio iónico (si éste fuera el caso la relación no fuera proporcional en éstos iones). Las partes a, b y c también presentan una línea vertical punteada negra que representa la concentración de cada ion en la parte inferior de la microcuenca (río Alcaparosa). Como se observa en las partes b y c la concentración de sodio es mayor a la de magnesio en éste punto, por lo que existe un aporte importante de sodio desde la parte media de la microcuenca hasta la parte inferior, posiblemente la fuente es el agua de regadío que permite una mayor concentración de sodio en comparación con el magnesio, (Fetter 2014).

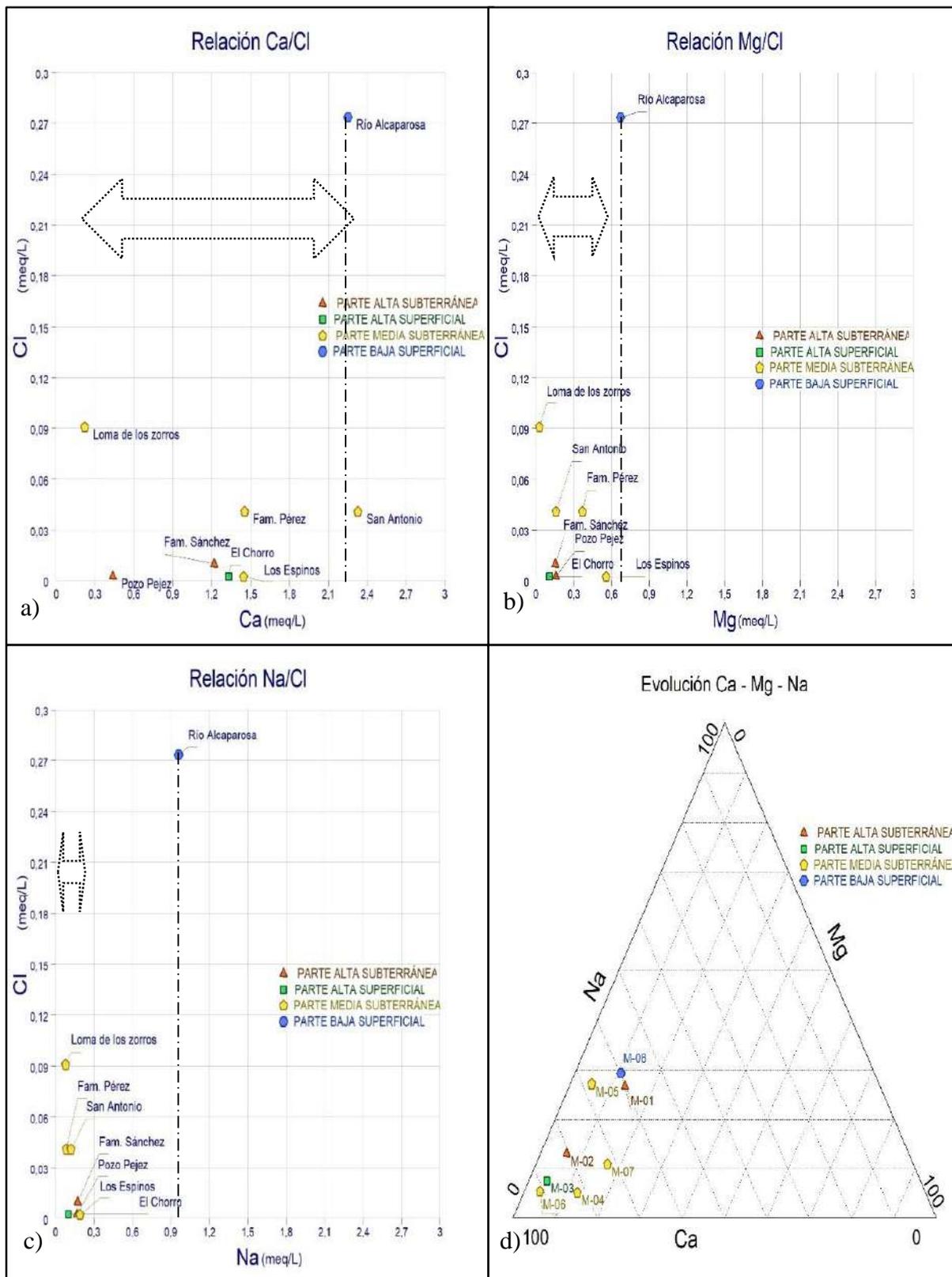


Figura 20. Evolución espacial de los cationes principales a partir de sus relaciones iónicas con el cloruro y un diagrama ternario.

### 4.3. Índice de Saturación de Minerales

Los minerales evaluados para el índice de saturación fueron, por parte de los carbonatos: la calcita, el aragonito y la dolomita; mientras que por los sulfatos son el yeso y la anhidrita, los cloruros no se han analizado debido a su baja concentración y a que son de mayor relevancia en estudios de intrusión en zonas costeras, Castillo y Morell (1988). Cada diagrama muestra el índice de saturación comparado con su catión principal.

#### 4.3.1. Índice de Saturación de Calcita

Se debe mencionar que con un valor de 0 de índice de saturación el mineral se encuentra en equilibrio, sin embargo se recomienda un valor de error de  $\pm 0.5$ . Las líneas horizontales rojas de las figuras 21, 22, 23, 24 y 25 muestran el rango en el que los minerales se encuentran en equilibrio, es decir no tienden ni a precipitar ni a disolver. En las figuras que solamente existe una línea es porque solo se muestra el límite mínimo de equilibrio y por ende ninguna muestra ha llegado a ese estado.

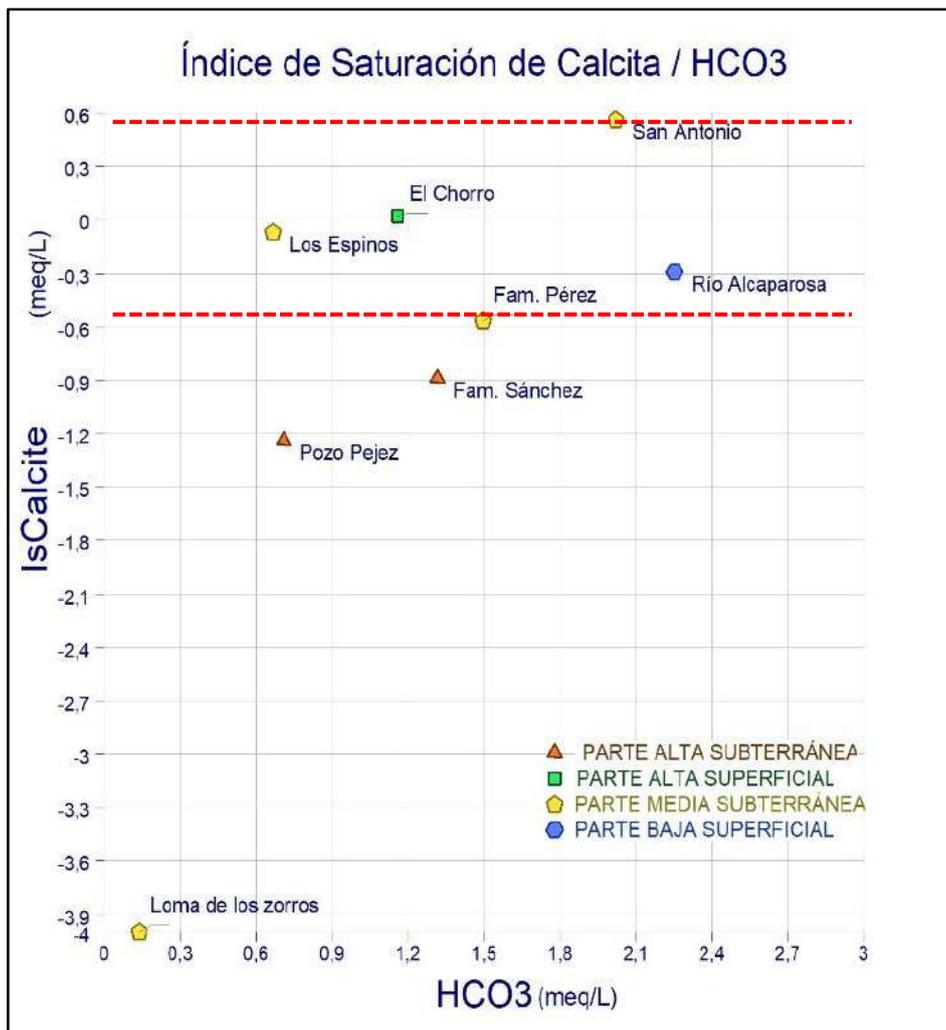


Figura 21. Índice de saturación de calcita en la microcuenca Paigual.

En la figura 22 se evidencia que teóricamente todas las muestras que se encuentran en las zonas media y baja están en un estado de equilibrio, mientras que las de la zona alta tienen un índice negativo, es decir en esta zona se dan procesos de disolución con mayor preponderancia que en las otras.

#### 4.3.2. Índice de Saturación de Aragonito

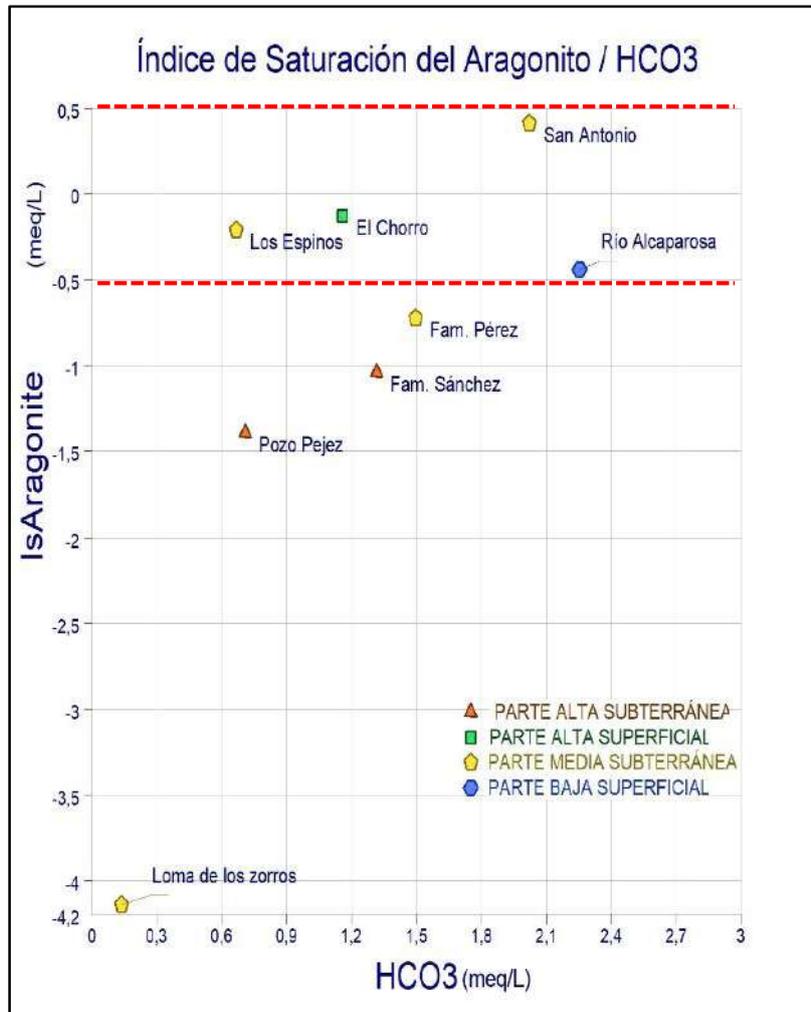


Figura 22. Índice de saturación del aragonito en la microcuenca Paigual.

El índice de saturación del aragonito, muestra que la saturación ha disminuido levemente con respecto a la calcita, pero manteniendo la misma tendencia de equilibrio en las zonas media y baja y de déficit en las muestras subterráneas de la zona alta, adicionando dos de la zona media.

### 4.3.3. Índice de Saturación de Dolomita

Para el caso del último mineral de los carbonatos (dolomita), cambia considerablemente el panorama (figura 24) debido a que ninguna muestra alcanza el equilibrio – solamente la muestra de San Antonio se acerca sin llegar al límite inferior; por lo que se deduce que para éste mineral carbonatado el agua subterránea continúa desarrollando procesos de disolución en las rocas de la microcuenca.

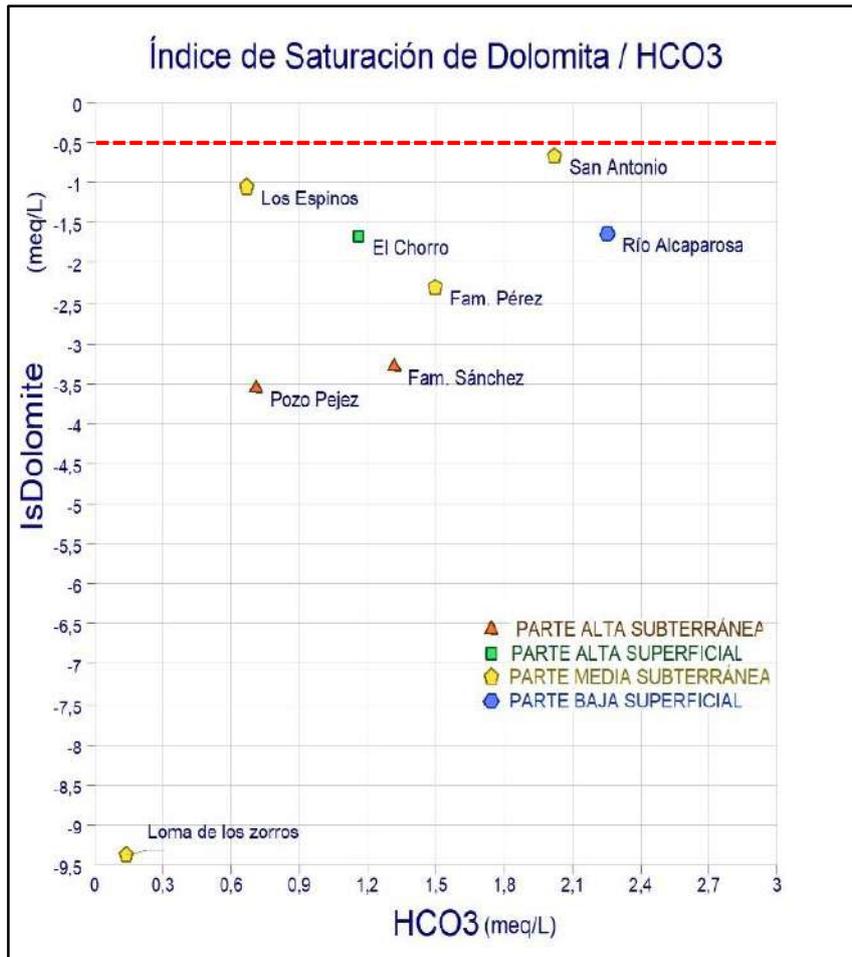


Figura 23. Índice de saturación de dolomita en la microcuenca Paigual.

#### 4.3.4. Índice de Saturación del Yeso y Anhidrita

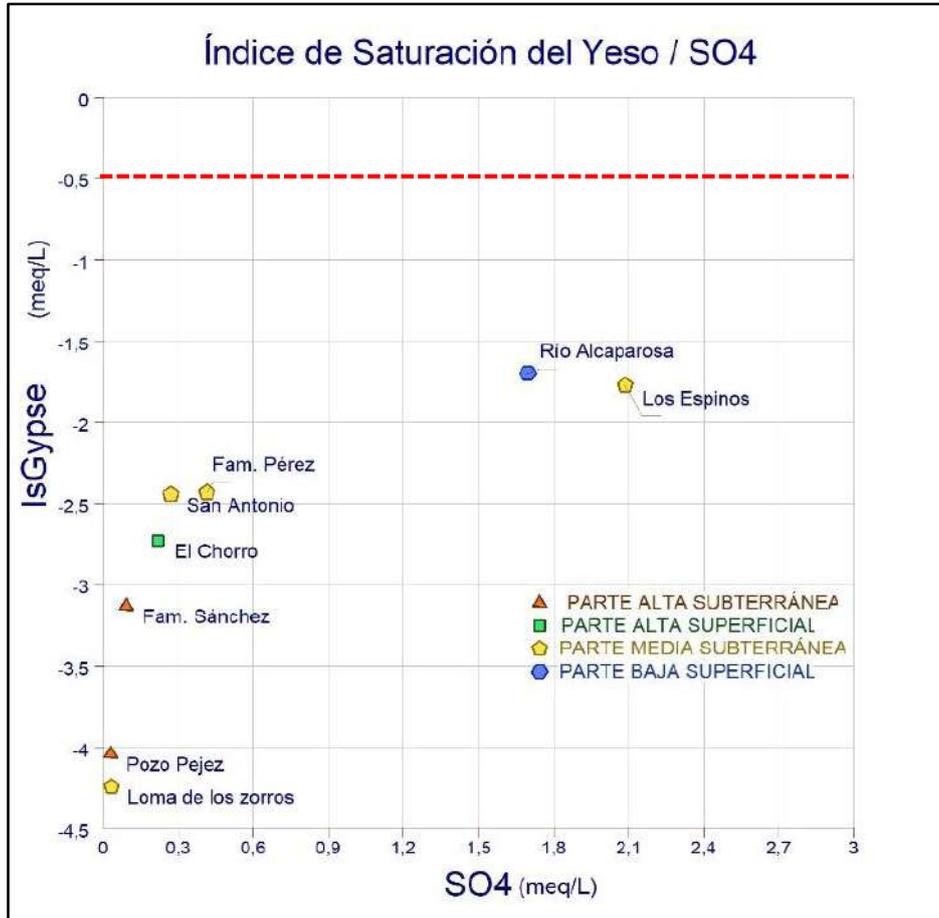


Figura 24. Índice de saturación del yeso en la microcuenca.

Para los minerales sulfatados (figuras 24 y 25) se nota claramente que no han alcanzado el estado de equilibrio, por lo que las aguas subterráneas de la microcuenca Paigual continúan sin una fuente de sulfato considerable, debido a la litología y a que aún se habla de una escala local y por ende un flujo local, debido a que la microcuenca está ubicada en la zona de cabecera de cuenca correspondiente al río Jequetepeque.

El hecho de que las aguas aún no se encuentren en equilibrio en el índice de saturación también ratifica que la muestra enriquecida en sulfato (Los Espinos), presenta una alta concentración debido a una contaminación puntual más que por interacción con litología sulfatada.

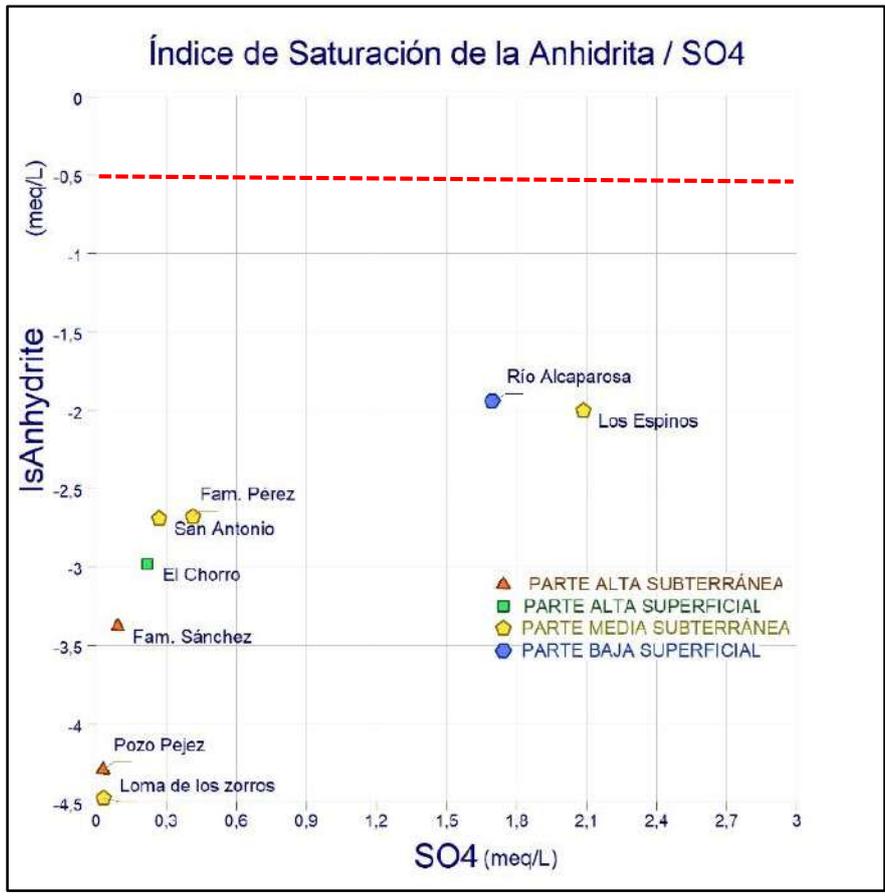


Figura 25. Índice de saturación de la anhidrita en la microcuenca Paigual.

En resumen los índices de saturación de los minerales tanto carbonatados como sulfatados nos han indicado que existe una mayor actividad de disolución de carbonatos en la zona alta de la microcuenca, continuando hasta la zona baja (por el índice de saturación negativo de la dolomita). En cuanto a los sulfatos, por ser un flujo local y no existir litología sulfatada (como yesos por ejemplo) aún no se ha alcanzado el equilibrio en los índices de saturación.

#### 4.4. Evolución Espacial de la Temperatura

Observamos en el plano de evolución espacial de la temperatura (ver anexo 1) los resultados de una extrapolación realizada con los datos de campo obtenidos con el equipo multiparámetro portátil ya descrito en el apartado de materiales, cada punto que se observa representa una medición realizada in situ. Resultado de la interpolación se decidió agrupar los valores de temperatura en 4 grupos –como se observa en el plano de temperatura.

Se denota una relación inversamente proporcional entre la cota de cada punto muestreado y la temperatura; es decir en la zona alta es donde se obtuvieron menores temperaturas y luego esta fue disminuyendo hasta alcanzar las mayores temperaturas en la zona baja de la microcuenca.

Custodio y Llamas (1983) señalan que la temperatura del agua subterránea es poco variable y que corresponde a la media de la temperatura anual atmosférica incrementada por el producto de la profundidad y del gradiente geotérmico (es decir un °C cada 33 metros de profundidad). Al observar las medidas de la figura 15 donde se observan las temperaturas máximas y mínimas mensuales de los últimos años y haciendo un cálculo para hallar la temperatura media atmosférica, ésta se calcula en 16,3 °C.

Teniendo en cuenta que todas las muestras fueron afloramiento se mantiene este valor al no estar influenciado por el gradiente geotérmico, entonces vemos que éste valor cabe en el segundo grupo de temperaturas (14,8 °C – 16,5 °C) correspondiente a la zona baja de la microcuenca, añadiendo también que la ubicación de la estación meteorológica está en la zona baja de la microcuenca; por lo que las temperaturas corresponden a los valores que muestra la teoría.

#### 4.5. Evolución del Potencia de Hidrógeno

En el plano de evolución del potencial de hidrógeno (ver anexo 2) observamos la interpolación de los valores puntuales de pH obtenidos en campo. Previo al análisis se debe especificar que Custodio y Llamas (1983) señalan que los valores de pH depende de la temperatura y crecen un 8% por cada °C, y los valores obtenidos en campo evidentemente se realizaron in situ y a diferentes temperaturas, por lo que es posible una pequeña variación en los valores presentados en el plano si se desearía homogenizar los

valores de pH a una temperatura determinada – Custodio y Llamas recomiendan a 18°C o 25°C.

Hecha la aclaración, observamos una distribución de valores de pH que gradúa desde valores próximos al 8,5 en la zona alta, disminuyendo progresivamente a lo largo de la microcuenca hasta alcanzar valores de 6,5 en la zona baja de la microcuenca.

Otro detalle no menos importante es que en la zona alta se observan tres rangos distintos de pH: el de menor valor ubicado en la parte derecha de la zona alta de la figura con valores que oscilan de 7 a 7,5 es decir de valores neutros corresponde al intrusivo granodiorítico; el de valor intermedio (7,5 a 8) corresponde al área donde se encuentra la quebrada Sapalí; y finalmente el valor mayor corresponde a afloramientos de calizas que en la clasificación hidrogeológica pertenece a acuitardos sedimentarios.

Entonces podemos deducir que la mayor alcalinidad -o mayor valor de pH- corresponde al agua que está en constante interacción con calizas que además presentan un flujo muy lento al ser acuitardo, y se evidencia también que los intrusivos presentes influyen dotando de valores más ácidos a las aguas (especialmente del flanco derecho donde es más notorio el cambio de pH) de la zona alta de la microcuenca.

La parte central denota claramente el recorrido de contrastes que sufre el agua al empezar su recorrido en un afloramiento intrusivo (dotándose de acidez), para luego encauzarse en una quebrada de mineralogía carbonatada predominante (dotándose de carácter alcalino) y además sufrir un flujo rápido al ser superficial, todo este contraste de materiales hace que obtenga un pH medio entre los otros valores de la zona alta de la microcuenca, con valores que oscilan entre 7,5 y 8.

#### 4.6. Diagramas Hidrogeoquímicos

##### 4.6.1. Diagramas de Stiff

En la presente investigación se ha decidido presentar los gráficos de los diagramas de Gibbs de acuerdo a la ubicación espacial de las muestras en tres grupos: 3 diagramas de la zona alta, 4 de la zona media y 1 de la zona baja de la microcuenca (figuras 29, 30 y 31 respectivamente), debido a que Sen (2015) menciona que los diagramas de Stiff que representan a diversas muestras de la misma familia tendrán similitud en el polígono irregular formado con un máximo de 10% de divergencia en su forma.

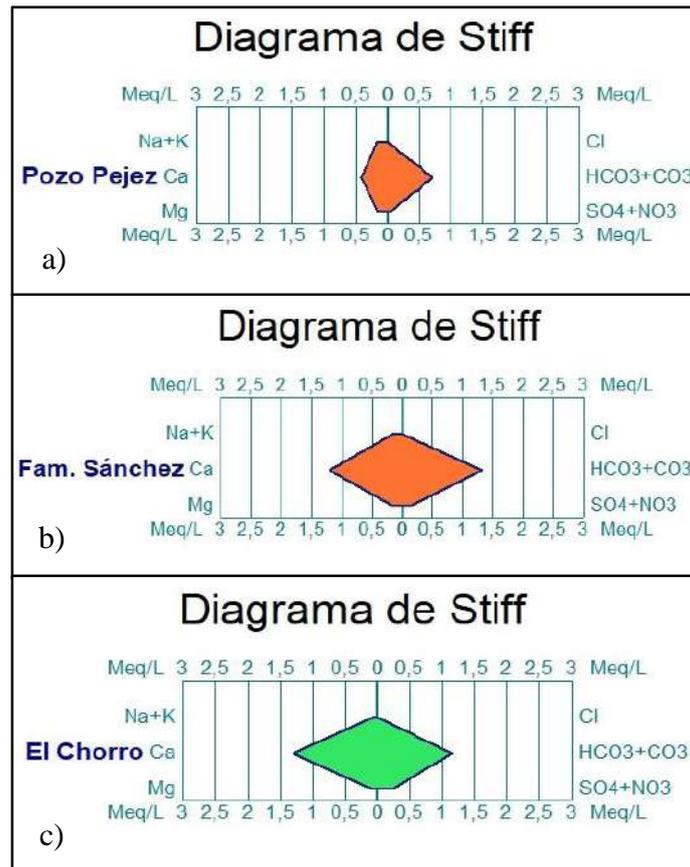


Figura 26. Diagramas de Stiff para las muestras de la zona alta de la microcuenca Paigual, dos subterráneas: a y b; y una superficial: c).

En la figura 27 se observa similitud en dos de los tres diagramas (b y c), que tienden a estar enriquecidos en carbonatos y bicarbonatos –cationes y el calcio en los aniones; en el diagrama a) se observa un leve enriquecimiento de carbonatos y bicarbonatos, sin mayor enriquecimiento en aniones. Éste último diagrama probablemente difiere de los dos anteriores porque la muestra fue obtenida en la zona de intrusivos y por ende aún no ha recorrido la zona de enriquecimiento de carbonatos (calizas). En conclusión los diagramas de Stiff de la zona alta de la microcuenca tienen predominancia en carbonatos y calcio.

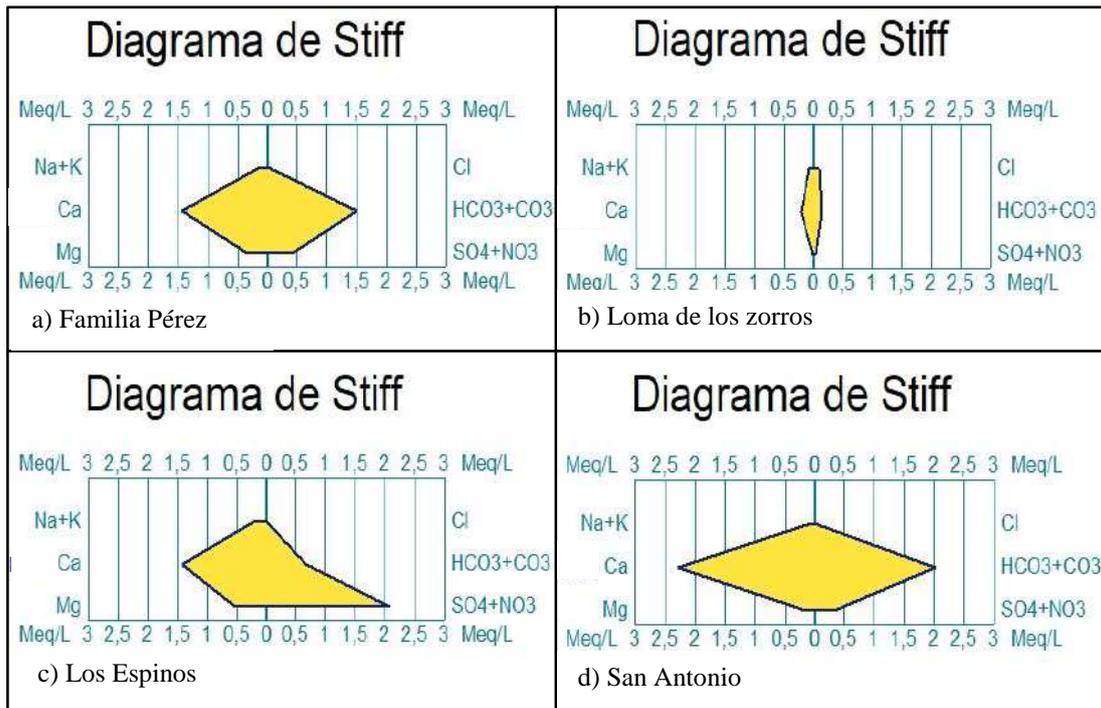


Figura 27. Diagramas de Stiff para las muestras de la zona media de la microcuenca Paigual, las cuatro son muestras subterráneas (la figura d es la caverna San Antonio).

La figura 27, que representa a la zona media de la microcuenca, se presenta más heterogénea. Llama la atención el diagrama b debido a su pobre mineralización que sin embargo encuentra fundamento en la baja cantidad de TDS y por ende de CE de la muestra.

El diagrama d, correspondiente a la caverna San Antonio tiene una forma similar a los diagramas de la zona alta de la microcuenca debido al flujo rápido de las aguas subterráneas por esta caverna y la adición de carbonatos y calcio en su trayecto.

Los diagramas a y c muestra una evolución química de las aguas subterráneas sobre todo en los cationes: el diagrama a) muestra un leve enriquecimiento en sulfato y Mg (con respecto a las muestras de la zona alta de la microcuenca), para hacerse notorio en el diagrama c) que pasa a ser predominante en el anión sulfato y eleva ligeramente su concentración en el catión Mg.

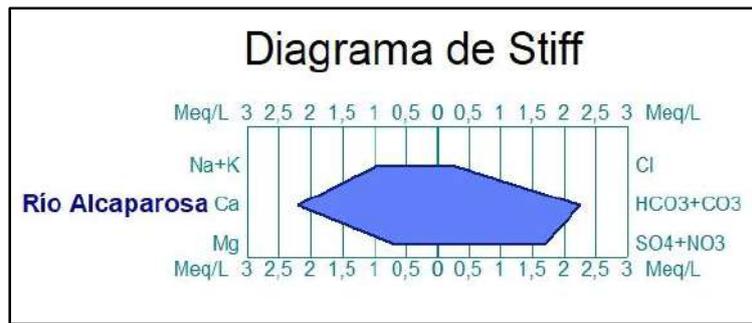


Figura 28. Diagrama de Stiff para la muestra de la zona baja de la microcuenca Paigual (correspondiente al río Alcaparrosa).

La figura 28 muestra el diagrama de Stiff correspondiente a la única muestra que se obtuvo de la zona baja de la microcuenca Paigual, correspondiente al río Alcaparrosa. Podemos observar que el diagrama muestra que las aguas han sido enriquecidas tanto en los aniones, como en los cationes. En los cationes en notoria la predominancia del Ca, secundado por Na y K y finalmente Mg.

Los resultados observados en este gráfico respaldan el análisis obtenido con respecto al Na (su aumento es generado a partir de sales provenientes de zonas de regadío a partir de la zona media de la microcuenca y que se hacen palpables en la zona baja), un caso similar ocurre en con los aniones, donde se observa enriquecimiento de sulfatos por el mismo motivo.

Entonces podemos inferir que en la composición final de las aguas subterráneas de la microcuenca existe predominancia de la litología (por los carbonatos y el calcio) y en menor medida el incremento tanto de sulfatos como de sales de sodio y potasio, sin embargo, el diagrama de Gibbs nos ayudará a determinar con mayor precisión si ésta inferencia es correcta.

#### 4.6.2. Diagrama de Schoeller Berkaloff

En el diagrama de Schoeller - Berkaloff (figura 29), se han diferenciado también las zonas de la microcuenca con una coloración distintiva: los rojos (subterráneo) y el verde (superficial) corresponden a la zona alta; los azules a la zona media (a excepción del celeste por ser una caverna) y el color negro para la única muestra (superficial) de la zona baja de la microcuenca.

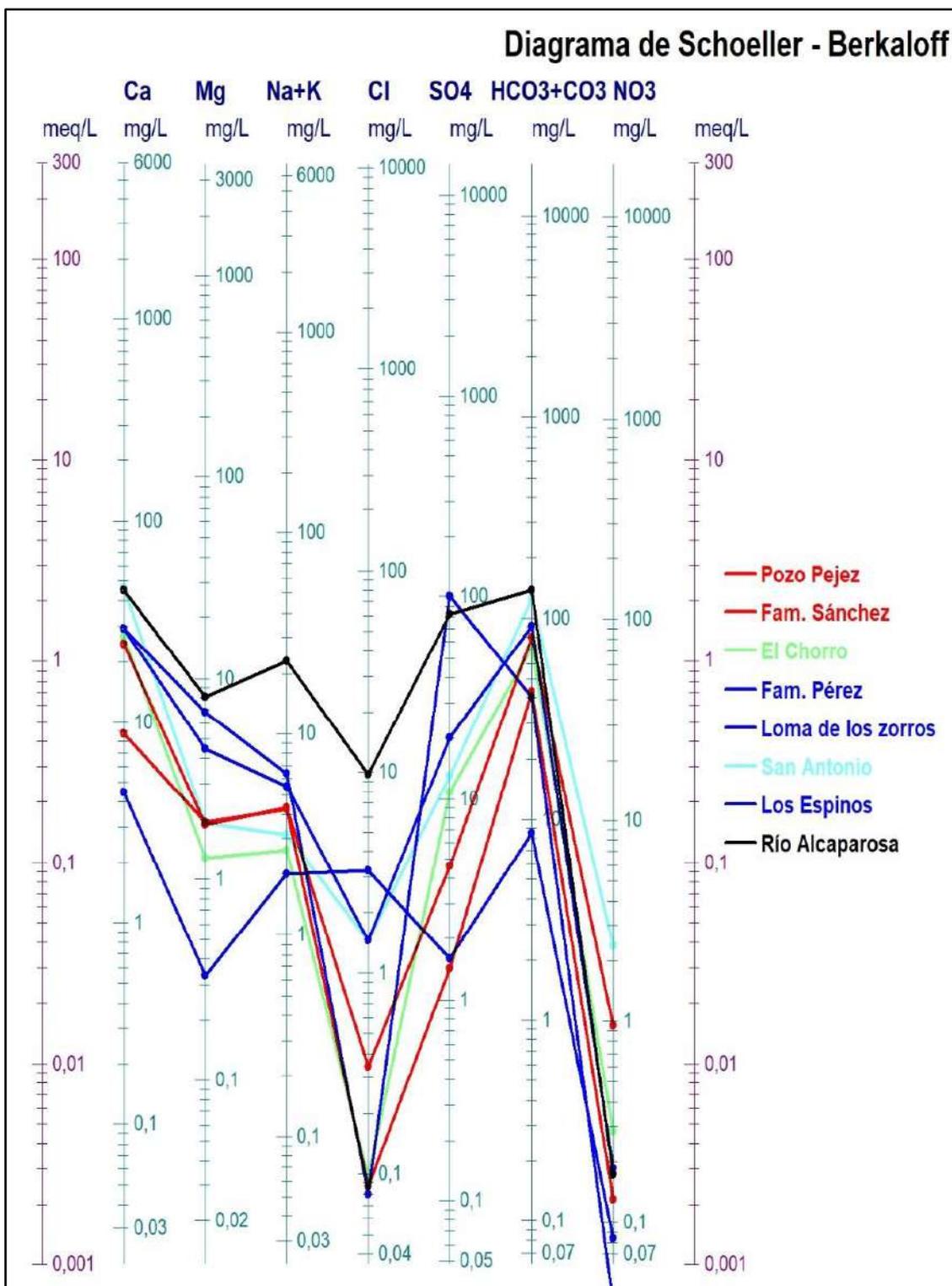


Figura 29. Diagrama de Schoeller - Berkaloff de la microcuenca Paigual.

En las muestras que corresponden a la zona alta de microcuenca observamos un notorio paralelismo en las líneas que unen los valores de los iones evaluados, lo que nos indica que las concentraciones iónicas guardan proporción entre las muestras y su grado de evolución hidroquímica es semejante, (Sen 2015).

Las muestras de la zona media de la microcuenca también presentan paralelismo pero con un mayor rango de valores, lo que indica una evolución más marcada, es decir con mayores concentraciones de los iones; a excepción de la muestra denominada Loma de los zorros, que a diferencia del resto no grafica en el centro una “v”, sino más bien adopta la forma de una “w” debido a una alta concentración (relativa) de cloruros y sodio. Es importante hacer notar también la elevada concentración de sulfatos de la muestra denominada Los Espinos.

Finalmente la muestra en color negro, que pertenece a la zona baja de la microcuenca, es un reflejo (por el paralelismo entre las líneas que unen los valores de los iones) de las muestras anteriores de la zona alta y media, mostrándose la disposición en “v” de todas las muestras, a excepción de la obtenida en la loma de Los zorros. La diferencia de esta muestra es que presenta una pendiente menos marcada porque las líneas son más cortas, mostrando un enriquecimiento progresivo de los iones representados en el diagrama.

#### 4.6.3. Diagrama de Piper

La figura 30 muestra las familias hidrogeoquímicas a las que pertenecen las muestras tanto en los aniones (a), como en los cationes (b). En ambos casos las líneas magenta representan el límite entre tales familias, a decir: en los aniones son el límite entre las aguas cloruradas (parte inferior derecha del triángulo), bicarbonatadas – carbonatadas (parte inferior izquierda) y sulfatas (parte superior o ápice del triángulo); mientras que en los cationes son el límite entre aguas cálcicas (parte inferior izquierda del triángulo), sódicas (parte inferior derecha) y magnésicas (parte superior o ápice del triángulo).

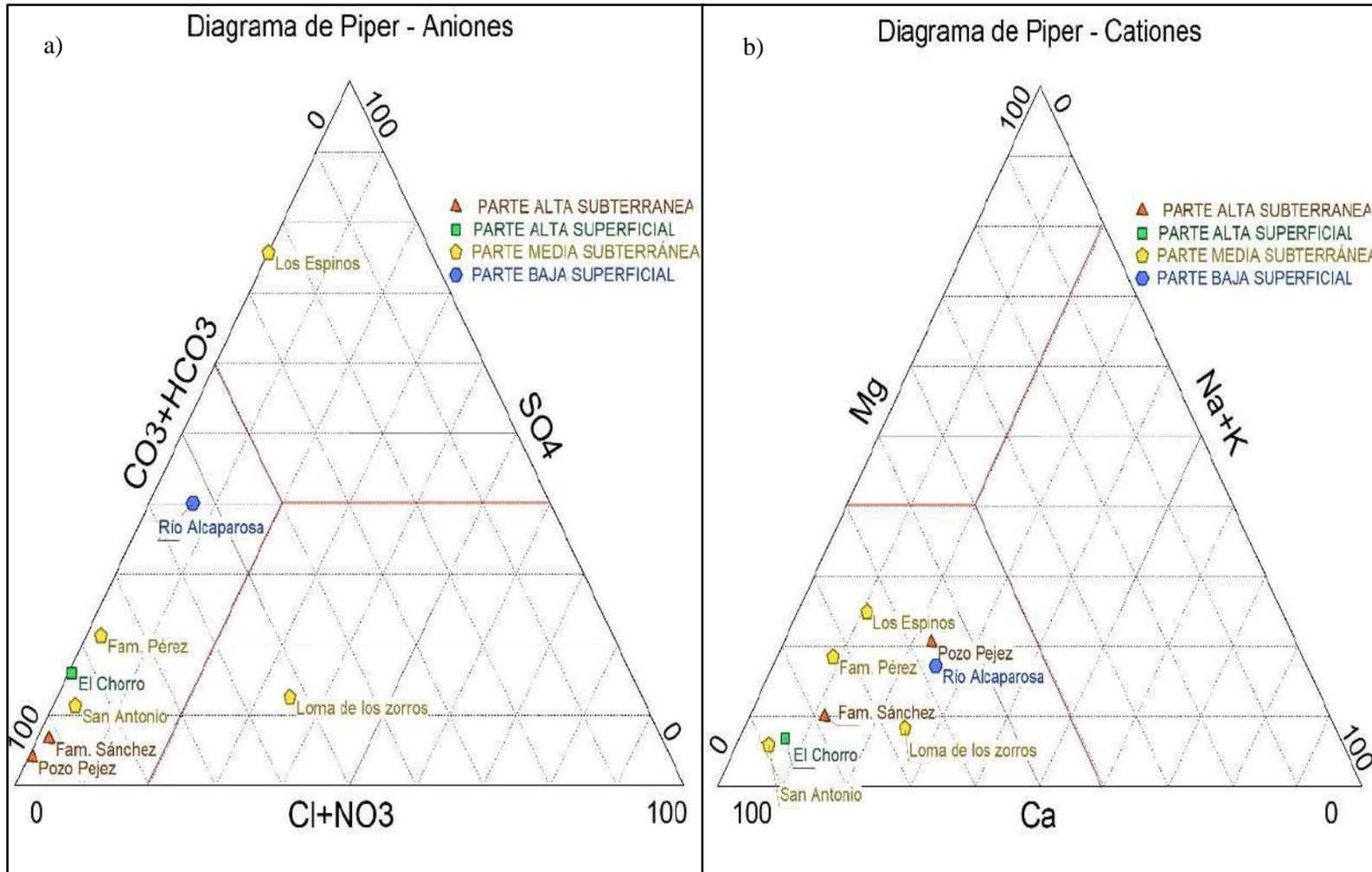


Figura 30. Diagrama de Piper para Aniones (a) y cationes (b), de la microcuenca Paigual.



Finalmente se presentan los resultados de las familias hidrogeoquímicas a la que pertenece cada muestra en la tabla 52, basados en Custodio y Llamas (1983).

Tabla 52. Tipos de familias hidrogeoquímicas de la microcuenca Paigual.

<b>N°</b>	<b>Nombre de muestra</b>	<b>Código</b>	<b>Tipo de muestra</b>	<b>Clasificación/Familia</b>
<b>01</b>	Pozo Pejez	M-01	Subterránea	Bicarbonatadas Cálcicas
<b>02</b>	Fam. Sánchez	M-02	Subterránea	Bicarbonatadas Cálcicas
<b>03</b>	El Chorro	M-03	Superficial	Bicarbonatadas Cálcicas
<b>04</b>	Fam. Pérez	M-04	Subterránea	Bicarbonatadas Cálcicas
<b>05</b>	Loma de los zorros	M-05	Subterránea	Sulfatadas Cálcicas
<b>06</b>	San Antonio	M-06	Subterránea	Bicarbonatadas Cálcicas
<b>07</b>	Los Espinos	M-07	Subterránea	Bicarbonatadas Cálcicas
<b>08</b>	Rio Alcaparrosa	M-08	Superficial	Bicarbonatadas Cálcicas

#### 4.6.4. Diagrama de Gibbs

En la figura 32 se observan los resultados, para la microcuenca Paigual, del diagrama que propuso Gibbs (1970), donde afirmó que eran tres los mecanismo principales de control de las sales disueltas del agua en el mundo, a decir: procesos de evaporación – cristalización, interacción agua roca y precipitación atmosférica. Observamos claramente que en el caso de la microcuenca Paigual es el mecanismo de interacción agua – roca el que controla la composición final de las aguas subterráneas, siendo entonces la litología de la microcuenca el factor determinante en la composición de las agua subterráneas de ésta.

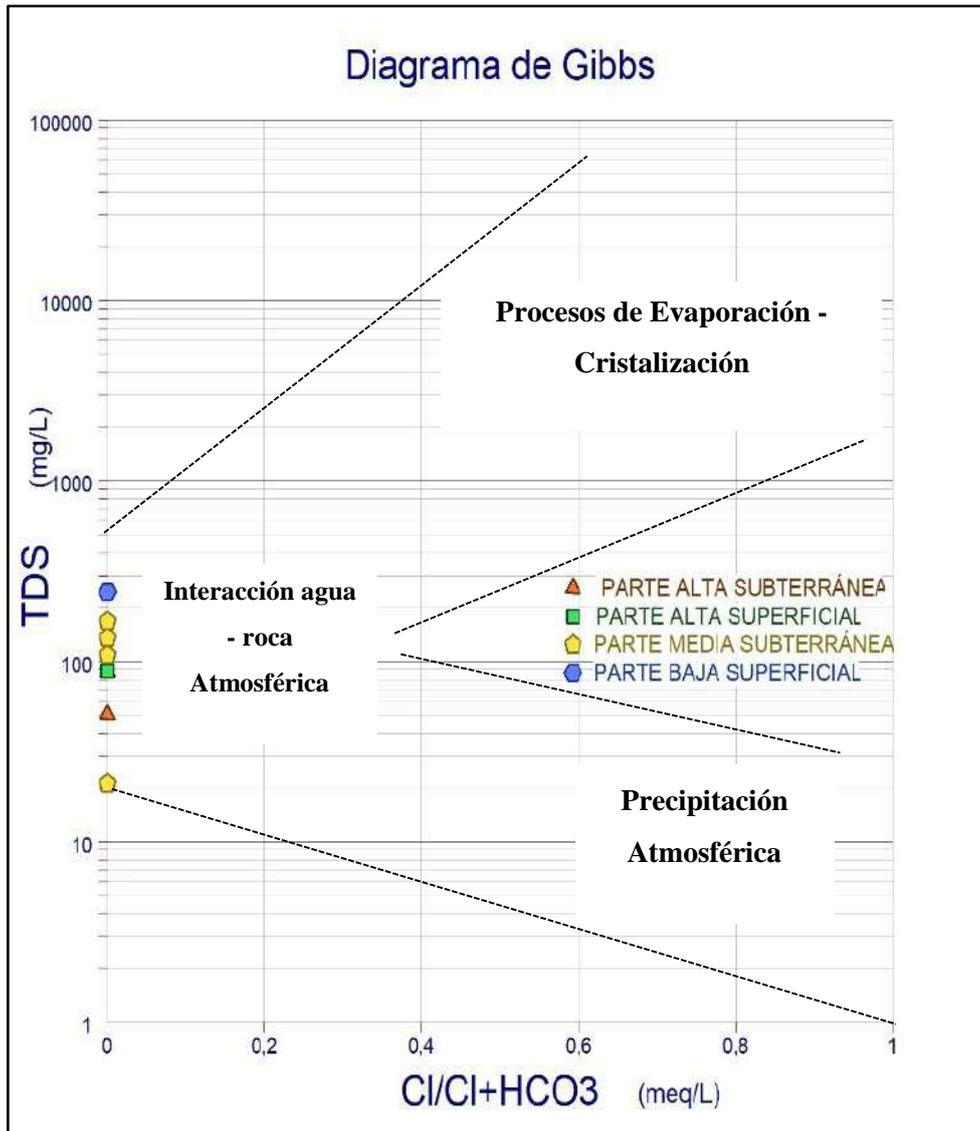


Figura 32. Diagrama de Gibbs de la microcuenca Paigual, basado en la relación de los aniones cloruro y bicarbonato y los TDS.

#### 4.7. Diagramas de Wilcox y Reverside para uso del agua

Wilcox, citado por Peinado et al. (2011), realizó un digrama en el cual se relacionan las variables conductividad eléctrica (CE) y porcentaje de sodio (Na); el cual permite la clasificación de aguas subterráneas para su uso en irrigación, dividiendo el gráfico en agua excelente, buena. Admisible, mediocre y mala. Observamos en la figura 33 que todas las muestras obtenidas corresponden a la clasificación de agua excelente para su uso en irrigación debido a su bajo porcentaje de sodio (Na) y baja conductividad eléctrica (CE).

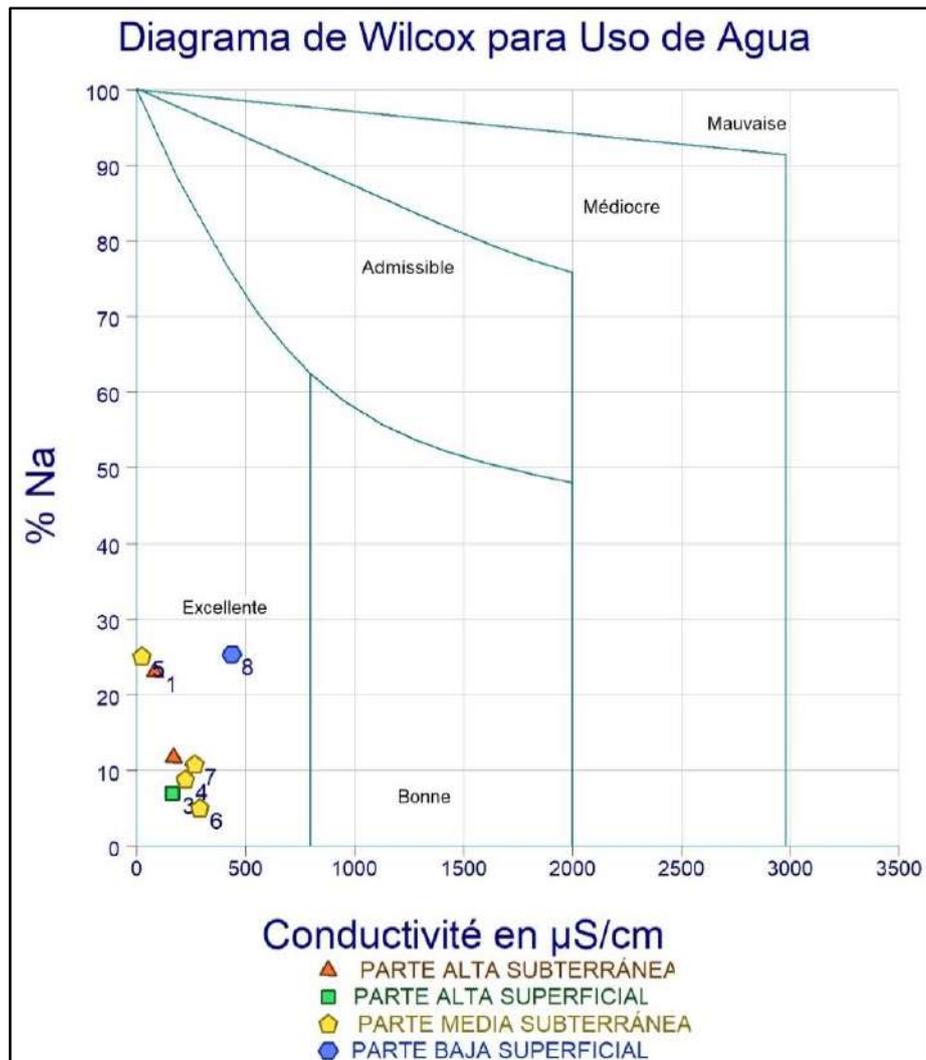


Figura 33. Diagrama de Wilcox para uso de agua en irrigación de la microcuenca Paigual.

La figura 34 también muestra un diagrama para la misma clasificación, pero basado, además de la CE, en la relación de absorción de sodio (SAR); esto debido a que la concentración de  $\text{Na}^+$  puede reducir la permeabilidad del suelo, por lo que a medida que aumenta el SAR el agua se hace menos favorable para su uso en irrigación. La figura 32 muestra un bajo índice (faible 1) de SAR, por lo que se reafirma la calidad de agua para su utilización en regadío.

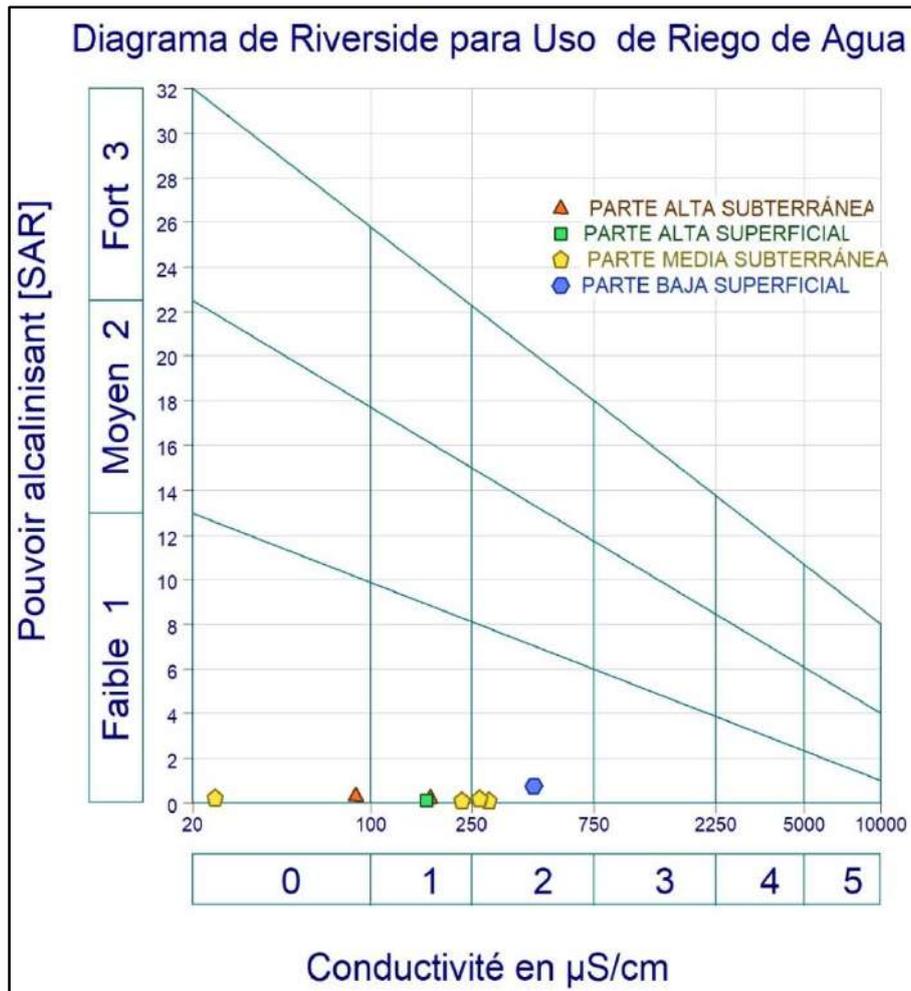


Figura 34. Diagrama de Riverside para uso de agua en irrigación de la microcuenca Paigual.

#### 4.8. Dureza del agua

Una característica de las aguas domésticas del distrito de Asunción y que encaja con las propiedades fisicoquímicas estudiadas es la dureza, debido a que el agua potable tiene poca capacidad para disolver jabón. Las iones que causan dureza son el calcio, el magnesio y en menor medida el hierro, Freeze y Cherry (1979); por lo que se elaboró un diagrama de correlación entre la dureza y el calcio (figura 36-a) y la dureza con el magnesio (36-b). Se calculó además el modelo matemático de regresión lineal para calcular la relación de dependencia teniendo como variable independiente (eje x) a la dureza y como variables independientes al calcio y magnesio respectivamente representados en el eje y. Los resultados nos indican una relación de 0.94 para el calcio y de 0.56 para el magnesio (también se calculó para el hierro obteniéndose 0.14 y por ser un valor muy bajo no se presenta la gráfica), por lo que se concluye que el elemento predominante que dota de dureza al agua es el calcio (Ca).

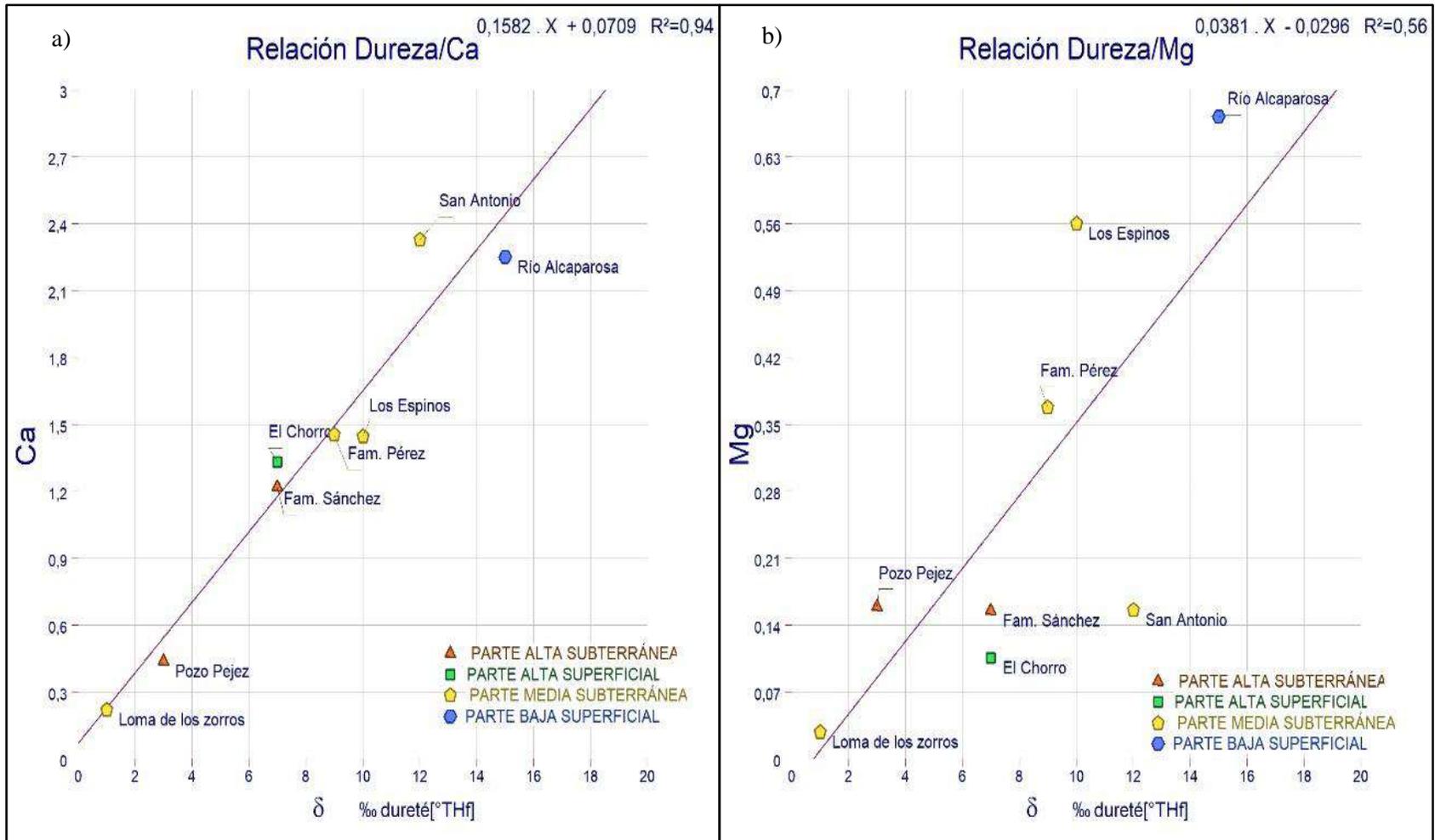


Figura 35. Diagrama de relación de la dureza con el calcio (a) y la dureza con el magnesio (b).

#### 4.9. Metales Pesados

Los metales pesados considerados constituyen elementos traza con una concentración de 0,01 a 0,001 ppm Davis y De Wiest (2009), como se observa en la tabla 55 todas las concentraciones de las muestras oscilan en estas cantidad (inclusive la mayoría de muestras tienen concentraciones bajo el límite de cuantificación de muestra o LCM).

El único caso donde existe una concentración relativamente alta es en la quebrada El Chorro, que tiene una concentración de 0,53 ppm de plata (Ag) que sale del rango de concentración de elementos traza, sin llegar a considerarse un riesgo para la salud OMS (2003).

Tabla 53. Concentración de metales pesados (ppm) en la microcuenca Paigual.

Concentración de Metales Pesados (ppm)										
Nombre	Código	As	Cd	Co	Cr	Cu	Ag	Ni	Pb	Zn
Pozo Pejez	M-01	< LCM	0,004	< LCM						
Fam. Sánchez	M-02	< LCM	0,003	0,004	< LCM					
El Chorro	M-03	< LCM	0,525	< LCM	0,004	< LCM				
Fam. Pérez	M-04	< LCM								
Loma de los zorros	M-05	< LCM								
San Antonio	M-06	< LCM								
Los Espinos	M-07	< LCM								
Río Alcaparosa	M-08	0,006	< LCM							
<i>Límite de Cuantificación (LCM)</i>		<i>0,003</i>	<i>0,002</i>	<i>0,002</i>	<i>0,002</i>	<i>0,014</i>	<i>0,017</i>	<i>0,002</i>	<i>0,003</i>	<i>0,016</i>

## CAPÍTULO V

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1. Conclusiones

- Las unidades hidrogeológicas presentes en la microcuenca corresponden a: acuífero fisurado sedimentario, acuitardo sedimentario y acuitardo intrusivo.
- La evolución espacial de la temperatura de las aguas subterráneas guarda estrecha relación con la temperatura meteórica, siguiendo valores teóricos establecidos por Custodio y Llamas (1983); además existe una alta correlación entre la variación del pH en la microcuenca y la litología que atraviesan las aguas subterráneas (siendo muy notorio en la zona alta de la microcuenca).
- Los diagramas de Stiff de la zona alta de la microcuenca muestra predominancia en carbonatos y calcio, con un enriquecimiento de sulfato y magnesio en la zona media de la microcuenca.
- Las familias hidrogeoquímicas existentes (diagrama de Gibbs) en la microcuenca corresponden a aguas bicarbonatadas sódicas y bicarbonatadas sulfatadas.
- El mecanismo de interacción agua – roca es el que controla la composición final de las aguas subterráneas, siendo entonces la litología de la microcuenca el factor determinante en la composición de las agua subterráneas.
- El elemento predominante que dota de dureza al agua es el calcio (Ca) con una relación de 0.94, obtenido a partir de una regresión lineal.
- Los diagramas de Wilcox y Riverside muestran que el agua de la microcuenca Paigual es excelente para su uso en regadío.

#### 5.2. Recomendaciones

- Se recomienda realizar un estudio específico para la caverna San Antonio, debido a que da indicios de procesos de karstificación.

- Un estudio de balance hídrico – hidrogeológico que abarque época de lluvias y estiaje ayudaría a entender mejor el comportamiento y variación de índices hidrogeoquímicos de la microcuenca.
- Se recomienda realizar un estudio específico de cómo afecta el agua de regadío la composición de las aguas subterráneas.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

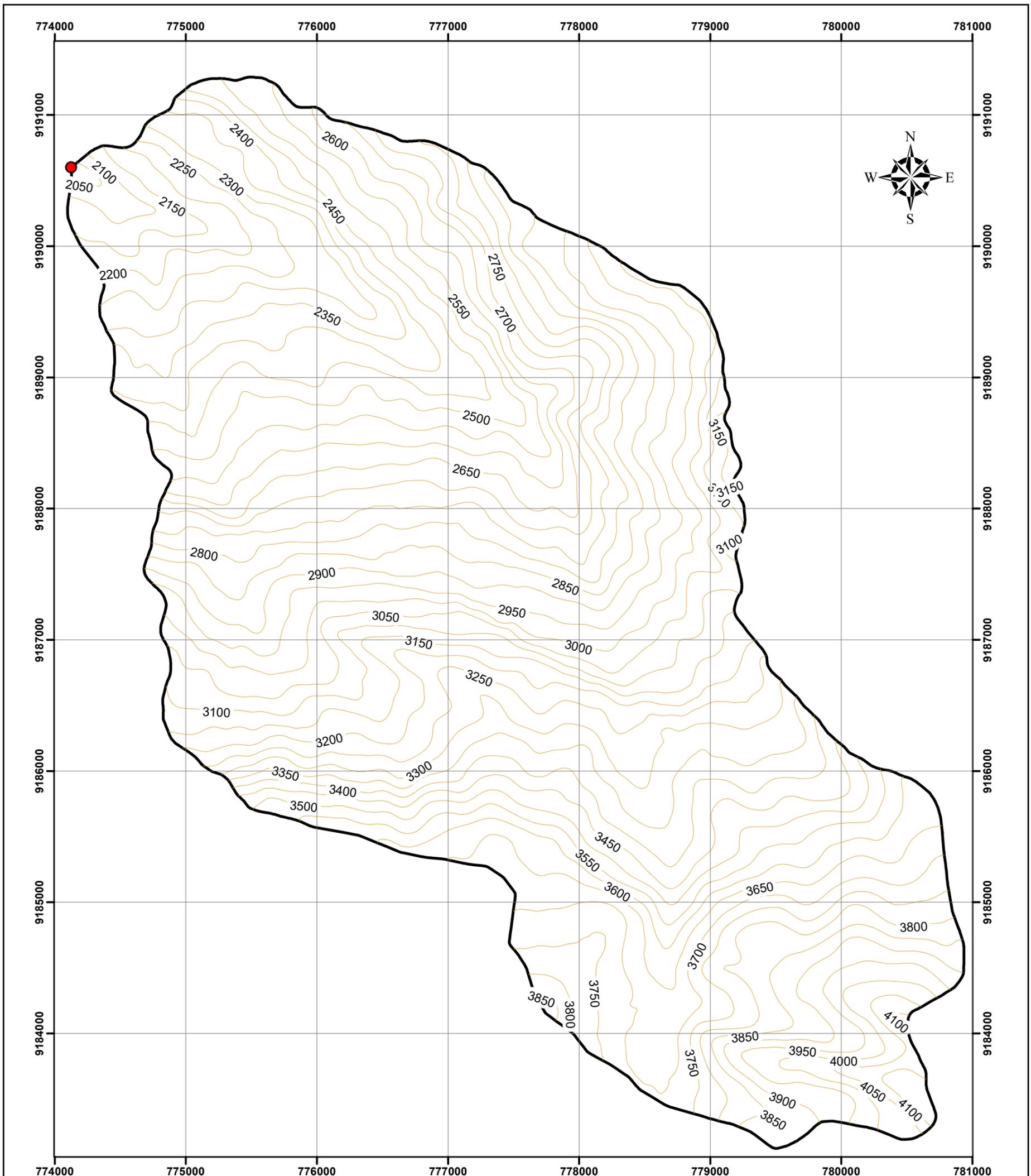
- Árcega, I. 2010. Caracterización Hidrogeoquímica del acuífero del valle de Villa Hidalgo, San Luis Potosí, México.
- ASPADERUC - MUNICIPALIDAD ASUNCIÓN - CONDESAN. 1999. Plan Maestro para el desarrollo del distrito de La Asunción, cuenca alta del Jequetepeque. Cajamarca.
- Burga, E. 2013. Caracterización Hidrogeológica de la microcuenca del río Utco - Cuenca del Marañón, distrito de Utco - Celendín. Cajamarca, Perú.
- Castillo, E. y Morell Evangelista, I. 1988. La Hidroquímica en los estudios de intrusión marina en las acuíferos españoles. Monografía. Granada.
- Castillo, A; Osorio, Y; Vence, L. 2009. Evaluación de la calidad Microbiológica y Físicoquímica de aguas subterráneas ubicadas en los municipios de la La Paz y San Diego, Cesar. Universidad Popular del Cesar, Valledupar.
- Castro, R; Romero, M; Loarte, G; Galeas, R. 2013. Modelo de unidades geomorfológicas. Ministerio del Ambiente, Quito.
- Custodio, E. y Llamas, M. 1983. Hidrología Subterránea (Segunda ed., Vol. I). Barcelona, España. Ediciones Omega.
- Davis, S. y De Wiest, R. 2009. Hidrogeología (Ed. 2009 ed.). Barcelona, España: Ariel.
- De la Lanza, G; Cáceres, C; Adame, S; Hernández, S. 1999. Diccionario de Hidrología y ciencias afines. México: Valdés.
- Delgadillo, A. y Moreno, A. (s.f.). Morfometría de cuencas.
- Dushiyanthan, C; Jeyavel, J; Karthikeyan, K; Thiruneelakandan, B; Davidraju, D; Suresh, R. 2014. Assessment of groundwater quality in eastern part of lower vellar basin, cuddalore district, tamilnadu, India. International Journal of Advanced Geosciences.
- Farfán, F; Urbina, L; Ferreira, S; Brandan, M. 2010. Caracterización y red de drenaje de la subcuenca del río Tín-Tín, PN. Los Cardones, Salta. Universidad Nacional de Salta, Facultad de Ciencias Naturales, Salta.

- Fetter, C. 2014. Applied Hydrogeology. New Jersey: Pearson Education.
- Fluquer, L; Carpio, J; Vargas, V. 2015. Hidrogeología de la cuenca de los ríos Jequetepeque y Chamán Regiones Cajamarca, La Libertad y Lambayeque. , Lima, Perú, INGEMMET, Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico.
- Freeze, R. y Cherry, J. 1979. Groundwater. Upper Saddle River, Nueva Jersey, Estados Unidos: Prentice Hall.
- FCIHS (Fundación Centro Internacional de Hidrología Subterránea).2011. El Ciclo Hidrológico.
- Gibbs, R. 1970. Mechanisms controlling world water chemistry. Science(170)
- GIDAHATARI.. Curso Hidrogeoquímica para Dummies.. Recuperado el 14 de Setiembre de 2016, de [gidahatari.com/cu-es/curso-hidrogeoquimica-para-dummies](http://gidahatari.com/cu-es/curso-hidrogeoquimica-para-dummies). Lima, Perú.
- Gómez, J. 2009. Geología, Geofísica, Hidrogeoquímica e Isotopos, como herramientas para definir un modelo conceptual hidrogeológico, caso de aplicación Municipio costero de Turbo. Medellín, Colombia, Universidad Nacional de Colombia, Escuela de Geociencias y Medio Ambiente.
- Martínez, P; Castaño, S; Martínez, P. 2006. Fundamentos de Hidrogeología. Madrid, España: Mundi-Prensa.
- Montero, R; Faublack, A; Gutiérrez, J. 2011. Estudio Hidrogeoquímico de las aguas subterráneas entre los sectores Barbacoas, Estado Aragua y Cachamas, Estado Guárico, Venezuela. IV Convención Cubana de Ciencias de la Tierra. La Habana.
- Nagaraju, A; Muralidhar, P; Sreedhar, Y. 2016. Hydrogeochemistry and Groundwater Quality Assessment of Rapur Area, Andhra Pradesh, South India. Journal of Geoscience and Environment Protection(4), 88-99.
- Núñez , E; Escalona, F; Bluhm, J; Ramos, G; De la Torre, A; Ortega, E; Cardona, A. 2015. Caracterización hidrogeoquímica del acuífero Jerez, estado de Zacatecas, México. Tecnología y Ciencias del Agua.
- OMS (Organización Mundial de La Salud) . 2003. Silver in drinking water, Ginebra.

- Peinado, H; Green, C; R., Escolero, O; Delgado, O., Delgado, O; Belmonte,S; Ladrón, M. 2011. Calidad y aptitud de uso agrícola y doméstico del agua del acuífero del río Sinaloa. Hidrobiológica.
- Reyes , L. 1980. Geología de los cuadrángulos de Cajamarca, San Marcos y Cajabamba. Lima, Perú, Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico.
- Rojas, F. 2010. Recursos Hídricos - Perú 2010. Centro del Agua para América Latina y el Caribe, Lima, Perú.
- Sánchez, F. 2012. Evolución geoquímica de las aguas subterráneas. Salamanca, Salamanca, España. Recuperado el 14 de Setiembre de 2016, de [hidrologia.usal.es/Complementos/Representar\\_Piper\\_y\\_Stiff.pdf](http://hidrologia.usal.es/Complementos/Representar_Piper_y_Stiff.pdf)
- Sánchez, J; Álvarez, T; Pacheco, J; González, R; Carrillo, L. 2015. Caracterización hidrogeoquímica de las aguas subterráneas del sur del Estado de Quintana Roo, México. REvista Mexicana de Ciencias Geológicas.
- Sefie, A; Zaharin, A; Nizar, M; Tawnie, I; Suratman, S; Normi, A; Ahmad, W. 2015. Hydrogeochemistry of groundwater from different aquifer in Lower Kelantan Basin, Kelantan, Malaysia. International Conference on Environmental Forensics Malasia.
- Sen, S. 2015. Practical and Applied Hidrogeology (Primera ed.). Amsterdam: Elsevier.
- Tello, A.2010. Plan de Gestión de los Recursos Hídricos en las cuencas de Mashcón y Chonta. Cajamarca.
- Werner, J. 1996. Introducción a la Hidrogeología (Primera ed., Vol. I). (U. A. León, Ed.) Linares, Nuevo León, México.

## ANEXOS

01. Modelo Digital de Elevaciones
02. Plano de Drenajes
03. Plano Geológico
04. Plano Hidrogeológico
05. Plano de pH
06. Plano de Temperatura de Aguas Subterráneas
07. Plano de Conductividad Eléctrica
08. Plano de Sólidos Totales Disueltos
09. Plano de Salinidad
10. Resultado de Análisis de Laboratorio



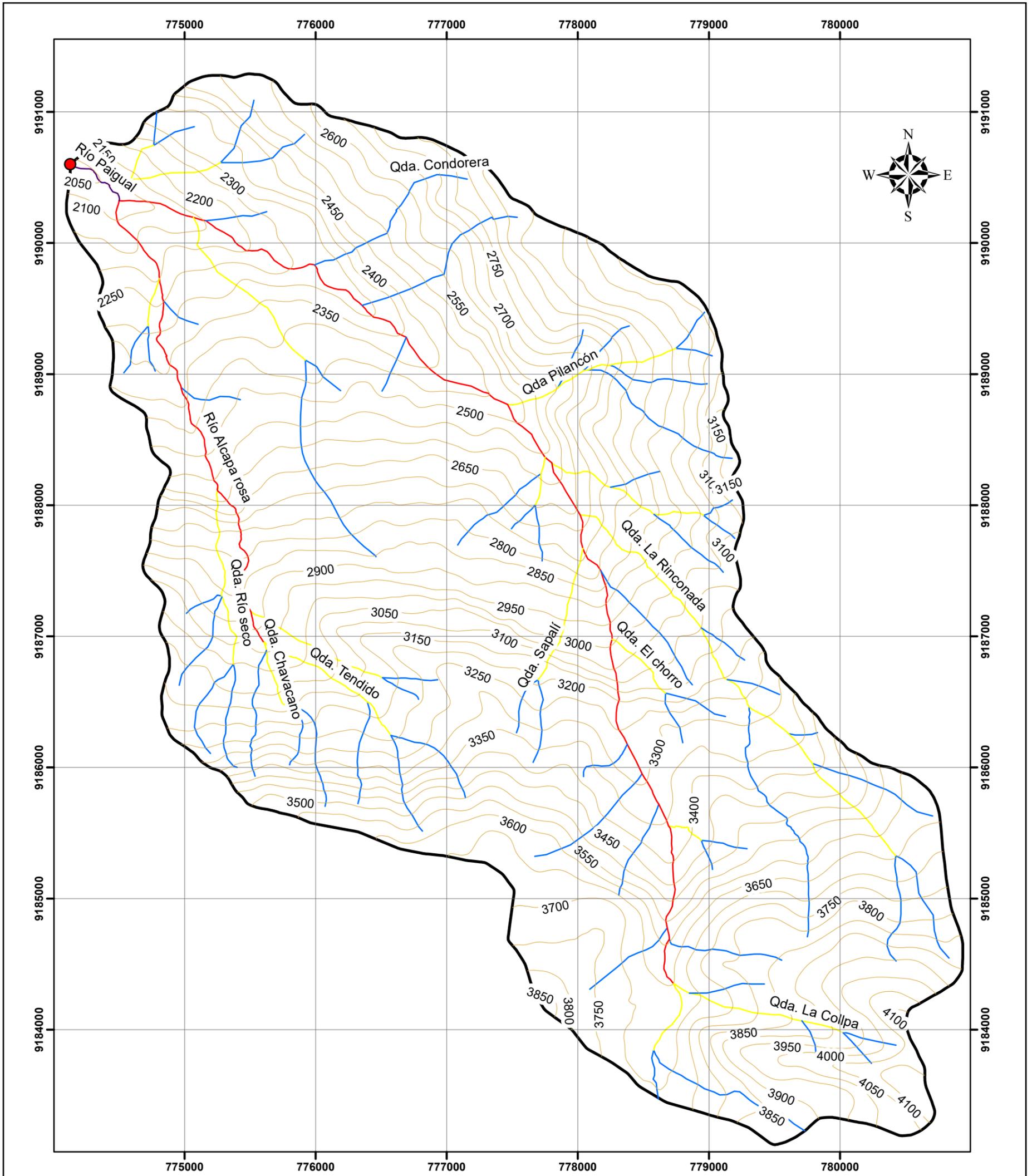
Sistema de coordenadas: WGS 84 Zona 17 S  
 DATUM: WGS 84



**SIMBOLOGÍA**

-  MICROCUENCA
-  PUNTO DE AFORO
-  CURVAS DE NIVEL

	UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA		
	FACULTAD DE INGENIERÍA		
	ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA		
TESIS: EVOLUCIÓN ESPACIAL HIDROGEOQUÍMICA DE LA MICROCUENCA PAIGUAL, SUB CUENCA ASUNCIÓN – CAJAMARCA			
MODELO DIGITAL DE ELEVACIÓN			PLANO 01
TESISTA:	BACH. DARWIN HEYNNER PÉREZ BRICEÑO		ESCALA:
ASESOR:	DR. CRISPÍN ZENÓN QUISPE MAMANI		1/30,000
FECHA: CAJAMARCA, ABRIL DE 2021			

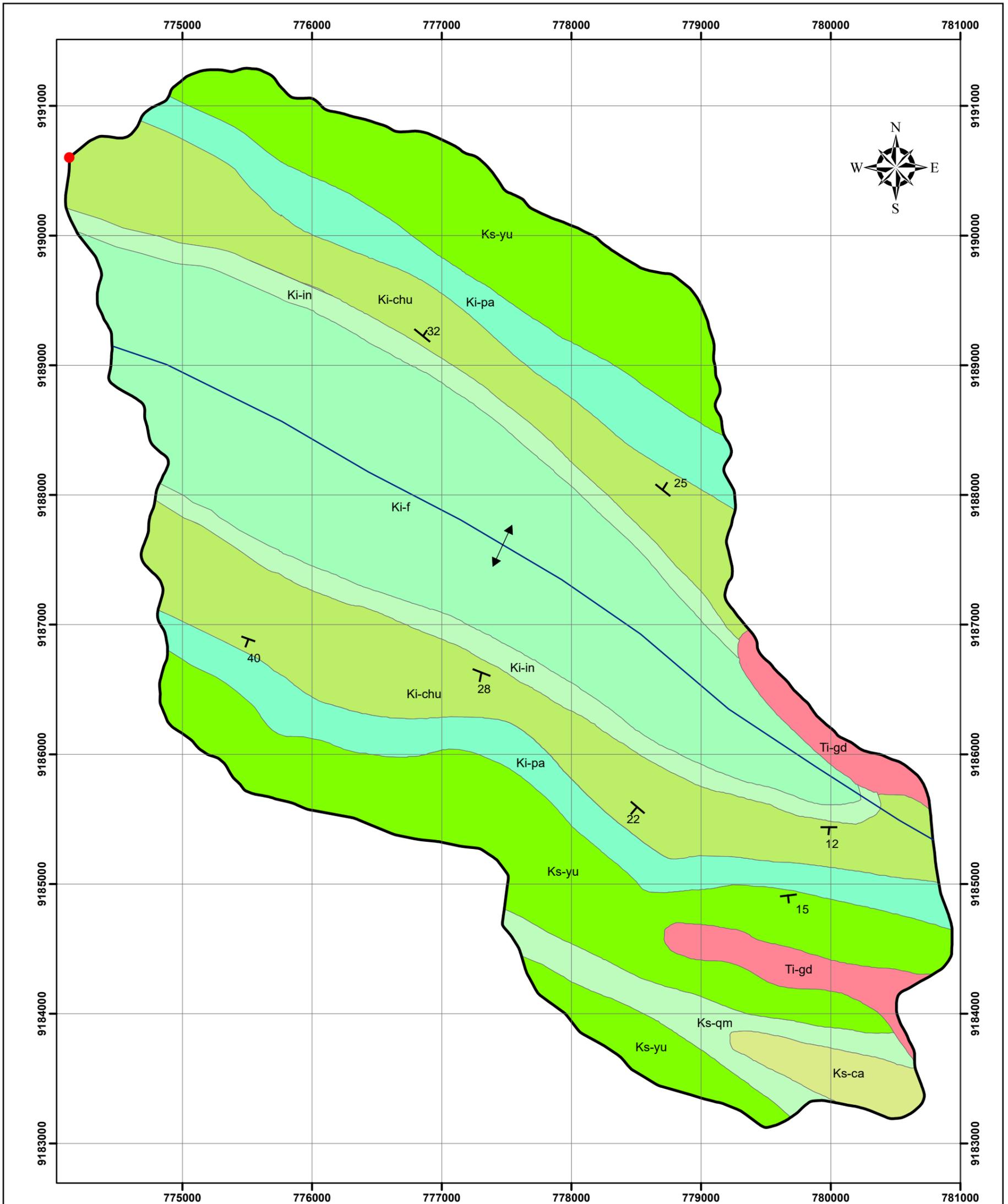


Sistema de coordenadas: WGS 84 Zona 17 S  
 DATUM: WGS 84



SIMBOLOGÍA	
	MICROCUCENCA
	PUNTO DE AFORO
	CURVAS DE NIVEL
DRENAJES	
Orden	
	1
	2
	3
	4

	UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA		
	FACULTAD DE INGENIERÍA		
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA			
TESIS: EVOLUCIÓN ESPACIAL HIDROGEOQUÍMICA DE LA MICROCUCENCA PAIGUAL, SUB CUENCA ASUNCIÓN – CAJAMARCA			
PLANO DE DRENAJES			PLANO 02
TESISTA:	BACH. DARWIN HEYNNER PÉREZ BRICEÑO		ESCALA:
ASESOR:	DR. CRISPÍN ZENÓN QUISPE MAMANI		1/30,000
FECHA: CAJAMARCA, ABRIL DE 2021			

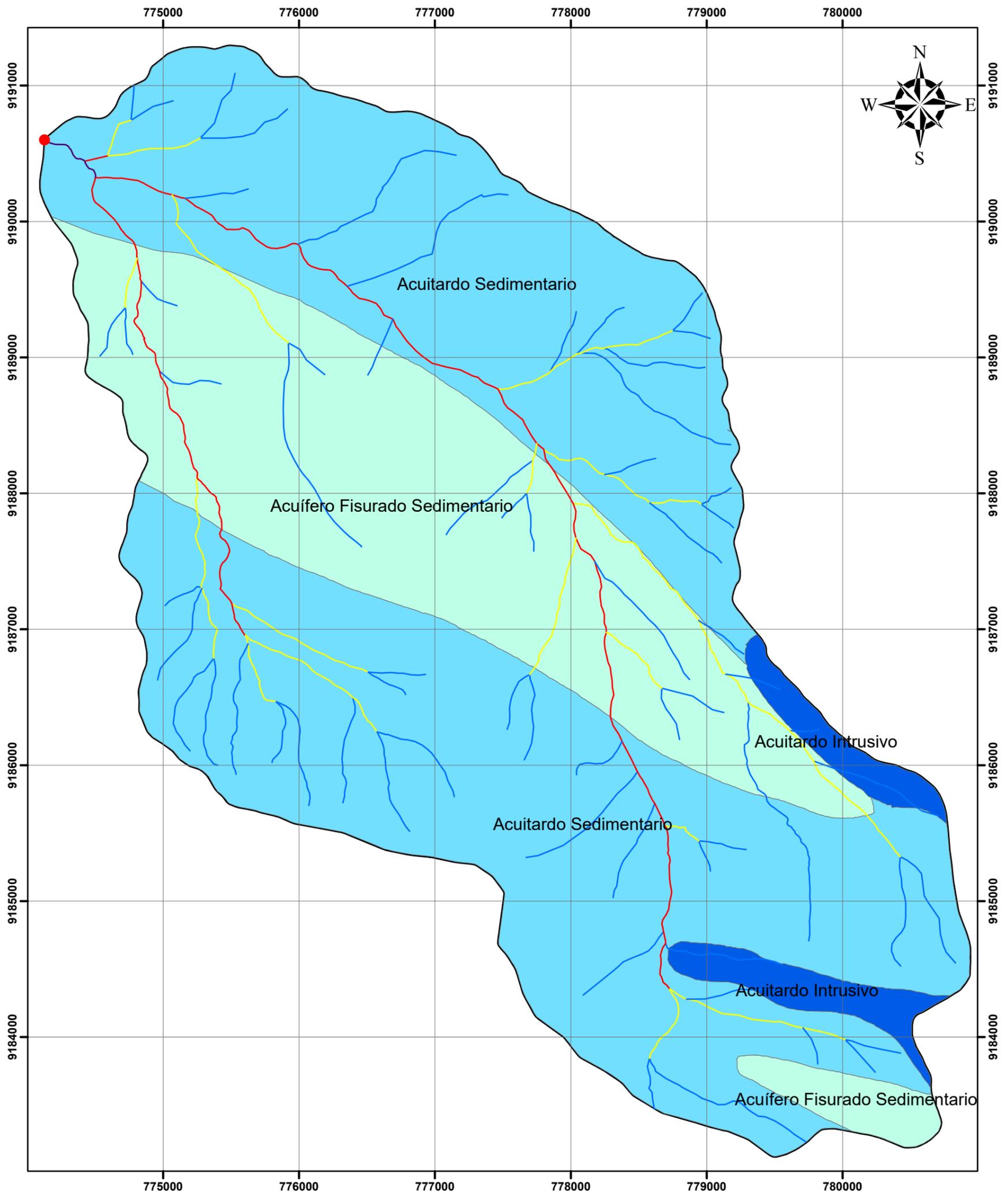


Sistema de Coordenadas: WGS 1984 UTM Zona 17S  
 DATUM: WGS 84

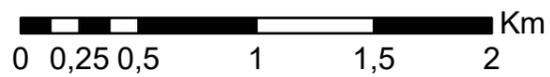


LEYENDA				
ERATEMA	SISTEMA	SERIE	UNIDADES ESTRATIGRÁFICAS	SIMBOLOGÍA
MESOZOICO	CRETÁCICO	SUPERIOR	Fm. Cajamarca	Ks-c
			Gpo. Quilquiñán	Ks-q
			Fm. Yumagual	Ks-yu
		INFERIOR	Fm. Pariatambo	Ki-pa
			Fm. Chúlec	Ki-ch
			Fm. Inca	Ki-i
			Fm. Farrat	Ki-fa
			Granodiorita	Ti-gd
	TRIÁSICO	SUPERIOR		

	UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA		
	FACULTAD DE INGENIERÍA		
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA			
TESIS: EVOLUCIÓN ESPACIAL HIDROGEOQUÍMICA DE LA MICROCUENCA PAIGUAL, SUB CUENCA ASUNCIÓN – CAJAMARCA			
PLANO GEOLÓGICO			PLANO 03
TESISTA:	BACH. DARWIN HEYNNER PÉREZ BRICEÑO		ESCALA:
ASESOR:	DR. CRISPÍN ZENÓN QUISPE MAMANI		1/30,000
FECHA: CAJAMARCA, ABRIL DE 2021			

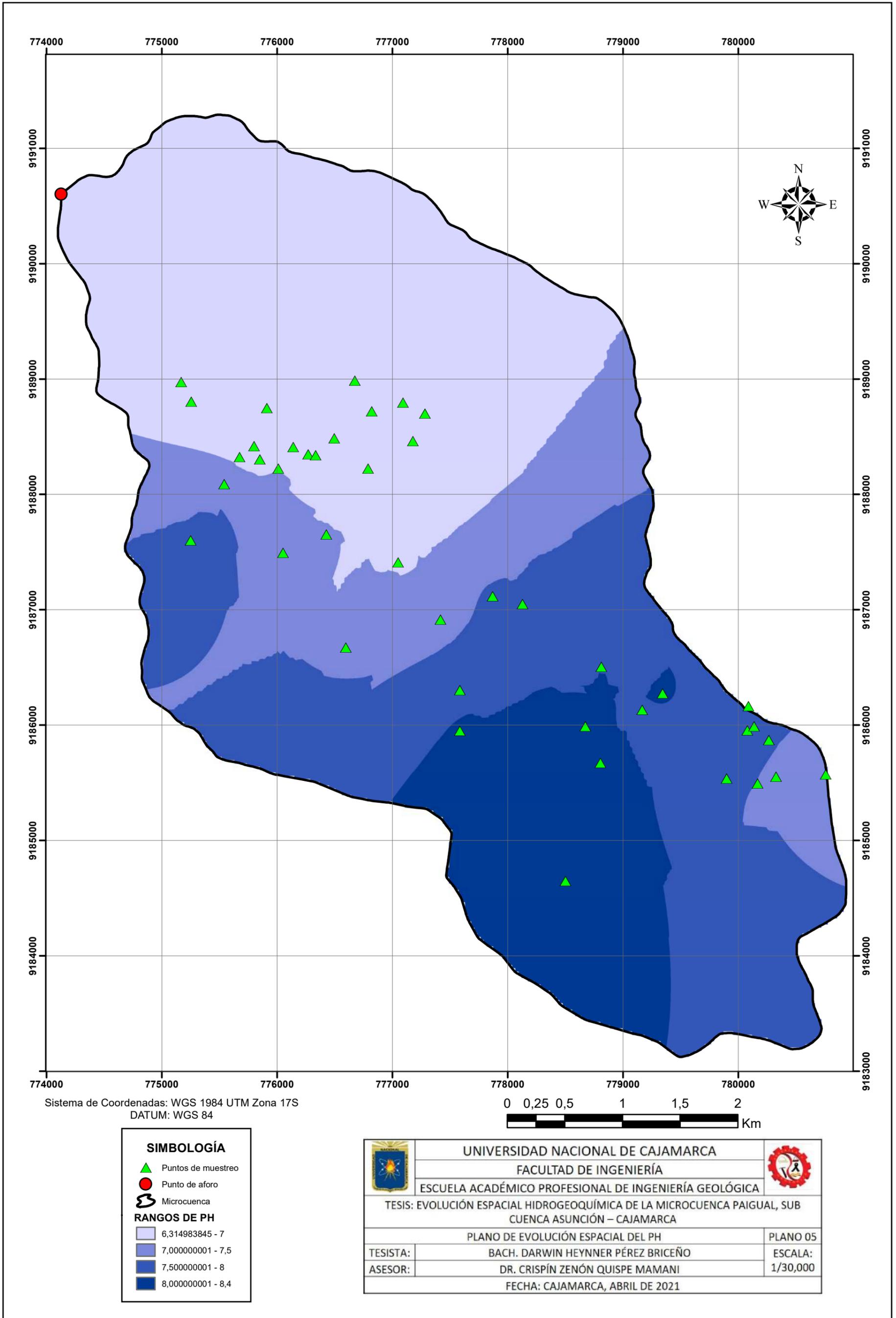


Sistema de Coordenadas: WGS 1984 UTM Zona 17S  
 DATUM: WGS 84



SIMBOLOGÍA	
<span style="color: red;">●</span>	Punto de aforo
	Microcuenca
<span style="color: blue;">■</span>	Acuitardo Intrusivo
<span style="color: lightblue;">■</span>	Acuitardo Sedimentario
<span style="color: lightgreen;">■</span>	Acuífero Fisurado Sedimentario

	UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA		
	FACULTAD DE INGENIERÍA		
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA			
TESIS: EVOLUCIÓN ESPACIAL HIDROGEOQUÍMICA DE LA MICROCUENCA PAIGUAL, SUB CUENCA ASUNCIÓN – CAJAMARCA			
PLANO HIDROGEOLÓGICO			PLANO 04
TESISTA:	BACH. DARWIN HEYNNER PÉREZ BRICEÑO		ESCALA:
ASESOR:	DR. CRISPÍN ZENÓN QUISPE MAMANI		1/30,000
FECHA: CAJAMARCA, ABRIL DE 2021			



Sistema de Coordenadas: WGS 1984 UTM Zona 17S  
 DATUM: WGS 84

0 0,25 0,5 1 1,5 2 Km

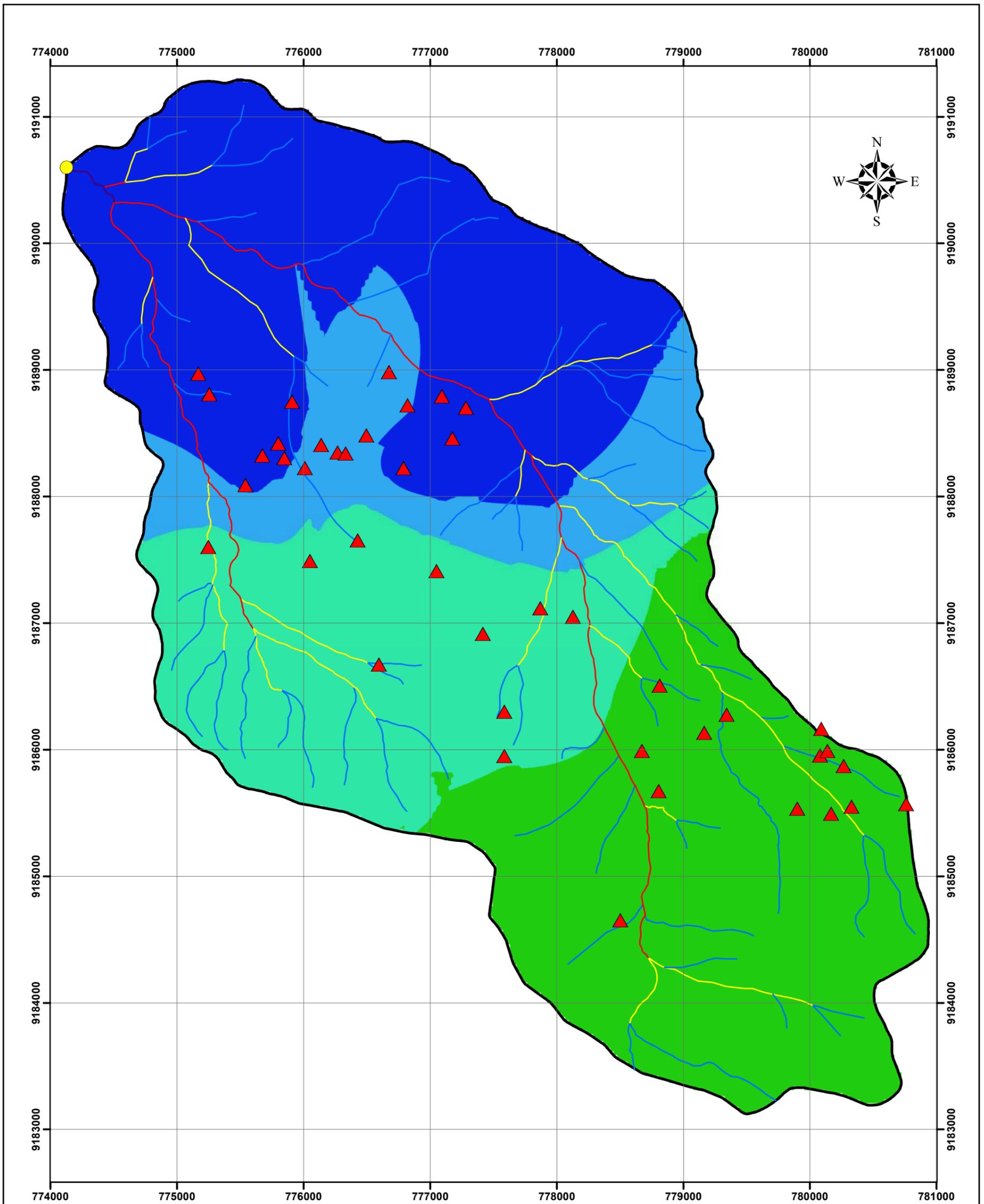
**SIMBOLOGÍA**

- Puntos de muestreo
- Punto de aforo
- Microcuenca

**RANGOS DE PH**

- 6,314983845 - 7
- 7,000000001 - 7,5
- 7,500000001 - 8
- 8,000000001 - 8,4

	<b>UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA</b>		
	<b>FACULTAD DE INGENIERÍA</b>		
<b>ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA</b>			
TESIS: EVOLUCIÓN ESPACIAL HIDROGEOQUÍMICA DE LA MICROCUENCA PAIGUAL, SUB CUENCA ASUNCIÓN – CAJAMARCA			
PLANO DE EVOLUCIÓN ESPACIAL DEL PH			PLANO 05
TESISTA:	BACH. DARWIN HEYNNER PÉREZ BRICEÑO		ESCALA:
ASESOR:	DR. CRISPÍN ZENÓN QUISPE MAMANI		1/30,000
FECHA: CAJAMARCA, ABRIL DE 2021			

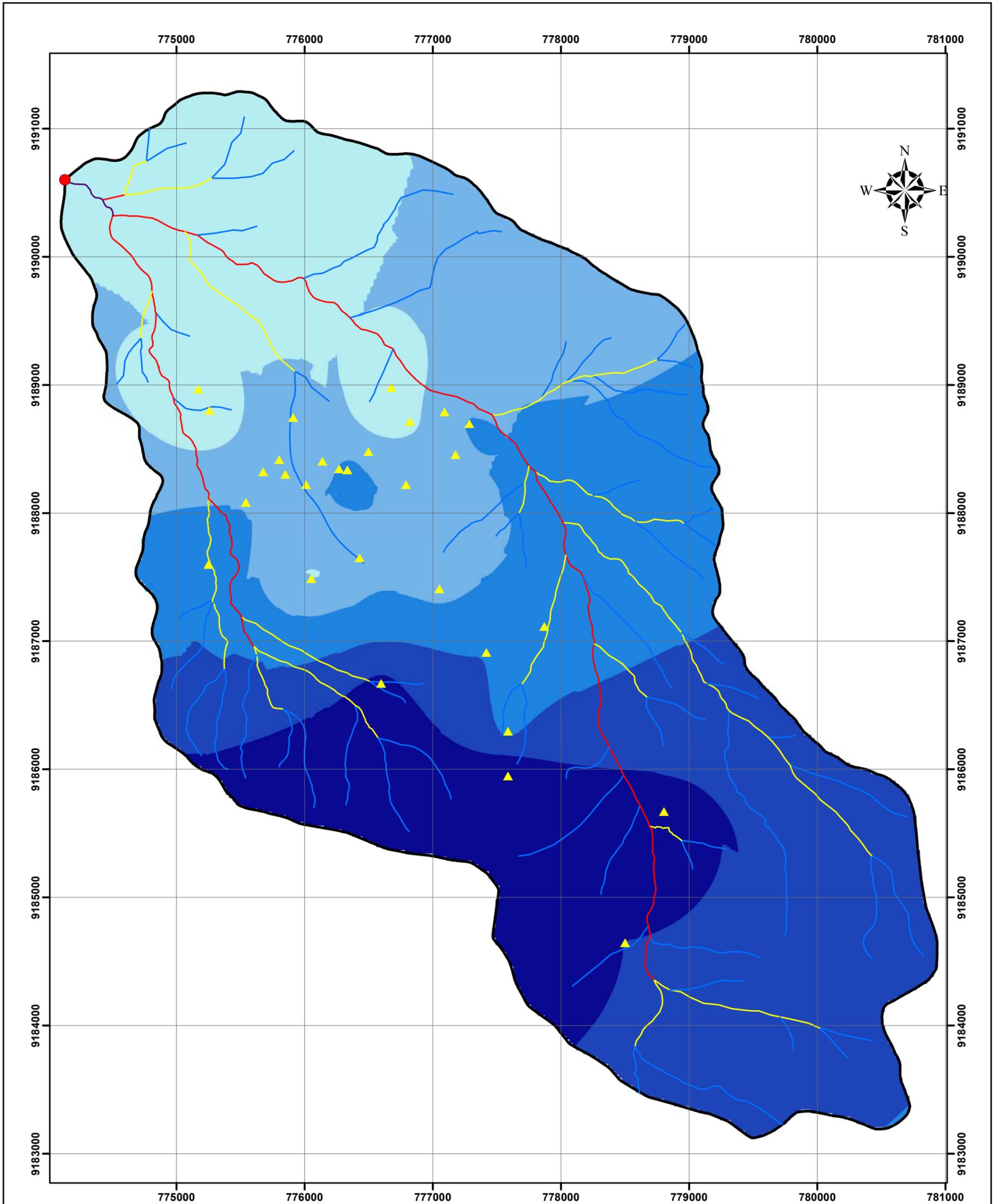


Sistema de Coordenadas: WGS 1984 UTM Zona 17S  
 DATUM: WGS 84



SIMBOLOGÍA	
	Puntos de Muestreo
	Punto de Aforo
	Microcuenca
Rangos de Temperatura (°C)	
	13,13829708 - 14,8
	14,80000001 - 16,5
	16,50000001 - 18,2
	18,20000001 - 20

	UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA		
	FACULTAD DE INGENIERÍA		
	ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA		
TESIS: EVOLUCIÓN ESPACIAL HIDROGEOQUÍMICA DE LA MICROCUENCA PAIGUAL, SUB CUENCA ASUNCIÓN – CAJAMARCA			
PLANO DE TEMPERATURA DE AGUAS SUBTERRÁNEAS			PLANO 06
TESISTA:	BACH. DARWIN HEYNNER PÉREZ BRICEÑO		ESCALA:
ASESOR:	DR. CRISPÍN ZENÓN QUISPE MAMANI		1/30,000
FECHA: CAJAMARCA, ABRIL DE 2021			

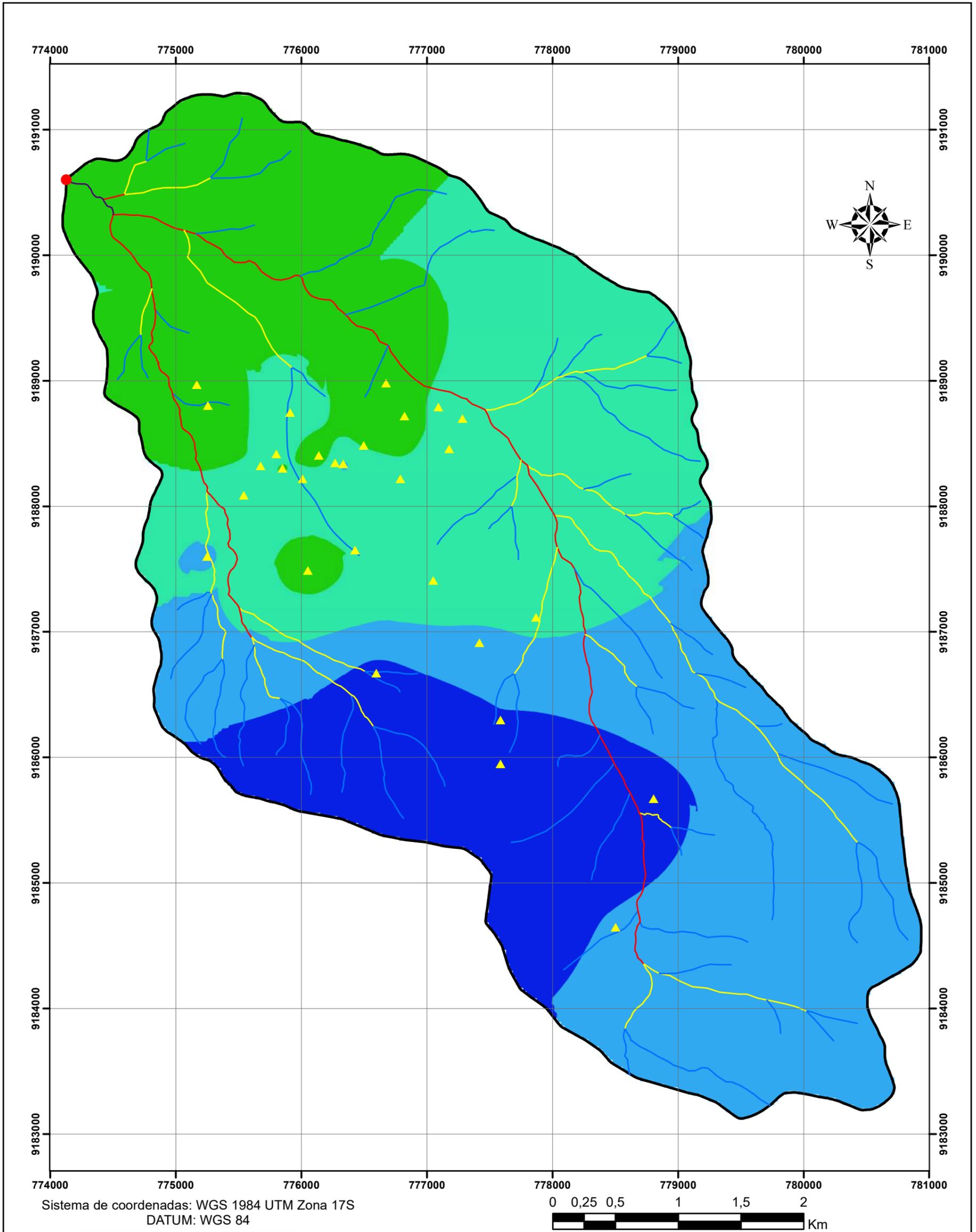


Sistema de coordenadas: WGS 1984 UTM Zona 17S  
 DATUM: WGS 84



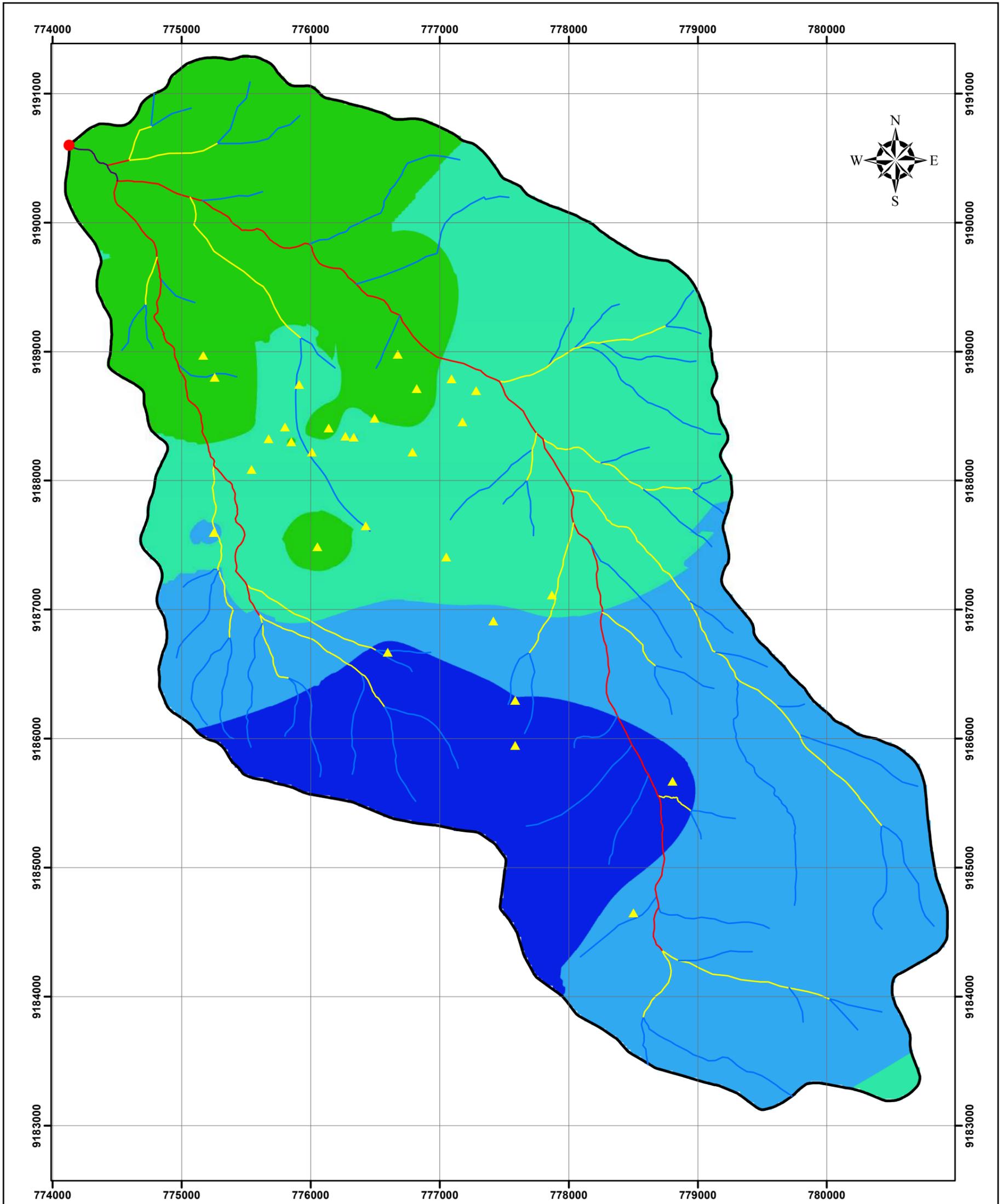
SIMBOLOGÍA	
	Puntos de Muestreo
	Punto de Aforo
	Microcuenca
	127,7237396 - 200
	200,0000001 - 300
	300,0000001 - 400
	400,0000001 - 500
	500,0000001 - 600

	UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA		
	FACULTAD DE INGENIERÍA		
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA			
TESIS: EVOLUCIÓN ESPACIAL HIDROGEOQUÍMICA DE LA MICROCUENCA PAIGUAL, SUB CUENCA ASUNCIÓN – CAJAMARCA			
PLANO DE CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA			PLANO 07
TESISTA:	BACH. DARWIN HEYNNER PÉREZ BRICEÑO		ESCALA:
ASESOR:	DR. CRISPÍN ZENÓN QUISPE MAMANI		1/30,000
FECHA: CAJAMARCA, ABRIL DE 2021			



SIMBOLOGÍA	
	Puntos de Muestreo
	Punto de Aforo
	Microcuenca
SÓLIDOS TOTALES DISUELTOS (ppm)	
	67,32279968 - 160
	160,0000001 - 250
	250,0000001 - 340
	340,0000001 - 430

	UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA		
	FACULTAD DE INGENIERÍA		
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA			
TESIS: EVOLUCIÓN ESPACIAL HIDROGEOQUÍMICA DE LA MICROCUENCA PAIGUAL, SUB CUENCA ASUNCIÓN – CAJAMARCA			
PLANO DE CONTENIDO DE SÓLIDOS TOTALES DISUELTOS			PLANO 08
TESISTA:	BACH. DARWIN HEYNNER PÉREZ BRICEÑO		ESCALA:
ASESOR:	DR. CRISPÍN ZENÓN QUISPE MAMANI		1/30,000
FECHA: CAJAMARCA, ABRIL DE 2021			

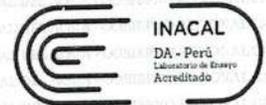


Sistema de coordenadas: WGS 1984 UTM Zona 17S  
 DATUM: WGS 84



SIMBOLOGÍA	
	Puntos de Muestreo
	Punto de Aforo
	Microcuenca
SALINIDAD (ppm)	
	51,64067459 - 120
	120,0000001 - 190
	190,0000001 - 260
	260,0000001 - 330

	UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA		
	FACULTAD DE INGENIERÍA		
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA			
TESIS: EVOLUCIÓN ESPACIAL HIDROGEOQUÍMICA DE LA MICROCUENCA PAIGUAL, SUB CUENCA ASUNCIÓN – CAJAMARCA			
PLANO DE SALINIDAD			PLANO 09
TESISTA:	BACH. DARWIN HEYNNER PÉREZ BRICEÑO		ESCALA:
ASESOR:	DR. CRISPÍN ZENÓN QUISPE MAMANI		1/30,000
FECHA: CAJAMARCA, ABRIL DE 2021			



Registro N°LE- 084

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL  
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL- DA  
CON REGISTRO N° LE-084

## INFORME DE ENSAYO N° IE 0916464

Razón Social /Usuario: **DARWIN PÉREZ BRICEÑO**  
Dirección: Av. Jesus de Nazareth N° 508  
Ciudad: Cajamarca / Asunción  
Atención: -

### Presente:

Anexo al presente me permito remitir a usted el Informe con resultados de Ensayos realizados a la(s) muestra(s) de agua(s), procedentes de **Asunción - Cajamarca**.

De acuerdo con la cadena de custodia N° CC. 464 -16, se recepcionan las muestras en las instalaciones de nuestro laboratorio el día 19 de Octubre de 2016, para la determinación de parámetros Físicoquímicos.

El informe contiene la descripción de fecha/hora y punto de recepción de muestras, Métodos de ensayo, resultados de laboratorio y observaciones generales.

Sin otro particular de momento, nos es grato reiterarle un cordial saludo.

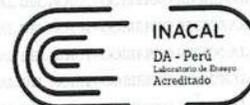
Atentamente

GOBIERNO REGIONAL DE CAJAMARCA  
LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA

*[Firma]*  
Bigo. Juan V. Díaz Saenz  
RESPONSABLE  
CBP 7386

Cajamarca, 28 de Octubre de 2016.

La validez de los resultados es aplicable sólo a las muestras analizadas



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL  
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL- DA  
CON REGISTRO N° LE-084

## INFORME DE ENSAYO N° IE 0916464

### DATOS DEL CLIENTE/USUARIO

Razon Social/Usuario **DARWIN PÉREZ BRICEÑO**  
N° RUC/DNI **70476653**  
Dirección **Av. Jesus de Nazareth N° 508**  
Persona de contacto **-**  
Ciudad/Provincia/Distrito **Cajamarca / Asunción**

### DATOS DE LA MUESTRA

Fecha y Hora del Muestreo **19.10.16** Hora: **08:32 a 15:12**  
Tipo de Muestreo **Puntual**  
Número de Muestra **08 Muestra** N° Frascos x muestra **02**  
Ensayos solicitados **Físicoquímicos.**  
Breve descripción del estado de la muestra **Las muestras cumplen con los requisitos de volumen y preservación.**  
Responsable de la toma de muestra **Las muestras fueron tomadas por el personal usuario.**

### (\*) DATOS DE CAMPO

Fecha y Hora

Parámetro de Campo	Unidad	-	-	-	-	-	-
(*) Potencial de Hidrógeno (pH)	pH	-	-	-	-	-	-
(*) Conductividad eléctrica (CE)	µS/cm	-	-	-	-	-	-
(*) Sólidos Totales Disueltos (TDS)	mg/L	-	-	-	-	-	-
(*) Temperatura (T)	°C	-	-	-	-	-	-
(*) Cloro Libre (Cl)	mg/L	-	-	-	-	-	-
(*) Turbidez	NTU	-	-	-	-	-	-

Nota: **No se realizaron parámetro de campo.**

### DATOS DE CONTROL DEL LABORATORIO

N° Contrato **SC - 447** Cadena de Custodia **CC - 464 - 16**  
N° Orden de Trabajo **1016464**  
Fecha y Hora de Recepción **19.10.16** **17:44** Inicio de Ensayo **19.10.16** **18:00**  
Fecha Término de Ensayo **28.10.16** **12:00** Reporte Resultado **28.10.16** **15:30**  
Condiciones Ambientales de Trabajo  
Temperatura ambiental (°C) **21** Humedad Relativa (%) **54**  
Presión atmosférica (mmHg) **554**



Cajamarca, 28 de Octubre de 2016.



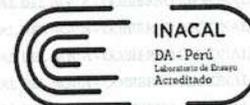
Registro N° LE - 084

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL  
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL- DA  
CON REGISTRO N° LE-084

## INFORME DE ENSAYO N° IE 0916464

ENSAYOS			FISICOQUÍMICOS					
Código Cliente			M - 01	M - 02	M - 03	M - 04	M - 05	M - 06
Código Laboratorio	1016464-01		1016464-02	1016464-03	1016464-04	1016464-05	1016464-06	
Matriz de Agua	NATURAL		NATURAL	NATURAL	NATURAL	NATURAL	NATURAL	
Descripción	Subterránea		Subterránea	Superficial	Subterránea	Subterránea	Subterránea	
Localización de la Muestra	Pozo Pejez (Chin Chin)		Fam. Sánchez (Chin Chin)	El Chorro (Sapali)	Fam. Perez (Rocolgual)	Loma de los Zorros (Rinconada)	Caverna San Antonio (Rinconada)	
Parámetro	Unidad	LCM	Resultados					
Plata (Ag)	mg/L	0.017	<LCM	<LCM	0.525	<LCM	<LCM	<LCM
Aluminio (Al)	mg/L	0.022	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	0.113	0.176
Arsénico (As)	mg/L	0.003	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Boro (B)	mg/L	0.021	0.051	0.067	0.060	0.060	0.028	0.067
Bario (Ba)	mg/L	0.002	0.032	0.017	0.029	0.044	0.013	0.052
Berilio (Be)	mg/L	0.002	<LCM	<LCM	0.002	0.003	<LCM	<LCM
Bismuto (Bi)	mg/L	0.016	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Calcio (Ca)	mg/L	0.070	8.797	24.45	26.65	29.14	4.470	46.64
Cadmio (Cd)	mg/L	0.002	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Cobalto (Co)	mg/L	0.002	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Cromo (Cr)	mg/L	0.002	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Cobre (Cu)	mg/L	0.014	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Hierro (Fe)	mg/L	0.019	<LCM	<LCM	<LCM	0.602	0.072	0.153
Potasio (K)	mg/L	0.049	0.344	0.362	0.333	3.649	0.215	0.373
Litio (Li)	mg/L	0.004	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Magnesio (Mg)	mg/L	0.017	1.933	1.882	1.285	4.468	0.335	1.893
Manganeso (Mn)	mg/L	0.002	<LCM	0.002	0.002	0.075	0.052	0.034
Molibdeno (Mo)	mg/L	0.002	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Sodio (Na)	mg/L	0.018	3.905	3.961	2.315	1.878	1.787	2.798
Niquel (Ni)	mg/L	0.002	<LCM	0.003	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Fósforo (P)	mg/L	0.020	0.046	0.038	0.036	0.040	<LCM	0.063
Plomo (Pb)	mg/L	0.003	0.004	0.004	0.004	<LCM	<LCM	<LCM
Azufre (S)	mg/L	0.085	<LCM	0.419	1.430	2.801	0.950	1.543
Antimonio (Sb)	mg/L	0.005	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Selenio (Se)	mg/L	0.017	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Silice (Si)	mg/L	0.085	8.361	7.625	7.621	1.330	3.076	3.585
Estroncio (Sr)	mg/L	0.002	0.126	0.121	0.136	0.119	0.017	0.136
Titanio (Ti)	mg/L	0.004	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Talio (Tl)	mg/L	0.003	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Uranio (U)	mg/L	0.004	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Vanadio (V)	mg/L	0.003	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Zinc (Zn)	mg/L	0.016	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM





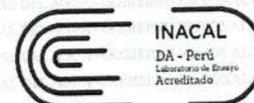
Registro N° LE - 084

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL  
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL- DA  
CON REGISTRO N° LE-084

INFORME DE ENSAYO N° IE 0916464

ENSAYOS			FISICOQUÍMICOS					
Código Cliente			M - 07	M - 08	-	-	-	-
Código Laboratorio			1016464-07	1016464-08	-	-	-	-
Matriz de Agua			NATURAL	NATURAL	-	-	-	-
Descripción			Subterránea	Superficial	-	-	-	-
Localización de la Muestra			Los Espinos - Rinconada	Río Alcaparosa	-	-	-	-
Parámetro	Unidad	LCM	Resultados					
Plata (Ag)	mg/L	0.017	<LCM	<LCM	-	-	-	-
Aluminio (Al)	mg/L	0.022	0.041	<LCM	-	-	-	-
Arsénico (As)	mg/L	0.003	<LCM	0.006	-	-	-	-
Boro (B)	mg/L	0.021	0.048	0.082	-	-	-	-
Bario (Ba)	mg/L	0.002	0.035	0.075	-	-	-	-
Berilio (Be)	mg/L	0.002	<LCM	0.004	-	-	-	-
Bismuto (Bi)	mg/L	0.016	<LCM	<LCM	-	-	-	-
Calcio (Ca)	mg/L	0.070	29.02	45.06	-	-	-	-
Cadmio (Cd)	mg/L	0.002	<LCM	<LCM	-	-	-	-
Cobalto (Co)	mg/L	0.002	<LCM	<LCM	-	-	-	-
Cromo (Cr)	mg/L	0.002	<LCM	<LCM	-	-	-	-
Cobre (Cu)	mg/L	0.014	<LCM	<LCM	-	-	-	-
Hierro (Fe)	mg/L	0.019	0.888	0.207	-	-	-	-
Potasio (K)	mg/L	0.049	1.925	1.205	-	-	-	-
Litio (Li)	mg/L	0.004	<LCM	0.012	-	-	-	-
Magnesio (Mg)	mg/L	0.017	6.803	8.164	-	-	-	-
Manganeso (Mn)	mg/L	0.002	0.175	0.035	-	-	-	-
Molibdeno (Mo)	mg/L	0.002	<LCM	0.003	-	-	-	-
Sodio (Na)	mg/L	0.018	4.409	22.06	-	-	-	-
Niquel (Ni)	mg/L	0.002	<LCM	<LCM	-	-	-	-
Fósforo (P)	mg/L	0.020	0.034	0.032	-	-	-	-
Plomo (Pb)	mg/L	0.003	<LCM	<LCM	-	-	-	-
Azufre (S)	mg/L	0.085	13.22	9.793	-	-	-	-
Antimonio (Sb)	mg/L	0.005	<LCM	<LCM	-	-	-	-
Selenio (Se)	mg/L	0.017	<LCM	<LCM	-	-	-	-
Silice (Si)	mg/L	0.085	1.751	4.673	-	-	-	-
Estroncio (Sr)	mg/L	0.002	0.099	0.217	-	-	-	-
Titanio (Ti)	mg/L	0.004	<LCM	<LCM	-	-	-	-
Talio (Tl)	mg/L	0.003	<LCM	<LCM	-	-	-	-
Uranio (U)	mg/L	0.004	<LCM	<LCM	-	-	-	-
Vanadio (V)	mg/L	0.003	<LCM	<LCM	-	-	-	-
Zinc (Zn)	mg/L	0.016	<LCM	<LCM	-	-	-	-





LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL  
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL- DA  
CON REGISTRO N° LE-084

INFORME DE ENSAYO N°

IE 0916464

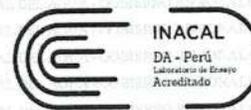
ENSAYOS			FISICOQUÍMICOS					
Código Cliente			M - 01	M - 02	M - 03	M - 04	M - 05	M - 06
Código Laboratorio			1016464-01	1016464-02	1016464-03	1016464-04	1016464-05	1016464-06
Matriz de Agua			NATURAL	NATURAL	NATURAL	NATURAL	NATURAL	NATURAL
Descripción			Subterránea	Subterránea	Superficial	Subterránea	Subterránea	Subterránea
Localización de la Muestra			Pozo Pejez (Chin Chin)	Fam. Sánchez (Chin Chin)	El Chorro (Sapali)	Fam. Perez (Rocolgual)	Loma de los Zorros (Dicoopedo)	Cavema San Antonio (Dicoopedo)
Parámetro	Unidad	LCM	Resultados					
Fluoruro (F <sup>-</sup> )	mg/L	0.038	<LCM	0.038	0.065	0.105	<LCM	0.106
Cloruro (Cl <sup>-</sup> )	mg/L	0.065	0.087	0.344	0.096	1.444	3.215	1.445
Nitrito (NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> )	mg/L	0.050	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Bromuro (Br <sup>-</sup> )	mg/L	0.035	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Nitrato (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	mg/L	0.064	0.131	0.953	0.286	0.186	0.083	2.368
Sulfato (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )	mg/L	0.070	1.418	4.586	10.62	20.01	1.595	13.00
Fosfato (PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> )	mg/L	0.032	0.101	0.103	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Conductividad a 25°C	uS/cm	NA	87.0	171.7	165.1	227.0	24.6	289.5
(*) Sólidos Disueltos Total	mg/L	2.5	50.5	91.5	86.0	120.0	15.8	153.5
(*) Alcalinidad total	mg CaCO <sub>3</sub> /L	0.5	43.3	80.4	70.6	91.3	8.5	123.4
(*) Bicarbonatos	mg CaCO <sub>3</sub> /L	0.5	43.3	80.4	70.6	91.3	8.5	123.4
(*) Dureza Total	mg CaCO <sub>3</sub> /L	0.5	34.5	72.4	80.8	98.1	15.8	141.1



DEL AGUA



LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA  
GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA



Registro N° LE - 084

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL  
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL- DA  
CON REGISTRO N° LE-084

INFORME DE ENSAYO N°

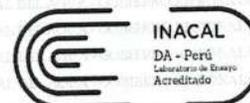
Cajamarca, 28 de Octubre de 2016.

IE 0916464

ENSAYOS			FISICOQUÍMICOS					
Código Cliente			M - 07	M - 08	-	-	-	-
Código Laboratorio			1016464-07	1016464-08	-	-	-	-
Matriz de Agua			NATURAL	NATURAL	-	-	-	-
Descripción			Subterránea	Superficial	-	-	-	-
Localización de la Muestra			Los Espinos - Rinconada	Río Alcaparosa	-	-	-	-
Parámetro	Unidad	LCM	Resultados					
Fluoruro (F <sup>-</sup> )	mg/L	0.038	0.080	0.191	-	-	-	-
Cloruro (Cl <sup>-</sup> )	mg/L	0.065	0.944	9.695	-	-	-	-
Nitrito (NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> )	mg/L	0.050	<LCM	<LCM	-	-	-	-
Bromuro (Br <sup>-</sup> )	mg/L	0.035	<LCM	<LCM	-	-	-	-
Nitrato (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	mg/L	0.064	<LCM	0.172	-	-	-	-
Sulfato (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )	mg/L	0.070	100.2	81.41	-	-	-	-
Fosfato (PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> )	mg/L	0.032	<LCM	<LCM	-	-	-	-
Conductividad a 25°C	uS/cm	NA	266.9	436.0	-	-	-	-
(*) Sólidos Disueltos Total	mg/L	2.5	143.0	237.0	-	-	-	-
(*) Alcalinidad total	mg CaCO <sub>3</sub> /L	0.5	40.8	138.1	-	-	-	-
(*) Bicarbonatos	mg CaCO <sub>3</sub> /L	0.5	40.8	137.6	-	-	-	-
(*) Dureza Total	mg CaCO <sub>3</sub> /L	0.5	118.8	163.0	-	-	-	-



DEL AGUA



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL  
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL- DA  
CON REGISTRO N° LE-084

INFORME DE ENSAYO N°

Cajamarca, 28 de Octubre de 2016.

IE 0916464

Ensayo	Unidad	Método de Ensayo Utilizados
Metales por ICP-OES (Ag,Al,As,B, Ba,Be,Bi,Ca,Cd,Co,Cu,Cr,Fe,K,Li,Mn,Mg,Mo, Na,Ni,P,Pb,S,Sb,Se, Si, Sr, Ti,Ti,U,V,Zn)	mg/L	EPA 200.7. Rev 4.4.1994. (Validado) PEQ1-5.4-01. Determination of metals and trace elements in water and wastes by inductively coupled plasma-atomic emission spectrometry
Aniones (Fluoruro, Cloruro, Nitrito, Bromuro, Nitrato, Sulfato, Fosfato)	mg/L	EPA 300.1. Rev1. 1997. Determination of inorganic anions in drinking water by ion chromatography.
Conductividad a 25°C	uS/cm	SMEWW-APHA-AWWA-WEF. Part 2510. B. 22 <sup>nd</sup> Ed. 2012. Conductivity. Laboratory Method
(*) Sólidos Disueltos Totales	mg/L	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2540 C, 22 <sup>nd</sup> Ed. 2012: Solids. Total Dissolved Solids Dried at 180°C
(*) Alcalinidad	mg CaCO <sub>3</sub> /L	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2320 B, 22 <sup>nd</sup> Ed. 2012 : Alkalinity. Titration Method
(*) Bicarbonatos	mg CaCO <sub>3</sub> /L	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2320 B, 22 <sup>nd</sup> Ed. 2012 : Alkalinity. Titration Method
(*) Dureza Total	mg CaCO <sub>3</sub> /L	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2340 C, 22 <sup>nd</sup> Ed. 2012: Hardness EDTA Titrimetric Method

OBSERVACIONES

BFL: Blanco fortificado de Laboratorio, MFL: Matriz fortificada de Laboratorio, RSD: Desviación estandar relativa  
LDM: Limite detección del Método, LCM: Limite de cuantificación del métodos, ECA: Estandar de calidad ambiental, VE: valor estimado  
Los Resultados Químicos <LCM, significa que la concentración del analito es menor al LCM del Laboratorio establecido.  
(\* Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL - DA. NA: No aplica ND: No determinado  
(\* Los Resultados son referenciales, fueron procesados fuera del tiempo estipulado por el método.

NOTAS FINALES

- ✓ Los resultados indicados en este informe concierne única y exclusivamente a las muestras recibidas y sometidas a ensayo en este Laboratorio Regional del Agua.
- ✓ La reproducción parcial de este informe no está permitida sin la autorización por escrito del Laboratorio Regional del Agua, su autenticidad será válida sólo si tiene firma y sello original.
- ✓ Este informe no será válido si presenta tachaduras o enmiendas.
- ✓ El Sistema de Gestión de Calidad del Laboratorio Regional del Agua, está ACREDITADO en base a la norma NTP ISO/IEC 17025:2006.
- ✓ La incertidumbre de medición se expresa cuando los resultados están dentro del alcance del método.
- ✓ El tipo de preservante utilizado corresponde al requerido por la normativa vigente para los diferentes parámetros
- ✓ Los resultados del informe no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de productos o como certificado del sistema de calidad de la entidad que la produce.
- ✓ Los materiales o muestras sobre los que se realicen los ensayos se conservaran en Laboratorio Regional del Agua, durante el tiempo indicado de preservaciones posteriores a la emisión del informe, por lo que toda comprobación o reclamación que, en su caso, deseara efectuar el solicitante, se deberá ejercer en el plazo indicado.

Cajamarca, 28 de Octubre de 2016.





INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

INFORME DE ENSAYO N°

IE 0916464

Cliente: DARWIN PÉREZ BRICEÑO  
Localización: Av. Jesus de Nazareth N° 508  
Atención: -

ENSAYOS			M - 01	M - 02	M - 03	M - 04	M - 05	M - 06	ECA (D.S-015)
Parámetro	Unidad	LCM							
Antimonio (Sb)	mg/L	0.005	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	0.02
Aluminio (Al)	mg/L	0.022	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	0.113	0.176	0.9
Arsénico (As)	mg/L	0.003	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	0.01
Boro (B)	mg/L	0.021	0.051	0.067	0.060	0.060	0.028	0.067	2.4
Bario (Ba)	mg/L	0.002	0.032	0.017	0.029	0.044	0.013	0.052	0.7
Cadmio (Cd)	mg/L	0.002	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	0.003
Cromo (Cr)	mg/L	0.002	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	0.05
Cobre (Cu)	mg/L	0.014	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	2
Hierro (Fe)	mg/L	0.019	<LCM	<LCM	<LCM	0.602	0.072	0.153	0.3
Manganeso (Mn)	mg/L	0.002	<LCM	0.002	0.002	0.075	0.052	0.034	0.4
Plomo (Pb)	mg/L	0.003	0.004	0.004	0.004	<LCM	<LCM	<LCM	0.01
Molibdeno (Mo)	mg/L	0.002	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	0.07
Selenio (Se)	mg/L	0.017	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	0.04
Zinc (Zn)	mg/L	0.016	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	3
Uranio (U)	mg/L	0.004	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	0.02
Niquel (Ni)	mg/L	0.002	<LCM	0.003	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	0.07
Nitrato (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	mg/L	0.064	0.131	0.953	0.286	0.186	0.083	2.368	50
Nitrito (NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> )	mg/L	0.050	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	3
Cloruro (Cl <sup>-</sup> )	mg/L	0.065	0.087	0.344	0.096	1.444	3.215	1.445	250
Sulfato (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )	mg/L	0.070	1.418	4.586	10.62	20.01	1.595	13.00	250
Conductividad a 25°C	us/cm	NA	87.0	171.7	165.1	227.0	24.6	289.5	1500
(*) Sólidos Disueltos Total	mg/L	2.5	50.5	91.5	86.0	120.0	15.8	153.5	1000
(*) Dureza Total	mg CaCO <sub>3</sub> /L	0.5	34.5	72.4	80.8	98.1	15.8	141.1	500

INTERPRETACIÓN

1. Los resultados de la muestra M - 04 no cumple el parámetro de Hierro, según la Categoría A1. Aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección, del D.S. N° 015-2015-MINAM. Modifican los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua y establecen disposiciones complementarias para su aplicación.

GOBIERNO REGIONAL DE CAJAMARCA  
LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA  
  
Bigo. Ronald A. Cáceda Cuba  
RESPONSABLE DE LA CALIDAD  
CBP: 4995

DEL AGUA



## INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

ENSAYOS			INFORME DE ENSAYO N°						ECA (D.S-015)
Parámetro	Unidad	LCM	M-07	M-08	-	-	-	-	
Antimonio (Sb)	mg/L	0.005	<LCM	<LCM	-	-	-	-	0.02
Aluminio (Al)	mg/L	0.022	0.041	<LCM	-	-	-	-	0.9
Arsénico (As)	mg/L	0.003	<LCM	0.006	-	-	-	-	0.01
Boro (B)	mg/L	0.021	0.048	0.082	-	-	-	-	2.4
Bario (Ba)	mg/L	0.002	0.035	0.075	-	-	-	-	0.7
Cadmio (Cd)	mg/L	0.002	<LCM	<LCM	-	-	-	-	0.003
Cromo (Cr)	mg/L	0.002	<LCM	<LCM	-	-	-	-	0.05
Cobre (Cu)	mg/L	0.014	<LCM	<LCM	-	-	-	-	2
Hierro (Fe)	mg/L	0.019	0.888	0.207	-	-	-	-	0.3
Manganeso (Mn)	mg/L	0.002	0.175	0.035	-	-	-	-	0.4
Plomo (Pb)	mg/L	0.003	<LCM	<LCM	-	-	-	-	0.01
Molibdeno (Mo)	mg/L	0.002	<LCM	0.003	-	-	-	-	0.07
Selenio (Se)	mg/L	0.017	<LCM	<LCM	-	-	-	-	0.04
Zinc (Zn)	mg/L	0.016	<LCM	<LCM	-	-	-	-	3
Uranio (U)	mg/L	0.004	<LCM	<LCM	-	-	-	-	0.02
Niquel (Ni)	mg/L	0.002	<LCM	<LCM	-	-	-	-	0.07
Nitrato (NO3-)	mg/L	0.064	<LCM	0.172	-	-	-	-	50
Nitrito (NO2-)	mg/L	0.050	<LCM	<LCM	-	-	-	-	3
Cloruro (Cl -)	mg/L	0.065	0.944	9.695	-	-	-	-	250
Sulfato (SO4=)	mg/L	0.070	100.2	81.41	-	-	-	-	250
Conductividad a 25°C	us/cm	NA	266.9	436.0	-	-	-	-	1500
(*) Solidos Disueltos Total	mg/L	2.5	143.0	237.0	-	-	-	-	1000
(*) Dureza Total	mg CaCO3/L	0.5	118.8	163.0	-	-	-	-	500

### INTERPRETACIÓN

1. Los resultados de la muestra **M - 07** no cumple el parámetro de Hierro, según la Categoría A1. Aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección, del D.S. N° 015-2015-MINAM. Modifican los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua y establecen disposiciones complementarias para su aplicación.

GOBIERNO REGIONAL DE CAJAMARCA  
LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA  
  
Bigo. Ronald A. Cáceda Cuba  
RESPONSABLE DE LA CALIDAD  
CBP: 4995

