

UNIVERSIDAD AUTONOMA "JUAN MISAEL SARACHO"
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGIA
CARRERA DE INGENIERIA CIVIL
DEPARTAMENTO DE HIDRÁULICA Y OBRAS SANITARIAS



**“ESTUDIO HIDROGEOQUÍMICO DE LOS POZOS QUE
ESTÁN DENTRO LA CONCESIÓN DE COSAALT”**

Por:

DORIAN KLISMANN COLQUE VASQUEZ

SEMESTRE I - 2019

TARIJA – BOLIVIA

UNIVERSIDAD AUTONOMA “JUAN MISAEL SARACHO”
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
DEPARTAMENTO DE HIDRÁULICA Y OBRAS SANITARIAS

**“ESTUDIO HIDROGEOQUÍMICO DE LOS POZOS QUE ESTÁN DENTRO
LA CONCESIÓN DE COSAALT”**

Por:

DORIAN KLISMANN COLQUE VASQUEZ

Proyecto de grado presentado a consideración de la "UNIVERSIDAD AUTONOMA JUAN MISAEL SARACHO", como requisito para optar el grado académico de Licenciatura en Ingeniería Civil.

SEMESTRE I - 2019

TARIJA – BOLIVIA

M. Sc. Ing. Ernesto Roberto Álvarez G.
Figueroa

**DECANO
FACULTAD DE
CIENCIAS Y TECNOLOGÍA.
TECNOLOGÍA.**

TRIBUNAL:

M. Sc. Lic. Elizabeth Castro

**VICEDECANA
FACULTAD DE
CIENCIAS Y**

Ing. Henry Monzón de los Ríos

Ing. Mario Carmelo Gamarra Mendoza

Ing. Jimena Durán Durán

DEDICATORIA

Dedico éste trabajo a mis padres por su respaldo, el tiempo invertido; y sobre todo, por creer siempre en mí, dándome la motivación necesaria para continuar y perseverar en los buenos y malos momentos.

A mi padre por creer siempre en mí y demostrarme que como persona puedo lograr grandes cosas.

A mi madre por seguir apoyándome y confiar en mí dándome todas las fuerzas para continuar.

AGRADECIMIENTOS

A todos quienes fueron mis docentes de la Universidad Juan Misael Saracho, por haber compartido todos sus conocimientos en mí proceso de formación académica.

Al Ingeniero David Torres por su apoyo durante el proceso de formulación del proyecto de tesis.

Al Ingeniero Pedro Almazán gerente general de COSAALT Ltda. por todos sus aportes en esta investigación lo cual ayudó a que los valores obtenidos en esta investigación tengan más credibilidad; a todo su equipo de trabajo quienes facilitaron el desarrollo de esta investigación.

ÍNDICE DE CONTENIDO

CAPÍTULO 1	Páginas
1.1 INTRODUCCIÓN	1
1.1.1 ANTECEDENTES	1
1.2 PROBLEMÁTICA	4
1.3 JUSTIFICACIÓN DEL TEMA	4
1.3.1 Justificación Científica.....	4
1.3.2 Justificación Social	4
1.3.3 Justificación Técnica.....	4
1.4 OBJETIVOS	5
1.4.1 Objetivo General.....	5
1.4.2 Objetivos Específicos.....	5
1.5 HIPÓTESIS.....	5
1.6 DELIMITACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO	5
1.7 ALCANCE.....	6
CAPÍTULO 2	
2.1. CONCEPTOS DE HIDROGEOLOGÍA.....	9
2.1.1. Ciclo hidrológico	9
2.1.2. Acuíferos.....	10
2.1.3. Estratos del suelo	12
2.1.4. Parámetros Físicos que definen a los Acuíferos	13
2.2. CONCEPTOS DE GEOLOGÍA	16
2.2.1. Rocas ígneas y volcánicas.....	16

2.2.2. Rocas metamórficas	17
2.2.3. Rocas sedimentarias.....	17
2.3. CONCEPTOS DE HIDROGEOQUÍMICA	18
2.3.1 Composición Química de las Aguas Subterráneas	20
2.3.2 Concentración frecuente en aguas subterráneas.	21
2.3.2.1 Constituyentes mayoritarios.....	22
2.4 Características físicas del agua.	28
2.5 PROCESOS FÍSICO-QUÍMICOS QUE INFLUYEN EN LA COMPOSICIÓN DE LAS AGUAS	31
2.5.1 Factores que afectan a los procesos físico-químicos	32
2.5.2 Fenómenos limitantes del contenido de sales disueltas	32
2.6 EVOLUCIÓN GEOQUÍMICA DEL AGUA EN ACUÍFEROS.....	35
2.6.1 Índices hidrogeoquímicos.	38
2.7 TÉCNICAS DE ESTUDIO HIDROQUÍMICO	40
2.7.3 Diagrama Piper	40
2.7.2 Diagramas de Stiff	43
2.7.4 Diagrama Mifflin	44
2.7.6 Diagramas bidimensionales de dispersión	47
2.8 MARCO LEGAL.....	48
2.8.1 Reglamento en Materia de Contaminación Hídrica (RMCH)	48
2.8.2 Reglamento Nacional para el control de Calidad de agua para Consumo Humano (NB 512)	50

CAPÍTULO 3

3.1 CARACTERÍSTICAS CLIMATOLÓGICAS	53
3.1.1 Precipitación	53
3.1.2 Evapotranspiración Real	54
3.1.3 Temperatura	55
3.2 GEOLOGÍA DEL ÁREA DE ESTUDIO	55
3.2.1 Estratigrafía.....	56
3.3.1 Descripción de los acuíferos	57
3.3.2 Características hidrogeológicas de los acuíferos del área de estudio	58
3.3.2.1 Transmisividad.....	58
3.3.2 Áreas de Recargas.....	60
3.3.3Áreas de descargas	62

CAPÍTULO 4

4.1 PROCESO METODOLÓGICO	65
4.3 METODOLOGÍA DE MUESTREO	67
4.3.1 Envase	67
4.3.2 Instrumento utilizado para el muestreo en Campo	67
4.3.3 Toma de muestras	68
4.4 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE CAMPO EN LOS POZOS.	69
4.5 RESULTADOS DEL LABORATORIO (C.E.A.N.I.D.)	72
4.6 VALIDACIÓN DE RESULTADOS DE LABORATORIO.	73
4.6.1 Error de Balance de Iónico.	73

4.6.2 Resultados de Balance Iónico en los Pozos.....	74
--	----

CAPÍTULO 5

5.1 TÉCNICAS HIDROGEOQUÍMICAS.....	77
5.2 DIRECCIÓN DE LOS FLUJOS SUBTERRÁNEOS (análisis de los sólidos disueltos totales [STD])	77
5.3 APLICACIÓN DE LOS DIAGRAMAS HIDROGEOQUÍMICOS.....	79
5.3.1 Aplicación de Piper.....	79
5.3.1.1 Análisis de Piper en pozos conectados	82
5.3.2 Aplicación de Stiff.....	86
5.3.3 Aplicación de Mifflin.....	88
5.3.4 Aplicación de Gibbs.....	89
5.3.5 Diagramas Bidimensionales de Dispersión	92
5.4 APLICACIÓN DE ÍNDICES HIDROGEOQUÍMICOS.....	94
5.4.1 Índice de cambio de bases (Icb).....	94
5.4.2 RELACIÓN $r(\text{SO}_4)^{2-}/r\text{Cl}^- * 100$	94
5.7 CALIDAD DE AGUAS SEGÚN NB-512 Y EL RMCH.....	95
5.7.1 COMPARACIÓN DE PARÁMETROS QUÍMICOS CON EL REGLAMENTO DE CONTAMINACIÓN HÍDRICA (RMCH).....	97
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	106
CAPÍTULO 6	
6.1 CONCLUSIONES	106
6.2 RECOMENDACIONES.....	107
BIBLIOGRAFÍA	109
WEBGRAFIA.....	109

ANEXOS

ANEXO 1: Informes de Laboratorio de COSAALT gestión: 2017-2018

ANEXO 2: Resultados Elaborados por el Laboratorio de Centro de Análisis Investigación y Desarrollo (CEANID).

ANEXO 3: Procedimiento para determinar el Error de Balance Iónico

ANEXO 4: Perfiles Litológicos de los pozos en Estudio.

FIGURAS

Figura 1: Mapa de ^{14}C en años, dirección y áreas de recarga.	3
Figura 2: Ubicación de la zona de estudio.	6
Figura 3: Ciclo hidrológico y afectación antropogénica.	9
Figura 4 : Diagrama de bloques del sistema hidrológico global.....	10
Figura 5: Diagrama de la distribución de acuíferos y acuitardos.....	12
Figura 6: Diagrama de distribución de los estratos del suelo.	13
Figura 7: Acuífero poroso.....	14
Figura 8: Acuífero con poros cementados	14
Figura 9: Concentración en mg/l de iones frecuente en agua subterránea.....	21
Figura 10: Tipos de procesos y reacciones que modifican la composición del agua.	31
Figura 11: Proceso de Intercambio Catiónico en Arcillas.	33
Figura 12: Efecto ion Común.....	34
Figura 13: Secuencia de Chevotareb para Aniones.	36
Figura 14: Secuencia de Chevotareb para Cationes.....	36
Figura 15: Evolución geoquímica en flujos Locales, Regionales.....	37
Figura 16: Diagrama de Piper.....	40
Figura 17: Fenómenos modificadores de composición del agua.	41

Figura 18: Tipos de aguas deducidas según SAR.....	42
Figura 19: Configuración del diagrama de Stiff para aguas subterráneas.	43
Figura 20: Representación del diagrama de Stiff.....	44
Figura 21: Diagrama de Mifflin.....	44
Figura 22: Diagrama de Gibbs para Cationes.	45
Figura 23: Diagrama de Gibbs para Aniones.....	46
Figura 24: Relación de Cloruros (Cl ⁻) y Conductividad (CE).	47
Figura 25: Mapa de Isoyetas.	53
Figura 26: Mapa de Evapotranspiración Real.....	54
Figura 27: Mapa Geológico del Área de Estudio.....	56
Figura 28: Mapa de Transmisividad en el Valle Central de Tarija.....	59
Figura 29: Nacientes del Río San Andrés al Pie de la Serranía de Sama.	62
Figura 30: Mapa de Iso-Conductividad	65
Figura 31: Ubicación espacial de los pozos seleccionados.....	66
Figura 32: Multiparamétrico.	67
Figura 33: Homogeneización del pozo.	68
Figura 34: Muestreo.....	68
Figura 35: Líneas de Flujo Subterráneo.....	78
Figura 36: Piper de los Pozos Seleccionados.....	79
Figura 37: Distribución Espacial de Edad de ¹⁴ C en los Pozos de Estudio.	81
Figura 38: Distribución Espacial de los Tipos de Agua en los Pozos de Estudio.	81
Figura 39: Piper pozo Avit “A” y Oscar Zamora	82
Figura 40: Piper pozo Avit “A” y Oscar Zamora.....	83

Figura 41: Piper pozo Anaspugio “A” y Aeropuerto “A”.	84
Figura 42: Piper pozo Aeropuerto “A” y Anaspugio “A”.	85
Figura 43: Stiff Anaspugio “A”.	86
Figura 44: Stiff Aeropuerto “A”.	86
Figura 45: Stiff pozo Oscar Zamora.	87
Figura 46: Stiff Avit “A”.	87
Figura 47: Diagrama Mifflin.	88
Figura 48: Diagrama Gibbs Cationes.	90
Figura 49: Diagrama Gibbs Aniones.	90
Figura 50: Relación de Cloruros vs Bicarbonatos.	92
Figura 51: Relación de Cloruros vs Sulfatos.	93
Figura 52: Variación de ph en los Pozos de Estudio.	97
Figura 53: Variación de Ca^{2+} en los Pozos de Estudio.	98
Figura 54: Variación de Ca^{2+} en los Pozos de Estudio.	99
Figura 55: Variación de Mg^{2+} en los Pozos de Estudio.	100
Figura 56: Variación de $(\text{SO}_4)^{2-}$ en los Pozos de Estudio.	101
Figura 57: Variación de Cl^- en los pozos de Estudio.	102
Figura 58: Variación de $(\text{NO}_4)^{2-}$ en los pozos de Estudio.	103

TABLAS

Tabla 1: Edades de ^{14}C de los pozos	3
Tabla 2: Valores Típicos de Conductividad.	30
Tabla 3: Clasificación según al contenido de carbonatos	31
Tabla 4: Relación $[\text{r}(\text{SO}_4)^{2-}/\text{rCl}^-] * 100$.	39

Tabla 5: Clasificación de los cuerpos de agua según su aptitud de uso.....	49
Tabla 6. Valores máximos aceptables según RMCH.....	50
Tabla 7: Parámetros de control mínimo según la NB-512.....	51
Tabla 8: Leyenda Geológica.	56
Tabla 9: Características Hidrogeológicas de las Rocas del Área de Estudio.....	57
Tabla 10: Pozos Seleccionados.....	66
Tabla 11: Pozo Guadalquivir.	69
Tabla 12: Pozo Oscar Zamora.....	70
Tabla 13: Pozo Avit “A”.....	70
Tabla 14: Pozo San Luis.	71
Tabla 15: Pozo Anaspugio “A”.....	71
Tabla 16: Pozo Aeropuerto “A”.....	72
Tabla 17: Pozo San Jacinto.....	72
Tabla 18: Resultados de Parámetros Químicos de los Pozos de Estudio.	73
Tabla 19: Error Aceptable en Balance Iónico según Conductividad.....	74
Tabla 20: Error del Balance Iónico en los Pozos de Estudio.....	74
Tabla 21: Clasificación por Iones Dominantes en los pozos de Estudio.	80
Tabla 22: Tipificación de los pozos de Estudio.....	80
Tabla 23: Relación Tipo de Agua, Edad y Mifflin.	89
Tabla 24: Relación Tipo de Agua, Edad y Gibbs.	91
Tabla 25: Resultados de Índice de Cambio de bases.	94
Tabla 26: Resultados de Relación $[r (SO_4)^2/r Cl] * 100$	94
Tabla 27: Cuadro comparativo pozo Avit “A”.	95

Tabla 28: Cuadro comparativo pozo Oscar Zamora.	95
Tabla 29: Cuadro comparativo pozo Aeropuerto "A".	95
Tabla 30: Cuadro comparativo pozo Anaspugio "A".	96
Tabla 31: Cuadro comparativo pozo San Jacinto.	96
Tabla 32: Cuadro comparativo pozo Guadalquivir.	96
Tabla 33: Cuadro comparativo pozo San Luis.	96