

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA JUAN MISAEL SARACHO
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA

DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD DE AGUA SUBTERRÁNEA EN
BARRIOS PERIURBANOS DE LA CIUDAD DE TARIJA

Por:

SERGIO FERNANDO MENDOZA MENDOZA

Modalidad de graduación (Investigación Aplicada) presentado a consideración de la “UNIVERSIDAD AUTÓNOMA JUAN MISAEL SARACHO”, como requisito para optar el grado académico de Licenciatura en Ingeniería Química.

Agosto de 2015

TARIJA-BOLIVIA

V°B°

Ing. Ernesto Álvarez González
DECANO

Ing. Silvana Paz Ramírez
VIDECANO

APROBADA POR:

TRIBUNAL:

Ing. Jimena Durán Durán

Ing. Jorge Luis Tejerina Oller

Ing. Ignacio Edwin Velásquez Sosa

ADVERTENCIA

El tribunal calificador del presente

Trabajo, no se solidariza con la forma, términos, modos y expresiones vertidas en el mismo, siendo éstas responsabilidad del autor.

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a todos aquellos que no creyeron en mí, a aquellos que esperaban mi fracaso en cada paso que daba hacia la culminación de mis estudios, a aquellos que nunca esperaban que lograra terminar la carrera, a todos aquellos que apostaban a que me rendiría a medio camino, a todos los que supusieron que no lo lograría, a todos ellos les dedico este trabajo.

AGRADECIMIENTO

A todas las personas que hicieron posible la realización de este trabajo.

PENSAMIENTO

Cada cosa que tenemos en la vida no llega como un regalo, llega como recompensa al esfuerzo por alcanzarla.

ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS

Contenido	Pag.
ADVERTENCIA	i
DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTO	iii
PENSAMIENTO	iv
RESUMEN.....	v
ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS.....	vi
ÍNDICE DE TABLAS	xi
ÍNDICE DE FÍGURAS.....	xiii
ÍNDICE DE GRAFICOS	xiv

CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN

1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Antecedentes.....	1
1.1.1. Recarga y Descarga de los Acuíferos Subterráneos.....	3
1.1.1.1. Recarga	3
1.1.1.2. Descarga	3
1.1.2. Aprovechamiento de Aguas Subterráneas	4
1.2. OBJETIVOS	5
1.2.1. Objetivo General	5
1.2.2. Objetivos Específicos	5
1.3. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO.....	6

CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO

2. MARCO TEÓRICO.....	8
2.1. Introducción	8
2.2. Dinámica del Agua Subterránea	9
2.3. Agua Subterránea en Bolivia	10
2.4. Calidad de Agua.....	11
2.4.1. Parámetros de Calidad del Agua	14

2.4.1.1. Potencial de Hidrogeno-pH	16
2.4.1.2. Color	16
2.4.1.3. Sabor, olor y aspecto	17
2.4.1.4. Turbiedad	17
2.4.1.5. Conductividad	18
2.4.1.6. Temperatura	18
2.4.1.7. Alcalinidad	18
2.4.1.8. Durezas	19
2.4.1.9. Cloruros	20
2.4.1.10. Sólidos Disueltos Totales.....	20
2.4.1.11. Nitratos	20
2.4.1.12. Sulfatos	20
2.4.1.13. Cromo Hexavalente	21
2.4.1.14. Fosfatos.....	21
2.4.1.15. Nitritos	21
2.4.1.16. Hierro.....	22
2.4.1.17. Manganeso	22
2.4.1.18. Amoníaco.....	22
2.4.1.19. Parámetros Bacteriológicos	23
2.4.1.19.1. Coliformes Totales	23
2.4.1.19.2. Coliformes Fecales	24
2.4.1.20. Demanda de Cloro (Breakpoint)	24
2.5. Contaminación de Agua Subterránea.....	24
2.6. Desinfección del Agua Subterránea	25
2.6.1. Evaluación y Selección del Desinfectante.....	26
2.6.2. Proceso de Desinfección.....	26
2.6.3. Velocidad de la Desinfección	26
2.6.4. Factores Determinantes en el proceso de Desinfección	28
2.6.4.1. Relación Concentración – Tiempo	28
2.6.4.2. Temperatura	28
2.6.4.3. Potencial Hidrogeno-pH	29

2.6.4.4. Número y Tipos de Microorganismos	29
2.7. Desinfección del Agua con Cloro	29
2.7.1. Características Físicas del Cloro	29
2.7.2. Reacciones de Cloro en Agua	30
2.7.2.1. Reacciones Hidrolíticas	30
2.7.3. Reacciones del Cloro con Elementos Presentes en el Agua	32
2.7.3.1. Reacciones de Oxido-Reducción	32
2.7.3.1.1. Reacciones del Cloro con el Nitrógeno Amoniacal	32
2.8. Demanda de Cloro y Breakpoint	34
2.8.1. Dosis	36
2.8.2. Demanda	36
2.8.3. Residual	37
2.8.4. Combinado	37
2.9. Decadencia de Cloro en Sistemas de Distribución de Agua	37
2.9.1. Modelo de Decaimiento de Cloro de Primer Orden	38
2.9.2. Decaimiento del Cloro con el Volumen de Agua	39

CAPÍTULO III

PARTE EXPERIMENTAL

3. PARTE EXPERIMENTAL	40
3.1. Metodología Empleada en el Proyecto	40
3.1.1. Definición de los Barrios Objeto de Estudio	40
3.1.2. Identificación de las Características Básicas del Sistema de Abastecimiento de Agua	44
3.1.3. Planificación	44
3.1.3.1. Identificación de las Zonas de Abastecimiento de Agua de los Barrios	44
3.1.3.2. Definición de los Puntos de Muestreo y Criterios de Muestreo	44
3.1.3.3. Selección de las Determinaciones Analíticas de Mayor Impacto	45
3.1.3.4. Frecuencia de Muestreo	48
3.1.4. Ejecución	49
3.1.5. Garantía de Calidad de la Información	49
3.1.6. Procesamiento de la Información	49
3.1.7. Elaboración de Informes	49

3.2. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL.....	50
3.2.1. Análisis de Laboratorio	50
3.2.1.1. Análisis de Parámetros In Situ	50
3.2.1.2. Análisis de Parámetros Fisicoquímicos	50
3.2.1.3. Análisis de Parámetros Bacteriológicos	50
3.2.2. Selección de la alternativa más adecuada para garantizar la potabilidad del agua subterránea a ser distribuida.....	50
3.2.3. Estandarización de Solución de Tiosulfato de Sodio	50
3.2.4. Determinación de Cloro Activo en Hipocloritos	51
3.2.4.1. Determinación de Cloro Activo en Hipoclorito de Calcio	52
3.2.5. Determinación de la Demanda de Cloro	52
3.2.5.1. Determinación de Cloro Residual	53
3.2.6. Estimación de la Constante de Reacción del Cloro con el Volumen de Agua “k”	53

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4. RESULTADOS Y DISCUSION	54
4.1. Determinación de la Calidad Del Agua.....	54
4.2. Identificación de las Posibles Fuentes de Contaminación de del Agua Subterránea de los Barrios.....	69
4.3. Categorización de los Cuerpos de Agua Subterránea de los Barrios	69
4.4. Selección de la alternativa más adecuada para garantizar la potabilidad del agua subterránea a ser distribuida.	73
4.5. Elección del tipo de desinfección y del desinfectante.....	74
4.6. Cloración	74
4.6.1. Estandarización de Solución de Tiosulfato de Sodio	75
4.6.1.1. Cálculo del Factor Volumétrico para el Tiosulfato de Sodio	76
4.6.2. Determinación de Cloro Activo en Hipoclorito de Calcio	77
4.6.3. Demanda de Cloro.....	78
4.6.4. Estimación de la Constante de Reacción del Cloro con el Volumen de Agua “k”	83
4.6.4.1. Comparación de resultados de concentración de cloro (modelo vs medición).....	88

4.6.5. Cloración en Línea	92
4.6.5.1. Procedimiento de Implementación.....	92
4.6.5.2. Cálculo del volumen aproximado de agua a desinfectar:	93
4.6.5.3. Cálculo de la Cantidad de Cloro	93
4.6.5.4. Balances de Materia Para la Cloración.....	96
4.6.5.5. Consideraciones Técnicas:.....	97

**CONCLUSIONES Y
RECOMENDACIONES**

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	101
5.6. Conclusiones	101
5.7. Recomendaciones.....	104

BIBLIOGRAFÍA

BIBLIOGRAFÍA	106
--------------------	-----

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.3-1 Población por Censo 1950 - 1976 -1992 - 2001- 2012	6
Tabla 2.4.1-1 Parámetros de Calidad del Agua	15
Tabla 2.7.1-1 Características físicas del Cloro	30
Tabla 3.1.3.4-1 Número de muestras a ser analizadas en la red de distribución	48
Tabla 3-3.1.3.3-1 Parámetros de Control Básico.....	46
Tabla 3-3.1.3.3-2 Requisitos Físicos y Organolépticos	46
Tabla 3-3.1.3.3-3 Requisitos Químicos	47
Tabla 3-3.1.3.3-4 Requisitos Microbiológicos	47
Tabla 3-3.1.3.3-5 Parámetros de Control.....	48
Tabla 4.1-1 Análisis de Agua 15/12/14 Barrio Nueva Esperanza	55
Tabla 4.1-2 Análisis de Agua 12/01/14 Barrio Nueva Esperanza	56
Tabla 4.1-3 Análisis de Agua 2/02/14 Barrio Nueva Esperanza	57
Tabla 4.1-4 Análisis de Agua 15/12/15 Barrio Fortaleza	60
Tabla 4.1-5 Análisis de Agua 12/01/15 Barrio Fortaleza	61
Tabla 4.1-6 Análisis de Agua 2/02/15 Barrio Fortaleza	62
Tabla 4.1-7 Análisis de Agua 15/12/15 Barrio 26 de Agosto	65
Tabla 4.1-8 Análisis de Agua 12/01/15 Barrio 26 de Agosto	66
Tabla 4.1-9 Análisis de Agua 2/02/15 Barrio 26 de Agosto	67
Tabla 4.3-1 Clasificación de Cuerpos de Agua Barrio Nueva Esperanza	70
Tabla 4.3-2 Clasificación de Cuerpos de Agua Barrio Fortaleza	71
Tabla 4.3-3 Clasificación de Cuerpos de Agua Barrio 26 de Agosto.....	72
Tabla 4.6.1-1 Volumen gastado en la titulación de Estandarización de la	

Solución de Tiosulfato de Sodio	75
Tabla 4.6.1-2 Variables estadísticas de la Estandarización de la Solución de Tiosulfato de Sodio	76
Tabla 4.6.2-1 Volumen gastado en la titulación para la Determinación de Cloro Activo en Hipoclorito de Calcio	77
Tabla 4.6.2-2 Variables estadísticas de la Determinación de Cloro Activo en HTH .	78
Tabla 4.6.3-1 Demanda de Cloro Barrio Fortaleza.....	79
Tabla 4.6.3-2 Demanda de Cloro Barrio Nueva Esperanza	79
Tabla 4.6.3-3 Demanda de Cloro Barrio 26 de Agosto	80
Tabla 4.6.3-4 Variables estadísticas datos Barrio 26 de Agosto	83
Tabla 4.6.4.1-1 Decaimiento del cloro en una muestra en el tiempo y su ajuste a una curva Barrio Fortaleza	89
Tabla 4.6.4.1-2 Decaimiento del cloro en una muestra en el tiempo y su ajuste a una curva Barrio Nueva Esperanza	90
Tabla 4.6.4.1-3 Decaimiento del cloro en una muestra en el tiempo y su ajuste a una curva Barrio 26 de Agosto	91
Tabla 4.6.4-1 Decaimiento de cloro en una muestra de agua tomada de Red de distribución.....	84
Tabla 4.6.5.1-1 Estadísticas Sociales Vivienda y Servicios Básicos.....	92
Tabla 4.6.5.1-2 Número de familias por barrio	93
Tabla 4.6.5.3-1 Dosis de cloro a agregar en barrios con residual de 0.9 mg/l	94
Tabla 4.6.5.4-1 Concentración del Cloro en función del Tiempo	97
Tabla 4.6.5.5-1 Datos Técnicos Para la Cloración en los Barrios de Estudio.....	98

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.8-1 Curva de la Demanda de Cloro.....	36
Figura 3.1.1-1 Barrio Nueva Esperanza.....	41
Figura 3.1.1-2 Barrio Fortaleza	42
Figura 3.1.1-3 Barrió 26 de Agosto	43
Figura 4.6.5.6-1 Esquema Simplificado del Sistema de Cloración en línea	99

ÍNDICE DE GRAFICOS

Gráfico 4.6.3-1 Curva de demanda de Cloro Barrio Fortaleza.....	80
Gráfico 4.6.3-2 Curva de demanda de Cloro Barrio Nueva Esperanza	81
Gráfico 4.6.3-3 Curva de demanda de Cloro Barrio 26 de Agosto	81
Gráfico 4.6.4-1 Curva de decaimiento de cloro Barrio Fortaleza	85
Gráfico 4.6.4-2 Curva de decaimiento de cloro Barrio Nueva Esperanza	86
Gráfico 4.6.4-3 Curva de decaimiento de cloro Barrio 26 de Agosto	87