

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA “JUAN MISAEL SARACHO”
FACULTAD DE CIENCIAS AGRÍCOLAS Y FORESTALES
CARRERA DE INGENIERÍA EN MEDIO AMBIENTE**



**“EVALUACIÓN DE LA DOSIS ADECUADA DEL HIPOCLORITO DE
CALCIO PARA EL PROCESO DE DESINFECCIÓN DEL AGUA POTABLE
DE LA CIUDAD DE ENTRE RÍOS”**

Por: HELIANA VALERIA GARECA AUZA

Tesis presentada a consideración de la “UNIVERSIDAD AUTONOMA JUAN MISAEL SARACHO” como requisito para optar el grado académico de Licenciatura en Ingeniería en Medio Ambiente.

Abril, 2019
ENTRE RÍOS – BOLIVIA

DEDICATORIA

A Dios, por permitirme llegar a este momento tan especial en mi vida, por los triunfos y momentos difíciles que me han enseñado a valorarlo cada día más.

A mi madre Marfa Auza Fernandez, por ser el pilar fundamental en mi vida, y la persona que me ha acompañado durante todo mi trayecto, estudiantil.

A mi madrina Ana Maria Auza y mi padre Luis Fernando Auza, que han velado por mí durante este arduo camino para convertirme en una profesional.

A mi Familia, por su cariño y apoyo incondicional durante toda la carrera y a lo largo de mi vida.

ÍNDICE GENERAL

Título	Página
RESUMEN	
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. JUSTIFICACIÓN.	2
III. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	3
IV. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.	4
V. HIPÓTESIS.	5
VI. OBJETIVO GENERAL.	6
VII. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.	6
<u>CAPÍTULO I</u>	7
REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	7
1. MARCO TEÓRICO	7
1.1 Calidad del agua potable	7
1.2 Aspectos microbiológicos.....	7
1.3 Coliformes totales.....	9
1.4 Infecciones transmitidas por el agua	9
1.5 Efectos sobre la salud humana.....	12
1.6 Etapa de pretratamiento	13
1.7 Desinfección	14
1.8 Cloración.....	16
1.8.1 Trihalometanos(THMs) Subproductos de la desinfección por cloración (SPD)	16
1.9 Cómo actúa el Cloro.....	18

1.10 Cloro residual o Cloro libre	19
1.11 Cuándo y dónde se analiza el agua	19
1.12 Efectos sobre la salud humana del exceso de Cloro en el agua	22
1.13 Aspectos relativos a la aceptabilidad.....	22
2. MARCO CONCEPTUAL	24
3. MARCO LEGAL	26
<u>CAPÍTULO II</u>	33
1. MATERIALES Y METODOLOGÍA	33
1.1 LOCALIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO	33
1.2 MATERIALES.....	36
1.3 METODOLOGÍA.	38
1.3.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN	38
1.3.1.1 Descriptiva	39
1.3.1.2 Experimental	39
1.3.1.3 Explicativa	39
1.3.2 Métodos, Técnicas e Instrumentos.....	40
1.3.2.1 Descripción del actual sistema de cloración.....	40
1.3.2.2 Medida de los puntos, el más cercano y los dos más alejados para la toma de muestras	41
1.3.2.3 Medición de los caudales del sistema de agua potable.....	42
1.3.2.3.1 Medición de caudal en el sistema de filtración	42

1.3.2.3.2 Medición del caudal que ingresa al tanque de almacenamiento previo a la cloración	46
1.3.2.3.3 Diferencia del caudal del agua derivada que se dirige a otros barrios...	46
1.3.2.4 Métodos empleados para la toma de muestras.....	48
1.3.2.4.1 Toma de muestras para los parámetros de control mínimo	49
1.3.2.4.2 Toma de muestras para Cloro residual y Cloro total	51
1.3.2.5 Preparación de las muestras	55
1.3.2.6. Determinación de la calidad del agua potable antes y después de la Cloración	55
1.3.2.6.1 Medida del ICA en el punto de muestreo P1: Tanque Clorador, antes del proceso de Cloración.....	56
1.3.2.6.2 Medida del ICA en el P2: Garaje de la Alcaldía (Casa más próxima al sistema de Cloración).....	56
1.3.2.7 Cálculo del caudal de solución clorada a aplicar (Qsc)	57
1.3.2.7.1 Cálculo del tiempo de dosificación del volumen de (Qsc).....	59
1.3.2.8 Evaluación de la dosis adecuada de Hipoclorito de Calcio	59
1.3.2.8.1 Cálculo de la concentración (%) porcentual de Cloro Total.....	60
1.3.2.8.2 Recálculo de la concentración porcentual de Cloro.....	60
1.3.2.9 Cálculo de la dosis de Cloro a aplicar en el agua	61
1.3.2.9.1 Método por Balances de Masas.....	61
1.3.2.9.2. Determinación de la cantidad necesaria de Hipoclorito de Calcio en estado sólido con la dosificación necesaria para una desinfección óptima	62
1.3.2.10 Estimación de los costos para el proceso de cloración	62

<u>CAPÍTULO III</u>	63
ANÁLISIS DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN	63
1. DESCRIPCIÓN DEL ACTUAL SISTEMA DE CLORACIÓN	63
2. MEDICIÓN DEL PUNTO MÁS CERCANO Y LOS DOS PUNTOS MÁS ALEJADOS DEL SISTEMA DE CLORACIÓN	64
3. RESULTADOS DEL CÁLCULO DE LOS CAUDALES DEL SISTEMA DE FILTRACIÓN HASTA EL TANQUE CLORADOR	66
3.1 Resultado del cálculo de los caudales medidos en el sistema de filtración	66
3.1.1 Cálculo del caudal del Canal	66
3.1.2 Cálculo del caudal de la tubería del sistema de filtración	69
3.1.3 Cálculo del caudal de la tubería que sale como exceso o pérdida de la Planta de Filtración	70
3.1.4 Cálculo del caudal total del sistema de filtración	71
3.1.5 Cálculo del caudal que ingresa al Tanque Clorador de la comunidad Las Lomas	72
3.1.6 Diferencia del caudal del agua derivada que se dirige a otros barrios	74
4. RESULTADOS OBTENIDOS DE LOS ANÁLISIS Y COMPARACIÓN CON LA NORMATIVA.	74
4.1 Resultados de las muestras realizado por el laboratorio CEANID y por el método D.P.D con los reactivos en polvo Hanna Instruments	75
4.1.1 Resultados del parámetro conductividad eléctrica	75
4.1.2 Resultados del parámetro pH	76
4.1.3 Resultados del parámetro Turbiedad	77
4.1.4 Resultados del parámetro Coliformes Termoresistentes	78

4.1.5 Resultados del parámetro Cloro total	80
4.1.6 Resultados del parámetro Cloro Residual	81
4.2 Determinación de la calidad de la agua potable antes y después de la Cloración	82
4.2.1 Medida del ICA en el punto de muestreo P1: Tanque Clorador, antes del proceso de Cloración.....	84
4.2.2 Medida del ICA en el P2: Garaje de la Alcaldía (Casa más próxima al sistema de Cloración)	86
5. CÁLCULO DEL CAUDAL DE SOLUCIÓN CLORADA A APLICAR (Qsc)	87
5.1. Relación de caudales	87
5.2. Caudal dosificación Tarija	88
5.3. Caudal de solución clorada para Entre Ríos (Qsc)	89
5.4 Cálculo del tiempo de dosificación de volumen de (Qsc).....	89
6. EVALUACIÓN DE LA DOSIS ADECUADA DE HIPOCLORITO DE CALCIO	90
6.1 Cálculo de la concentración (%) porcentual) de Cloro Total.	90
6.1.1 Recalculo de la concentración porcentual de Cloro total	92
6.2 Cálculo Teórico de la dosis de Cloro a aplicar al agua	94
6.2.1 Método por Balance de Masas	94
6.2.2 Método del DPD o de Palin	96
6.3 Cálculo Práctico de la dosis de Cloro a aplicar al agua.....	105

6.3.1 Método por Balance de Masas	105
7. ESTIMACIÓN DE LOS COSTOS PARA EL PROCESO DE CLORACIÓN	106
7.1 Costos de la cloración en Tarija.....	106
7.1.1 Costos de insumos	107
7.1.2 Costos de personal.....	108
7.1.3 Costos de Energía.....	108
7.1.4 Costos de Mantenimiento	109
7.2 Costos de la Cloración en la ciudad de Entre Ríos	109
7.2.1 Costos de Insumos	109
7.2.2 Costos de Personal.....	111
7.2.3 Costos de Energía.....	111
7.2.4 Costo de Mantenimiento.....	111
7.3 Comparación de costos	112
<u>CAPÍTULO IV</u>	114
1. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	114
1.1 CONCLUSIONES.....	114
1.2 RECOMENDACIONES.....	116
BIBLIOGRAFÍA.....	118
ANEXOS	121

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA N°1 AGENTES PATÓGENOS TRANSMITIDOS POR EL AGUA Y SU IMPORTANCIA EN LOS SISTEMAS DE ABASTECIMIENTO DE AGUA ..	10
TABLA N° 2 COMPUESTOS DESINFECTANTES UTILIZADOS PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS.....	15
TABLA N° 3 VALORES DE REFERENCIA DE LOS PRODUCTOS DE LOS THMs	17
TABLA N°4 COORDENADAS DEL ÁREA DE ESTUDIO	35
TABLA N°5 PARAMETROS Y MÉTODOS PARA EL ANÁLISIS DE LOS PARAMETROS DE CONTROL MÍNIMO EN EL LABORATORIO DE “CEANID”	51
TABLA N° 6 PARÁMETROS Y MÉTODOS PARA EL ANÁLISIS DEL CLORO RESIDUAL	53
TABLA N°7 PARAMETROS Y METODOS PARA EL ANÁLISIS DE CLORO RESIDUAL Y CLORO ACTIVO EN EL LABORATORIO DE “CEANID”	55
TABLA N° 8 DISTANCIAS AL TANQUE CLORADOR Y COORDENADAS DE LOS PUNTOS DE MUESTREO DENTRO DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN	66
TABLA N° 9 CÁLCULO DEL TIEMPO PROMEDIO QUE EL FLOTADOR RECORRE UNA DISTANCIA DE 3 METROS	68
TABLA N°10 CÁLCULO DEL TIEMPO PROMEDIO QUE TARDA EN LLENARSE EL BALDE DE UN VOLUMEN DE 30 L.....	69
TABLA N° 11 CÁLCULO DEL TIEMPO PROMEDIO QUE TARDA EN LLENARSE EL BALDE	71

TABLA N°12 CÁLCULO DEL TIEMPO PROMEDIO QUE TARDA EN LLENARSE EL BALDE	73
TABLA N° 13 RESULTADOS DEL PARÁMETRO CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA	75
TABLA N°14 RESULTADOS DEL PARÁMETRO pH.....	76
TABLA N°15 RESULTADOS DEL PARÁMETRO TURBIEDAD	77
TABLA N°16 RESULTADOS DEL PARÁMETRO COLIFORMES TERMORESISTENTES	78
TABLA N° 17 RESULTADOS DEL PARÁMETRO CLORO TOTAL	80
TABLA N°18 RESULTADOS DEL PARÁMETRO CLORO RESIDUAL.....	81
TABLA N°19 CLASIFICACIÓN DE LOS ICA	84
TABLA N°20 COMPARACION ENTRE LA RELACIÓN DEL CAUDAL EMPLEADO Y SU VALORACIÓN CON EL MÉTODO D.P.D HANNA	100
TABLA N°21 RELACIÓN DE LA DOSIFICACIÓN CON EL CAUDAL EMPLEADO MUESTREADO EN LA PRIMERA CASA DEL SISTEMA DE AGUA POTABLE DE LA CIUDAD DE ENTRE RÍOS.....	102
TABLA N°22 VALORACION A CADA RANGO DE LA TABLA.....	104
TABLA N° 23 COSTOS INSUMOS.....	107
TABLA N°24 COSTOS DE PERSONAL.....	108
TABLA N°25 COSTO DE ENERGÍA	108
TABLA N°26 COSTOS DE MANTENIMIENTO.....	109
TABLA N°27 DOSIFICACIONES MENSUALES Y ANUALES EMPLEANDO EL CAUDAL DE 0,009 l/s.....	109

TABLA N°28 COSTOS EMPLEADOS PARA LA DOSIFICACIÓN, MENSUAL Y ANUAL DE LA CIUDAD DE ENTRE RÍOS	110
TABLA N°29 COSTOS DE PERSONAL.....	111
TABLA N°30 COMPARACIÓN DE LOS COSTOS MENSUALES DEL PROCESO DE CLORACIÓN DE LAS CIUDADES DE TARIJA Y ENTRE RÍOS	112

ÍNDICE DE GRÁFICOS.

GRÁFICO N °1 CANTIDAD NECESARIA DE CLORO AGREGADO, PARA TENER CLORO RESIDUAL.....	21
GRÁFICO N°2 CAUDALES DEL SISTEMA DE FILTRACIÓN.....	45
GRÁFICO N°3 CAUDALES QUE SE DERIVAN A LOS BARRIOS DE LA CIUDAD DE ENTRE RÍOS PARA SU CLORACIÓN.....	47
GRÁFICO N°4 DIAGRAMA DE LA PLANTA DE CLORACIÓN DE TARIJA	58
GRÁFICO N°5 RANGO DE CLASIFICACIÓN DE LOS ICA	83

ÍNDICE DE IMÁGENES

IMAGEN N°1 MAPA DE UBICACIÓN DE BOLIVIA Y TARIJA	33
IMAGEN N°2 MAPA DE UBICACIÓN DE LA PROVINCIA O'CONNOR	34
IMAGEN N°3 VISTA SATELITAL DE LA UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO	36
IMAGEN N°4 MAPA DE LA MANCHA URBANA DE LA CIUDAD DE ENTRE RÍOS	64
IMAGEN N°5 DISTANCIAS DE LOS PUNTOS DE MUESTREO CON RELACIÓN AL TANQUE CLORADOR	65
IMAGEN N°6 TONALIDADES DE ROSA DE LA TABLA DE VALORES DE CLORO RESIDUAL CON SOLUCIÓN DE DPD	104
IMAGEN N°7 PUNTOS PARA LA TOMA DE MUESTRAS	121
IMAGEN N° 8 AFORO DEL CAUDAL Q1: Canal.....	122
IMAGEN N° 9 AFORO DEL CAUDAL Q2: Tubería	122
IMAGEN N° 10 AFORO DEL CAUDAL Q3: Caudal de exceso o perdido	123
IMAGEN N° 11 AFORO DEL CAUDALQ4: Caudal del tubo que llega al tanque Clorador	123
IMAGEN N° 12 DOSIFICADOR A GOTEIO	124
IMAGEN N° 13 CAUDAL DE GOTEIO EMPLEADO EN LA DOSIFICACIÓN.....	124
IMAGEN N° 14 MEDICIÓN DEL VOLUMEN DE DOSIFICACIÓN	125
IMAGEN N° 15 REGULACIÓN DE LA VÁLVULA PARA LA DOSIFICACIÓN.....	125
IMAGEN N° 16 MUESTREADOR.....	126

IMAGEN N° 17 REACTIVO DPD HANNA	126
IMAGEN N° 18 MATERIALES EMPLEADOS PARA LA DESINFECCIÓN DE LOS GRIFOS	127
IMAGEN N° 19 MATERIALES EMPLEADOS PARA LA RECOLECCION Y TRANSPORTE DE LAS MUESTRAS.....	127
IMAGEN N° 20 PROCEDIMIENTO PARA LA TOMA DE MUESTRAS EN EL P1 TANQUE CLORADOR.....	128
IMAGEN N° 21 MUESTRA PARA EL ANÁLISIS DE CONTROL MÍNIMO	128
IMAGEN N° 22 PROCEDIMIENTO PARA LA TOMA DE MUESTRAS EN EL P2 GARAJE DE LA ALCALDIA	129
IMAGEN N° 23 MUESTRAS PARA EL ANÁLISIS DE CONTROL MÍNIMO Y CLORO ACTIVO	129
IMAGEN N° 24 PROCEDIMIENTO PARA LA TOMA DE MUESTRAS EN LAS DOS CASAS MÁS ALEJADAS DEL SISTEMA DE CLORACIÓN.....	130
IMAGEN N° 25 MUESTRAS PARA EL ANÁLISIS DE CLORO RESIDUAL Y CLORO ACTIVO	130
IMAGEN N° 26 LIMPIEZA DEL GRIFO.....	131
IMAGEN N° 27 ESTERILIZACIÓN DEL GRIFO	131
IMAGEN N° 28 PURGA DE AGUA DEL GRIFO	131
IMAGEN N° 29 TOMA DE MUESTRA	132
IMAGEN N° 30 AGREGADO DEL REACTIVO EN POLVO	132
IMAGEN N° 31 MEZCLA DE LA MUESTRA CON EL REACTIVO	133

IMAGEN N° 32 VERIFICACIÓN DE LA MUESTRA CON LA TABLA DE VALORES	133
IMAGEN N° 33 TONALIDAD A, RANGO EN LA TABLA DE VALORES 0,05	134
IMAGEN N° 34 TONALIDAD B, RANGO EN LA TABLA DE VALORES 0,1	134
IMAGEN N° 35 TONALIDAD C, RANGO EN LA TABLA DE VALORES 0,2	135
IMAGEN N° 36 TONALIDAD D, RANGO EN LA TABLA DE VALORES 0,3	135
IMAGEN N° 37 TONALIDAD E , RANGO EN LA TABLA DE VALORES 0,4	136
IMAGEN N° 38 TONALIDAD G, RANGO EN LA TABLA DE VALORES 0,7	136
IMAGEN N° 39 TONALIDAD F, RANGO EN LA TABLA DE VALORES 0,5	137
IMAGEN N° 40 COMPARACIÓN DE LA MUESTRA MÁS PROXIMA AL TANQUE CLORADOR Y LA MUESTRA MAS ALEJADA	137
IMAGEN N° 41 P1: TANQUE CLORADOR	138
IMAGEN N° 42 P2: GARAJE DE LA ALCALDÍA	138
IMAGEN N° 43 P3: CASA ALEJADA DEL SISTEMA DE AGUA POTABLE, COLISEO DE BANDA MEALLA	139
IMAGEN N° 44 P4: CASA ALEJADA DEL SISTEMA DE AGUA POTABLE, BARRIO SAN LORENZO	139