

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

**MONITOREO DE LA CALIDAD DEL AGUA POTABLE Y
MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE DESINFECCIÓN DE LA
RED DE DISTRIBUCIÓN DE LA CIUDAD DE YACUIBA**

Por:

NATALIA ROSA PORTILLO TORREZ

**Modalidad de graduación Proyecto de Grado, presentado a consideración de la
“UNIVERSIDAD AUTÓNOMA JUAN MISAEL SARACHO”, como requisito
para optar el grado académico de Licenciatura en Ingeniería Química.**

Agosto de 2011

TARIJA-BOLIVIA

El Tribunal Calificador del presente Trabajo, no se solidariza con la forma, términos, modos y expresiones vertidas en el mismo, siendo éstas únicamente responsabilidad de la autora.

DEDICATORIAS:

Dedico este proyecto de tesis a Dios y a mis padres. A Dios porque ha estado conmigo a cada paso que doy, cuidándome y dándome fortaleza para continuar, a mis padres, y especialmente a mi madre porque gracias a su esfuerzo logró darme la oportunidad de superarme y ser una mujer de bien y a la memoria de mi padre que ya no se encuentra conmigo y a quienes me han dado la fuerza para lograr terminar con éxito este proyecto.

AGRADECIMIENTOS:

En primer lugar quiero agradecer a Dios por bendecirme para llegar hasta donde he llegado.

A la Universidad “Juan Misael Saracho” por brindarme la oportunidad de realizar mis estudios.

A los Ingenieros: Graciela Ruíz y Jorge Tejerina por el asesoramiento, colaboración desinteresada y valioso aporte para el desarrollo del presente proyecto.

PENSAMIENTO:

Los únicos errores que cometemos en la vida son las cosas que no hacemos.

Emma Thompson

ÍNDICE

Dedicatorias
Agradecimientos
Pensamiento
Resumen Ejecutivo

Pág.

INTRODUCCIÓN

A. Antecedentes	1
B. Objetivos	5
B.1 Objetivo General	5
B.2 Objetivos Específicos.....	5
C. Justificación	6

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

1.1 Marco Teórico.....	8
1.1.1 El Agua	8
1.2. Procesos No Mecanizados De Tratamiento Del Agua.....	9
1.2.1 Proceso De Acondicionamiento Previo	9
1.2.2 Proceso De Clarificación	9
1.2.2.1 Coagulación y Floculación.....	9
1.2.2.2 Sedimentación	10
1.2.2.3 Filtración	10
1.2.3 Proceso de Desinfección.....	11
1.2.3.1 Cloración	11
1.2.3.1.1 Equipos de Cloración o Dosificadores de Cloro.....	12
1.2.3.1.1.1 Cloradores Gaseosos de Funcionamiento al Vacío	13

	Pág.
1.2.3.1.1.2 Cloradores Gaseosos de Funcionamiento a Presión.....	14
1.2.3.1.1.3 Dosificadores de Hipoclorito Bajo Presión Atmosférica	14
1.2.3.1.1.4 Sistema de Tanque con Válvula de Flotador.....	15
1.2.3.1.1.5 Sistema de Tubo con Orificio en Flotador	15
1.2.3.1.1.6 Sistema de Vaso/Botella.....	16
1.2.3.1.1.7 Sistema de Dosificación con Bomba de Diafragma.....	17
1.2.3.1.1.8 Dosificador por Succión (Tipo Venturi)	18
1.2.3.1.1.9 Dosificadores de Hipoclorito de Calcio Sólido.....	19
1.2.3.1.1.10 Dosificador por Erosión de Tabletas y de Píldoras.....	20
1.2.4 Acondicionamiento Químico.....	20
1.2.5 Acondicionamiento Organoléptico.....	20
1.3 Control de Calidad	21
1.3.1 Programas de Monitoreo en la Red de Abastecimiento.....	21
1.3.1.1 Elementos que deben ser contemplados en un Programa de Monitoreo.....	21
1.3.1.2 Utilidad del Programa de Control de Calidad	22
1.3.2 Normas y Parámetros de Calidad del Agua	22
1.3.3 Indicadores de la Calidad del Agua.....	23
1.3.3.1 Indicadores Físicos	24
1.3.3.1.1 Densidad	24
1.3.3.1.2 Color	24
1.3.3.1.3 Turbidez	24
1.3.3.1.4 Olor	25
1.3.3.1.5 Sabor	25
1.3.3.1.6 Sólidos.....	25
1.3.3.1.7 Conductividad.....	26
1.3.3.1.8 Salinidad	26
1.3.3.2 Indicadores Químicos	26
1.3.3.3.1 pH	26
1.3.3.3.2 Cloro Residual Libre	27

	Pág.
1.3.3.3.3 Alcalinidad	27
1.3.3.3.4 Acidez Total	28
1.3.3.3.5 Dureza.....	28
1.3.3.3.6 Cloruros	29
1.3.3.3.7 Sulfatos	29
1.3.3.3.8 Calcio.....	29
1.3.3.3.9 Magnesio	30
1.3.3.3.10 Hierro.....	30
1.3.3.3.11 Manganeseo.....	31
1.3.3.3 Indicadores Orgánicos.....	31
1.3.3.3.1 Demanda Bioquímica de Oxígeno	31
1.3.3.3.2 Demanda Química de Oxígeno	31
1.3.3.4 Indicadores Microbiológicos.....	32
1.3.3.4.1 Bacterias Coliformes.....	32
1.3.3.4.2 Escherichia Coli	32
1.4 Descripción del sistema de tratamiento y control de calidad en Emapyc	32
1.4.1 Fuentes de Abastecimiento de Agua.....	32
1.4.2 Sistemas de Tratamientos	36
1.4.2.1 Tratamiento de Aguas Superficiales.....	36
1.4.2.2 Tratamiento de Aguas Subterráneas.....	40
1.4.3 Control de Calidad.....	41
1.4.3.1 Análisis de Laboratorio	41

CAPÍTULO II

CONCEPCIÓN Y DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

2.1 Identificación del Problema	42
2.2 Metodología de Trabajo.....	42
2.2.1 Planificación del Trabajo.....	42

	Pág.
2.2.2 Identificación de los Sistemas de Abastecimiento	44
2.2.3 Características de los Sistemas de Abastecimientos.....	45
2.2.4 Selección de Puntos Estratégicos de Muestreo en los Sistemas de Abastecimiento de Agua Potable	47
2.2.5 Frecuencia de Muestreo	48
2.2.6 Cantidad de Muestras en la Red	49
2.2.7 Puntos de Muestreos Identificados en la Red de Distribución	50
2.2.8 Método de Muestreo	53
2.2.8.1 Muestreo	53
2.2.8.2 Actividades Previas al Muestreo	54
2.2.8.3 Procedimiento de Muestreo.....	55
2.2.9 Análisis de Campo (In Situ)	57
2.2.10 Métodos empleados para los diferentes Ensayos	57
2.3 Trabajo Experimental.....	58
2.3.1 Análisis de los Parámetros Prefijados.....	58
2.3.2 Capacitación Técnica.....	59
2.3.3 Trabajo Experimental en Campo (In Situ).....	59
2.3.4 Trabajo Experimental en Laboratorio.....	60
2.3.5 Análisis Organolépticos.....	60
2.3.6 Análisis Fisicoquímico	61
2.3.7 Análisis Bacteriológico.....	65

CAPÍTULO III

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

3.1 Resultados	69
3.1.1 Discusión de Resultados	74
3.1.1.1 Discusión del Análisis Organoléptico	74
3.1.1.2 Discusión del Análisis Microbiológico	74

	Pág.
3.1.1.3 Discusión del Análisis Físicoquímico	74
• pH	78
• Conductividad	81
• Turbiedad.....	84
• Cloro Residual	86
• Color	90
• Sólidos Totales Disueltos	91
• Alcalinidad Total.....	93
• Calcio y Magnesio.....	95
• Dureza Total	100
• Cloruros	102
• Hierro Total	105
• Manganeso.....	107
• Sulfatos	109
• Sodio.....	111
• Fluoruro	111
• Cobre	114
• Nitritos y Nitratos.....	116

CAPÍTULO IV

SELECCIÓN, ESPECIFICACIÓN Y DISEÑO DEL EQUIPO

4.1 Descripción de las características de Dosificadores.....	121
4.2 Balance de Materia y Energía.....	125
4.3 Selección del Dosificador más apropiado	127
4.4 Estimación de la Dosis de Cloro.....	131
4.5 Especificación de los Dosificadores Seleccionados.....	133
4.5.1 Bomba Dosificadora a Diafragma	133

	Pág.
4.5.2 Bomba Dosificadora Modelo F-MA.....	133

CAPÍTULO V
ANÁLISIS ECONÓMICO

5.1 Inversión	135
5.2 Capital Fijo (I_F)	135
5.3 Capital De Trabajo (I_w)	135

CAPÍTULO VI
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones.....	137
6.2 Recomendaciones	139
Bibliografía	141

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura A-1. Ubicación geográfica.....	2
Figura I-1. Tanque con válvula de flotador.....	15
Figura I-2. Tanque con tubo en orificio, en flotador.....	16
Figura I-3. Dispositivo dosificador de vaso/botella	16
Figura I-4. Equipo dosificador con bomba de diafragma en tubería bajo presión positiva	17
Figura I-5. Equipo dosificador con bomba de diafragma en tubería bajo presión negativa (tubería de aducción).....	18
Figura I-6. Dosificador en tubería de aducción.....	19
Figura I-7. Quebrada Internacional	33
Figura I-8. Quebrada Agua Blanca	34
Figura I-9. Floculador hidráulico	37
Figura I-10. Sedimentadores	38
Figura I-11. Filtro lento.....	39
Figura I-12. Dosificación por gravedad	40
Figura II-1. Diagrama de flujo para el control de calidad del agua potable.....	44
Figura II- 2. Espectrofotómetro HACH	62
Figura II-3. Titulador digital HACH.....	64
Figura II-4. Tubos de caldo etiquetados.....	66
Figura II-5. Adición de la muestra en el tubo de caldo	66
Figura II-6. Incubador portátil.....	67
Figura II-7. Resultados de las pruebas	67
Figura III-1. Representación gráfica de pH “Planta de Tratamiento”	79
Figura III-2. Representación gráfica de pH “Tanque 1500 m ³ ”	79
Figura III-3. Representación gráfica de pH “Tanque 200 m ³ ”	80
Figura III-4. Representación gráfica de pH “Pozo N° 2, 4,6”	81
Figura III-5. Representación gráfica de conductividad “Planta de Tratamiento” ...	82
Figura III-6. Representación gráfica de la conductividad “Tanque 1500 m ³ ”	82

	Pág.
Figura III-7. Representación gráfica de la conductividad “Tanque 200 m ³ ”	83
Figura III-8. Representación gráfica de la conductividad “Pozo N° 2, 4, 6”	83
Figura III-9. Representación gráfica de la turbiedad “Planta de Tratamiento”	84
Figura III-10. Representación gráfica de la turbiedad “Tanque 1500 m ³ ”	85
Figura III-11. Representación gráfica de la turbiedad “Tanque 200 m ³ ”	85
Figura III-12. Representación gráfica de la turbiedad “Pozo N° 2, 4, 6”	86
Figura III-13. Representación gráfica del cloro residual “Red Planta de Tratamiento”	87
Figura III-14. Representación gráfica del cloro residual “Tanque 1500 m ³ ”	88
Figura III-15. Representación gráfica del cloro residual “Tanque 200 m ³ ”	89
Figura III-16. Representación gráfica del cloro residual “Pozo N° 2, 4, 6”	89
Figura III-17. Representación gráfica de color de los Sistemas de Abastecimiento	90
Figura III-18. Representación gráfica de Sólidos Totales Disueltos “Planta de Tratamiento”	91
Figura III-19. Representación gráfica de Sólidos Totales Disueltos “Tanque 1500m ³ ”	91
Figura III-20 Representación gráfica Sólidos Totales Disueltos “Tanque 200 m ³ ”	92
Figura III-21. Representación gráfica Sólidos Totales Disueltos “Pozo N° 2, 4, 6”	92
Figura III-22. Representación gráfica de la alcalinidad total “Planta de Tratamiento”	93
Figura III-23. Representación gráfica de la alcalinidad total “Tanque 1500 m ³ ” ...	94
Figura III-24. Representación gráfica de la alcalinidad total “Tanque 200 m ³ ”	94
Figura III-25. Representación gráfica de la alcalinidad total “Pozo N° 2, 4, 6”	95
Figura III-26. Representación gráfica del calcio “Planta de Tratamiento”	96
Figura III-27. Representación gráfica del calcio “Tanque 1500 m ³ ”	96
Figura III-28. Representación gráfica del calcio “Tanque 200 m ³ ”	97
Figura III-29. Representación gráfica del calcio “Pozo N° 2, 4, 6”	97

	Pág.
Figura III-30. Representación gráfica del magnesio “Planta de Tratamiento”	98
Figura III-31. Representación gráfica del magnesio “Tanque 1500 m ³ ”	98
Figura III-32. Representación gráfica del magnesio “Tanque 200 m ³ ”	99
Figura III-33. Representación gráfica del magnesio “Pozo N° 2, 4, 6”	99
Figura III-34. Representación gráfica de la dureza total “Planta de Tratamiento” .	100
Figura III-35. Representación gráfica de la dureza total “Tanque 1500 m ³ ”	101
Figura III-36. Representación gráfica de la dureza total “Tanque 200 m ³ ”	101
Figura III-37. Representación gráfica de la dureza total “Pozo N° 2, 4, 6”	102
Figura III-38. Representación gráfica de cloruros “Planta de Tratamiento”	103
Figura III-39. Representación gráfica de cloruros “Tanque 1500 m ³ ”	103
Figura III-40. Representación gráfica de cloruros “Tanque 200 m ³ ”	104
Figura III-41. Representación gráfica de cloruros “Pozo N°2, 4, 6”	104
Figura III-42. Representación gráfica del hierro total “Planta de Tratamiento”	105
Figura III-43. Representación gráfica del hierro total “Tanque 1500 m ³ ”	105
Figura III-44. Representación gráfica del hierro total “Tanque 200 m ³ ”	106
Figura III-45. Representación gráfica del hierro total “Pozo N° 2, 4, 6”	106
Figura III-46. Representación gráfica del manganeso “Planta de Tratamiento”	107
Figura III-47. Representación gráfica del manganeso “Tanque 1500 m ³ ”	107
Figura III-48. Representación gráfica del manganeso “Tanque 200 m ³ ”	108
Figura III-49. Representación gráfica del manganeso “Pozo N° 2, 4, 6”	108
Figura III-50. Representación gráfica de sulfatos “Planta de Tratamiento”	109
Figura III-51. Representación gráfica de sulfatos “Tanque 1500 m ³ ”	109
Figura III-52. Representación gráfica de sulfatos “Tanque 200 m ³ ”	110
Figura III-53. Representación gráfica de sulfatos “Pozo N° 2, 4, 6”	110
Figura III-54. Representación gráfica de sodio de los Sistemas de Abastecimiento	111
Figura III-55. Representación gráfica del fluoruro “Planta de Tratamiento”	112
Figura III-56. Representación gráfica del fluoruro “Tanque 1500 m ³ ”	112
Figura III-57. Representación gráfica del fluoruro “Tanque 200 m ³ ”	113

	Pág.
Figura III-58. Representación gráfica del fluoruro “Pozo N° 2, 4, 6”	113
Figura III-59. Representación gráfica del cobre “Planta de Tratamiento”	114
Figura III-60. Representación gráfica del cobre “Tanque 1500 m ³ ”	114
Figura III-61. Representación gráfica del cobre “Tanque 200 m ³ ”	115
Figura III-62. Representación gráfica del cobre “Pozo N° 2, 4, 6”	115
Figura III-63. Representación gráfica de nitritos “Planta de Tratamiento”	116
Figura III-64. Representación gráfica de nitritos “Tanque 1500 m ³ ”	116
Figura III-65. Representación gráfica de nitritos “Tanque 200 m ³ ”	117
Figura III-66. Representación gráfica de nitritos “Pozo N° 2, 4, 6”	117
Figura III-67. Representación gráfica de nitratos “Planta de Tratamiento”	118
Figura III-68. Representación gráfica de nitratos “Tanque 1500 m ³ ”	118
Figura III-69. Representación gráfica de nitratos “Tanque 200 m ³ ”	119
Figura III-70. Representación gráfica de nitratos “Pozo N° 2, 4, 6”	119
Figura IV-1. Diagrama en Planta de Tratamiento	125
Figura IV-2. Diagrama en Tanque 1500	126
Figura IV-3. Diagrama en Tanque 200	127
Figura IV-4. Bomba dosificadora modelo F-MA	134

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla A-1. Proceso de tratamiento de aguas superficiales.....	5
Tabla B-1. Parámetros de control mínimo	6
Tabla B-2. Parámetros de control básico	6
Tabla I-1. Desinfectantes de agua potable	11
Tabla I-2. Tipos de dosificadores.....	13
Tabla I-3. Normas para el Agua Potable.....	23
Tabla I-4. Características de los pozos subterráneos en funcionamiento.....	36
Tabla II-1 Características de los sistemas de abastecimiento 1	46
Tabla II-2 Características de los sistemas de abastecimiento 2	47
Tabla II-3. Determinación de la población servida por sistema de abastecimiento	48
Tabla II-4. Cantidad mínima de muestras de los Parámetros de Control Mínimo (Red de Distribución).....	49
Tabla II-5. Frecuencia mínima de muestreo y parámetros de control en los dos meses de Monitoreo.....	50
Tabla II-6. Puntos de muestreos identificados en el sistema “Planta de Tratamiento”.....	51
Tabla II-7. Puntos de muestreos identificados en el sistema “Tanque 1500 m ³ ” ...	51
Tabla II-8. Puntos de muestreos identificados en el sistema “Tanque 200 m ³ ”	52
Tabla II-9. Puntos de muestreos identificados en el sistema “Pozo N°2”	52
Tabla II-10. Puntos de muestreos identificados en el sistema “Pozo N°4”	52
Tabla II-11. Puntos de muestreos identificados en el sistema “Pozo N°6”	53
Tabla II-11. Características de los recipientes para recolección de muestras	54
Tabla II-12. Métodos y parámetros para análisis organolépticos, microbiológicos y fisicoquímicos	58
Tabla II-13. Descripción de los procedimientos para los análisis en campo	60
Tabla II-14. Descripción de procedimientos realizados para Análisis Organolépticos	61

	Pág.
Tabla II-15. Procedimientos para la determinación de algunos parámetros en el Espectrofotómetro DR 2400	62
Tabla II-16. Procedimientos para la determinación de algunos parámetros con el Titulador Digital	64
Tabla II-17. Resultados del método de NMP.....	68
Tabla III-1. Resultados del sistema Planta de Tratamiento.....	70
Tabla III-2. Resultados del sistema Tanque 1500.....	71
Tabla III-3. Resultados del sistema Tanque 200.....	72
Tabla III-4. Resultados de los Pozos N° 2, 4, 6.....	73
Tabla III-5. Puntos de muestreos identificados en el sistema “Planta de Tratamiento”.....	75
Tabla III-6. Puntos de muestreos identificados en el sistema “Tanque 1500 m ³ ” ..	76
Tabla III-7. Puntos de muestreos identificados en el sistema “Tanque 200 m ³ ”	77
Tabla III-8. Puntos de muestreos identificados en el sistema “Pozo N°2”	77
Tabla III-9. Puntos de muestreos identificados en el sistema “Pozo N°4”	78
Tabla III-10. Puntos de muestreos identificados en el sistema “Pozo N°6”	78
Tabla IV-1. Características de los dosificadores para hipoclorito de sodio.....	122
Tabla IV-2. Resultados del balance de materia en Planta de Tratamiento.....	125
Tabla IV-3. Resultados del balance de materia en Tanque 1500.....	126
Tabla IV-4. Resultados del balance de materia en Tanque 200.....	127
Tabla IV-5. Criterios de selección	129
Tabla IV-6. Descripción de los dosificadores seleccionado	130
Tabla IV-7. Cálculo de t.....	132
Tabla IV-7. Caudal de cloro.....	132
Tabla V-1. Inversión	136

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo A-1	Norma Boliviana NB 512
Anexo A-II	Norma Boliviana NB 496
Anexo B-I	Plano General de la ciudad de Yacuiba
Anexo B-II	Planos de los Sistemas de Abastecimiento
Anexo C-I	Resultados de las muestras en la Red de Distribución
Anexo C-II	Resultados de las muestras en la salida de Sistemas de abastecimiento
Anexo D	Resultados de los análisis realizados por YACULAB
Anexo E	Valores de concentración-tiempo
Anexo F	Ficha Técnica del hipoclorito
Anexo G	Procedimiento para Coliformes Totales y Fecales