



**UNIVERSIDAD
DEL AZUAY**

UNIVERSIDAD DEL AZUAY

DEPARTAMENTO DE POSGRADOS

TRABAJO DE GRADO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE

MAGISTER EN HIDROSANITARIA

TEMA DE INVESTIGACIÓN:

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE DESINFECCIÓN PARA PLANTAS DE TRATAMIENTO DE
AGUA RURALES CON CAUDALES DE HASTA 2 L/S Y QUE NO CUENTEN CON
ENERGÍA ELÉCTRICA**

AUTOR:

Andres Steven Sarmiento Campoverde

TUTOR:

PhD. Josué Larriva

Cuenca, Marzo, 2026

Ecuador

Dedicatoria

Dedico este trabajo a mis principales mentores, mis padres Ángel y Doris. A mi querida esposa Mercy y a mi hermana Mayra. Sin su apoyo y la bendición de Dios no hubiera podido continuar en todas las etapas de este camino llamado maestría. Son, fueron y serán los pilares fundamentales en mi vida personal, espiritual y profesional. Salud mi familia, con este trabajo cierro un capítulo de mi vida muy enriquecedor a nivel profesional y personal por todas las amistades que conocí en él.

Agradecimiento

Agradezco la guía de todos los profesionales que dieron cátedra de hidrosanitaria en el desarrollo de cada módulo de esta maestría. Además, agradezco a la directiva del sistema comunitario de agua “Agua Santa” de la comunidad Sigcho, sin su apertura al trabajo de campo realizado no se hubiera podido concretar el trabajo que se presenta a continuación.

ÍNDICE GENERAL

Dedicatoria.....	2
Agradecimiento.....	3
ÍNDICE GENERAL	4
RESUMEN	11
ABSTRACT.....	12
INTRODUCCIÓN	13
CAPITULO I	15
EL PROBLEMA.....	15
1.1. Planteamiento del problema	15
1.2. Delimitación del problema	18
1.3. Formulación del problema	18
1.4. Preguntas de investigación y/o Hipótesis.....	19
1.5. Objetivos	19
1.5.1. Objetivo general.....	19
1.5.2. Objetivos específicos	19
1.6. Justificación.....	20
CAPITULO II	23
MARCO TEÓRICO.....	23
2.1. Abastecimiento de agua potable en zonas rurales	23
2.1.1. Situación global y regional del agua potable rural	23
2.1.2. Brechas de acceso y calidad en sistemas rurales	24
2.1.3. Sistemas de pequeña escala (≤ 2 L/s): características técnicas	25
2.2. Abastecimiento de agua potable en zonas rurales	25
2.2.1. Concepto de potabilidad y enfoque de riesgo sanitario	25
2.2.2. Parámetros físicos y organolépticos	26

2.2.3. Parámetros químicos relevantes	27
2.2.4. Parámetros microbiológicos y su implicación sanitaria	28
2.2.5. Cloro residual libre y su importancia en la red de distribución.....	28
2.3. Procesos de desinfección en plantas de tratamiento de agua	29
2.3.1. Fundamentos de la desinfección química.....	29
2.3.2. Cloración convencional (hipoclorito de calcio y sodio).....	30
2.3.3. Limitaciones operativas en sistemas rurales.....	31
2.3.4. Comparación con otras tecnologías (UV, ozono, SODIS)	32
2.4. Electrocloración y generación in situ de hipoclorito.....	33
2.4.1. Principios electroquímicos de la electrólisis salina	33
2.4.2. Producción de hipoclorito de sodio (1–1.5 %)	34
2.4.3. Ventajas y limitaciones en sistemas descentralizados	34
2.4.4. Experiencias recientes en contextos rurales	35
2.5. Energía solar fotovoltaica aplicada al tratamiento de agua.....	36
2.5.1. Fundamentos de sistemas fotovoltaicos	36
2.5.2. Dimensionamiento básico para cargas de baja potencia	37
2.5.3. Integración de sistemas PV con procesos de tratamiento.....	38
2.5.4. Sostenibilidad energética y resiliencia en zonas rurales.....	39
2.6. Diseño de sistemas de desinfección para caudales ≤ 2 L/s	39
2.6.1. Criterios hidráulicos de diseño	40
2.6.2. Tiempo de contacto y concentración (CT)	43
2.6.3. Diseño de cámaras de contacto y dosificación	45
2.6.4. Control operativo y monitoreo	47
2.7. Marco normativo aplicable.....	51
2.7.1. Normativa ecuatoriana (INEN 1108 y regulación sanitaria vigente)	51
2.7.2. Directrices de la OMS sobre calidad del agua potable	52
2.7.3. Código Ecuatoriano de la Construcción – Obras Sanitarias Rurales.....	53

2.7.4. Estándares internacionales para electrocloración	54
2.8. Evaluación técnica y económica de sistemas rurales	55
2.8.1. Análisis de factibilidad técnica	56
2.8.2. Costos de inversión, operación y mantenimiento	59
2.8.3. Sostenibilidad financiera en juntas rurales de agua	61
2.8.4. Criterios de selección tecnológica	62
2.9 Bases conceptuales	64
2.9.1. Sistema de tratamiento de agua potable	64
2.9.2 Sistema descentralizado	66
3.3. Autonomía energética	67
3.4. Sostenibilidad operativa	68
3.5. Gestión comunitaria del agua	69
CAPÍTULO III.....	71
METODOLOGÍA	71
3.1 Enfoque de la investigación	71
3.2 Tipo de investigación	71
3.3 Diseño de investigación	72
3.4 Área de estudio.....	72
3.5 Procedimiento metodológico.....	72
Fase I. Recopilación de información	72
Fase II. Diagnóstico del sistema existente.....	73
Fase III. Determinación de parámetros de diseño	73
Fase IV. Diseño del sistema de tratamiento	74
Fase V. Evaluación económica.....	75
3.6 Variables de investigación	75
Variable independiente	75
Variable dependiente	75

3.7 Técnicas e instrumentos de recolección de información.....	75
3.8 Consideraciones normativas.....	76
CAPÍTULO IV.....	77
DIAGNÓSTICO DEL SISTEMA DE AGUA POTABLE DE LA COMUNIDAD SIGCHO	77
4.1 Introducción	77
4.2 Ubicación geográfica del área de estudio.....	77
4.3 Caracterización socioeconómica de la comunidad.....	78
4.4 Situación administrativa del sistema	79
4.5 Caracterización técnica del sistema existente	79
4.5.1 Población de diseño	79
4.5.2 Caudales de diseño	80
4.6 Infraestructura existente y propuesta de tratamiento.....	81
4.6.1 Cajón de entrada	81
4.6.2 Filtros lentos de arena.....	81
4.6.3 Bandeja de lavado de arena	82
4.6.4 Caseta de cloración.....	82
4.6.5 Red de distribución.....	82
4.7 Problemática de desinfección.....	82
4.8 Justificación técnica de la propuesta	83
4.9 Síntesis del diagnóstico	83
CAPÍTULO V	85
DISEÑO DEL SISTEMA DE DESINFECCIÓN MEDIANTE GENERACIÓN DE HIPOCLORITO PARA LA COMUNIDAD SIGCHO	85
5.1 Introducción	85
5.2 Parámetros básicos de diseño.....	85
Tabla 5.1 Parámetros generales de diseño.....	86

5.3 Diseño del sistema de filtración lenta de arena.....	87
5.3.1 Selección de la tecnología	87
5.3.2 Determinación del área de filtración	87
5.3.3 Dimensiones de los filtros	88
Tabla 5.2 Dimensiones de los filtros	88
5.3.4 Sistema de drenaje.....	88
5.4 Diseño del sistema de desinfección	89
5.4.1 Criterios de diseño.....	89
5.4.2 Requerimiento diario de cloro.....	90
5.4.3 Requerimiento de hipoclorito.....	90
5.4.4 Solución madre.....	91
5.4.5 Sistema de dosificación.....	91
5.5 Diseño conceptual del sistema de generación de hipoclorito mediante electrólisis	92
5.5.1 Principio de funcionamiento	92
5.5.2 Ventajas de la electrólisis	92
5.6 Dimensionamiento preliminar del sistema fotovoltaico	93
5.6.1 Justificación.....	93
5.6.2 Componentes principales	93
5.7 Integración del sistema a la PTAP	94
5.8 Síntesis del diseño.....	94
CAPÍTULO VI.....	95
EVALUACIÓN ECONÓMICA DEL SISTEMA PROPUESTO	95
6.1 Introducción	95
6.2 Inversión inicial del proyecto.....	95
Inversión total.....	95
6.3 Presupuesto de construcción	96
Tabla 6.1 Presupuesto general de la PTAP.....	96

6.4 Participación porcentual de los componentes	96
Tabla 6.2 Participación de costos	96
6.5 Costos de operación y mantenimiento	97
6.5.1 Costos de operación	97
6.5.2 Costos de mantenimiento	98
Filtros lentos	98
Sistema de cloración	98
Sistema fotovoltaico	98
6.6 Comparación con sistemas convencionales de cloración	99
Tabla 6.3 Comparación de alternativas	99
6.7 Análisis de sostenibilidad económica	99
6.8 Evaluación financiera preliminar	100
Beneficios esperados	100
Costos evitados	100
6.9 Costo por habitante beneficiado.....	101
6.10 Síntesis de la evaluación económica.....	101
CAPÍTULO VII	103
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	103
7.1 Introducción	103
7.2 Cumplimiento del Objetivo Específico 1	103
Resultado obtenido	103
Discusión	104
7.3 Cumplimiento del Objetivo Específico 2.....	104
Resultado obtenido	105
Discusión	105
7.4 Cumplimiento del Objetivo Específico 3.....	106
Resultado obtenido	106

Discusión	107
7.5 Cumplimiento del Objetivo General.....	107
Resultado obtenido	107
7.6 Beneficios técnicos de la propuesta	108
7.7 Beneficios ambientales	108
7.8 Beneficios económicos	109
7.9 Limitaciones del estudio	109
Información histórica limitada.....	109
Restricciones de monitoreo	109
Diseño conceptual del sistema fotovoltaico	109
7.10 Síntesis de resultados	110
Bibliografía	110

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Criterios de evaluación de factibilidad técnica en sistemas rurales ≤ 2 L/s	58
--	----

RESUMEN

La desinfección del agua potable en comunidades rurales presenta dificultades asociadas a la limitada disponibilidad de energía eléctrica y a la dependencia de insumos químicos externos. En este contexto, la presente investigación desarrolla el diseño de un sistema de generación in situ de hipoclorito de sodio mediante electrólisis alimentada con energía solar fotovoltaica para el sistema comunitario de agua potable de la comunidad Sigcho, parroquia Sinincay, cantón Cuenca.

La investigación comprendió la caracterización técnica del sistema existente, la determinación de los parámetros de diseño y el dimensionamiento de una Planta de Tratamiento de Agua Potable con filtración lenta de arena y desinfección mediante hipoclorito. El diseño estima una población actual de 517 personas y una futura de 631 personas para un rango de veinte años.

Los resultados demuestran que la propuesta es técnicamente viable para garantizar la desinfección del agua y, mejorar así la sostenibilidad operativa del sistema. La evaluación económica, en cambio, también pone de manifiesto que la alternativa formulada podría implementarse en comunidades rurales con características semejantes.

En síntesis, la generación de hipoclorito por electrólisis con electricidad fotovoltaica es una alternativa de solución sostenible para mejorar la seguridad sanitaria del agua potable y asegurar la autonomía operacional de los sistemas comunitarios rurales.

Palabras clave: agua potable, desinfección, electrocloración, energía solar fotovoltaica, sistemas rurales.

ABSTRACT

This project proposes a chlorination method powered by a solar generation system, based on saline electrolysis powered by photovoltaic panels. This project starts from the general objective of designing an alternative chlorination system without connection to the electricity grid, and will be applied to a case study for the Sigcho system of the Sinincay parish of the Cuenca canton, for which a diagnosis will be made of the current network and water quality, design an easy maintenance chlorination method and evaluate its financial feasibility. The methodology combines fieldwork emphasizing the analysis of current infrastructure and the design of the disinfection system ending with an economic study of installation, implementation and maintenance costs. As a result, it is planned to obtain a solar-powered chlorination design that is viable and sustainable.

Keywords: water disinfection; electrochlorination; photovoltaic energy systems; rural water supply systems and on-site sodium hypochlorite generation