



UNIVERSIDAD
DE LOS ANDES

**UNIVERSIDAD DE LOS ANDES
CONSEJO DE ESTUDIOS DE POSTGRADO
FACULTAD DE INGENIERÍA
DIVISION DE ESTUDIOS DE POSTGRADO
DOCTORADO EN CIENCIAS APLICADAS**

**MODELO DE GESTIÓN PARA LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN
EN EL MEDIO RURAL VENEZOLANO**

www.bdigital.ula.ve

Autor: Carlos F. Espinosa Jiménez
Tutor: Dr. Hervé J. Jégat Nicolo

Estado Bolivariano de Mérida
República Bolivariana de Venezuela
29 de Junio de 2022

Reconocimiento-No comercial-Compartir igual



UNIVERSIDAD
DE LOS ANDES

**UNIVERSIDAD DE LOS ANDES
CONSEJO DE ESTUDIOS DE POSTGRADO
FACULTAD DE INGENIERÍA
DIVISION DE ESTUDIOS DE POSTGRADO
DOCTORADO EN CIENCIAS APLICADAS**

**MODELO DE GESTIÓN PARA LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN
EN EL MEDIO RURAL VENEZOLANO**

Tesis Doctoral presentada como requisito parcial para optar al grado de
Doctor en Ciencias Aplicadas

www.bdigital.ula.ve

Autor: Carlos F. Espinosa Jiménez
Tutor: Dr. Hervé J. Jégat Nicolo

Estado Bolivariano de Mérida
República Bolivariana de Venezuela
29 de Junio de 2022

Dedicatoria

*A la memoria de Paulanita, mi amada esposa por 35 años.
A nuestros hijos Manuel Alberto y Carlos Miguel.
A la memoria de mis padres Carlos y Milagros.
A mis hermanos Carlos, Enrique, Andrés, Jeannette y Juana.
A la memoria del Dr. Felipe Jesús Rodríguez Mora, maestro y amigo.
A Anairamiz...un encuentro y un comienzo al final...*

Agradecimientos

*Al Dr. Hervé J. Jégat Nicolo, mi tutor, maestro y amigo. Gracias profesor Jégat por acompañarme en esta aventura de crear algo que puede ser útil.
A los doctores Wilmer Barreto Cordero y Samuel Quisca Astocahuana, miembros de mi comité doctoral, por su buena disposición y sus acertados consejos.
A los jurados y evaluadores Dra. Ángela Henao Orozco, Dra. Griselda Ferrara de Giner y Dr. Rómulo Bastidas Fernández, por su buena disposición para validar este trabajo, y por sus acertadas observaciones.
Al Centro Interamericano de Desarrollo e Investigación Ambiental y Territorial de la Universidad de Los Andes. Allí me formé, ejercí la ingeniería, la docencia y la investigación. Allí transcurrió mi vida.
A mis amigos Roberto, Fernando, Jorge y Lorán. Ustedes me hacen la vida más placentera.
A Stefanny Ramírez Rodríguez, amiga y aventajada discípula, por acompañarme en la mitad de este camino.*

El autor desea expresar su agradecimiento y reconocimiento al Instituto Danés de Hidráulica (DHI) de Dinamarca, por haber otorgado la licencia correspondiente para el uso del modelo de simulación MIKE 21 FM, una herramienta indispensable para el estudio hidrodinámico de las lagunas.

MODELO DE GESTIÓN PARA LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN EN EL MEDIO RURAL VENEZOLANO

Autor: Carlos F. Espinosa Jiménez

RESUMEN

Se presenta el desarrollo y la aplicación de un modelo de gestión para lagunas de estabilización en el medio rural de la Zona Panamericana del estado Mérida, Venezuela. Inicialmente, para plantear la necesidad de realizar la investigación, se hace un recuento histórico sobre el saneamiento en Venezuela, con énfasis en el medio rural. Mediante simulación basada en dinámica computacional de fluidos, se estudia la hidrodinámica de los prototipos implementados, con énfasis en las condiciones de entrada y salida, y se plantean modificaciones para mejorar su hidrodinámica. Con base en el triángulo de la sostenibilidad, contemplando aspectos ambientales, sociales y técnico-económicos, se desarrolla la conceptualización del modelo de gestión propuesto, y se ilustra su implementación en la población de El Pinar, parroquia Florencio Ramírez, del municipio Caracciolo Parra y Olmedo de la Zona Panamericana del estado Mérida. Los aspectos ambientales considerados son la identificación y mitigación de los impactos ambientales en las fases de construcción y operación, así como el reúso del efluente y los subproductos de los sistemas lagunares. Para los aspectos sociales se contemplan los indicadores de equidad social ambiental de cobertura de los servicios de agua potable y de alcantarillado. Los aspectos técnico-económicos involucran el estudio hidrodinámico del prototipo de laguna implementado, el modelo organizacional y la viabilidad económica. Entre las reflexiones, conclusiones y recomendaciones destacan que, a cien años del inicio del saneamiento ambiental en Venezuela, el Estado Venezolano ha invertido importantes recursos en infraestructura hidrosanitaria en el medio rural, pero seguimos cabalgando sobre los mismos problemas y que existen múltiples ventajas y beneficios al implementar un modelo de gestión de lagunas de estabilización conceptualizado y basado en el triángulo de la sostenibilidad.

Palabras claves: modelo de gestión, lagunas de estabilización, gestión sostenible, estudio hidrodinámico de lagunas, modelo organizacional de lagunas, zona panamericana de Mérida, El Pinar estado Mérida, Venezuela.

MANAGEMENT MODEL FOR STABILIZATION PONDS IN THE VENEZUELAN RURAL ENVIRONMENT

Author: Carlos F. Espinosa Jiménez

ABSTRACT

The development and application of a management model for stabilization ponds in the rural environment of the Pan-American Zone of Mérida State, Venezuela is presented. Initially, to raise the need to carry out the research, a historical review is made about sanitation in Venezuela, with emphasis on the rural environment. Through simulation based on computational fluid dynamics, the hydrodynamics of the implemented prototypes are studied, with emphasis on the input and output conditions; modifications are, also, proposed to improve their hydrodynamics. Based on the triangle of sustainability, contemplating environmental, social and technical-economic aspects, the conceptualization of the proposed management model is developed, and its implementation is illustrated in El Pinar village, Florencio Ramírez parish, Caracciolo Parra y Olmedo municipality, of the Pan-American Zone of Merida State. The environmental aspects considered are the identification and mitigation of environmental impacts in the construction and operation phases, as well as the use of effluent and by-products of the pond systems. For the social aspects, the environmental social equity indicators of drinking water and sewerage services coverage are contemplated. The technical-economic aspects involve the hydrodynamic study of the implemented pond prototype, the organizational model and the economic viability. Among the reflections, conclusions and recommendations, it stands out that one hundred years after the beginning of environmental sanitation in Venezuela, the Venezuelan State has invested important resources in hydrosanitary infrastructure in rural areas, but we continue to ride on the same problems. Although there are, also, multiple advantages and benefits when implementing a stabilization pond management model conceptualized and based on the triangle of sustainability.

Keywords: management model, stabilization ponds, sustainable management, hydrodynamic study of ponds, organizational model of ponds, Pan-American zone of Merida State, El Pinar - Merida State - Venezuela.

INDICE

Dedicatoria	i
Agradecimientos	i
RESUMEN.....	ii
ABSTRACT	iii
Índice de Figuras	viii
Índice de Tablas	xii
CAPÍTULO I.....	1
INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Planteamiento de la investigación	1
1.2 Objetivos	6
1.2.1 Objetivo General:	6
1.2.2 Objetivos Específicos:.....	6
1.3 Metodología.....	6
1.4 La Zona Panamericana del estado Mérida.....	8
1.5 Los prototipos de lagunas implementados en la Zona Panamericana.	11
1.5.1 Reflexiones sobre la configuración de entrada y salida de los prototipos implementados.....	17
1.6 Antecedentes	19
1.7 Contenido de la investigación.....	24
1.8 Bibliografía.	26
CAPÍTULO II.....	29
MARCO TEÓRICO.....	29
2.1 El Desarrollo Sostenible y la Agenda 2030 del Desarrollo Sostenible de la Organización de las Naciones Unidas.....	29
2.2. El Derecho Humano al Agua Potable y el Derecho Humano al Saneamiento....	30
2.3. Gestión Integral de Recursos Hídricos	30
2.4. Marco Legal de la Gestión Integral de Recursos Hídricos en Venezuela.....	31

2.5. La sostenibilidad.....	33
2.6 Sistemas Integrados para el manejo de las aguas residuales domésticas en el medio rural	34
2.7. Los modelos basados en dinámica computacional de fluidos	35
2.7.1 El modelo MIKE 21 FM	36
2.8 Modelo Organizacional para la gestión de sistemas lagunares: una propuesta..	37
2.8.1 Antecedentes.	37
2.8.2 Metodología	37
2.8.3 Propuesta Organizacional	40
2.9 Indicadores Sociales	41
2.10 Bibliografía.	45
CAPÍTULO III.....	47
ESTUDIO HIDRODINÁMICO	47
3.1 Introducción.....	47
3.2 Objetivos	50
3.3 Metodología.....	50
3.4 Resultados y discusión.....	53
3.4.1. Condiciones de entrada y salida originales del prototipo.	53
3.4.2. Configuración modificada seleccionada.	61
3.5 Conclusiones y recomendaciones.....	67
3.6 Bibliografía.	68
CAPÍTULO IV.	70
EL MODELO DE GESTIÓN.....	70
4.1 Desarrollo Conceptual del Modelo.	70
4.2 Aspectos Ambientales.....	71
4.2.3 Reúso del efluente y los subproductos en los sistemas lagunares.	74
4.3 Aspectos sociales.....	76
4.3.1 Indicador de equidad social ambiental de cobertura del servicio de agua potable	76
4.3.2 Indicador de equidad social ambiental de cobertura del servicio de alcantarillado	76
4.4 Aspectos Técnicos y Económicos	81

4.4.1 Estudio hidrodinámico de los prototipos de lagunas implementados	81
4.4.2 Una propuesta organizacional para la gestión de los sistemas lagunares ...	81
4.4.3 Viabilidad Económica	85
4.5 La conceptualización del modelo de gestión propuesto.	86
4.6. Conclusiones y recomendaciones	87
4.6.1. Conclusiones.....	87
4.6.2. Recomendaciones	88
4.7 Bibliografía.	88
CAPÍTULO V.	90
APLICACIÓN DEL MODELO DE GESTIÓN	90
5.1 Introducción.....	90
5.2 Área de estudio	91
5.3 Evaluación del sistema de lagunas	91
5.4 Aspectos ambientales.	92
5.4.1 Identificación de impactos ambientales y medidas de mitigación.	92
5.4.2. Reúso del efluente y los subproductos.	95
5.5 Aspectos Sociales	98
5.5.1. Indicador de equidad social ambiental de cobertura del servicio de agua potable.	98
5.5.2. Indicador de equidad social ambiental de cobertura del servicio de alcantarillado.....	98
5.6 Aspectos Técnico-Económicos	99
5.6.1 Evaluación hidrodinámica.....	99
5.6.2 Modelo organizacional.....	101
5.6.3 Evaluación Financiera.	101
5.7 Conclusiones y recomendaciones.....	108
5.8 Bibliografía	109
CAPÍTULO VI.	111
REFLEXIONES, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	111
6.1 Reflexiones.....	111
6.2 Conclusiones.....	115

6.2.1 Estudio hidrodinámico de los prototipos de lagunas implementados.	115
6.2.2 Modelo de gestión.....	116
6.3 Recomendaciones.....	117

www.bdigital.ula.ve

Índice de Figuras

Figura 1.1 Ubicación geográfica de los Sistemas Lagunares existentes en la Zona Panamericana del estado Mérida, Venezuela	10
Figura 1.2 Tanquilla de entrada. Sistema de Lagunas de Caño Seco, municipio Alberto Adriani, Zona Panamericana del estado Mérida	12
Figura 1.3 Primera Laguna facultativa, vista aguas arriba. Sistema de Lagunas de Caño Seco, municipio Alberto Adriani, Zona Panamericana del estado Mérida	12
Figura 1.4 Segunda Laguna facultativa, vista aguas abajo. Se observa la caseta de cloración para desinfección. Sistema de Lagunas de Caño Seco, municipio Alberto Adriani, Zona Panamericana del estado Mérida	13
Figura 1.5 Tanquilla de entrada. Sistema de Lagunas de Caño Amarillo, municipio Alberto Adriani, Zona Panamericana del estado Mérida	13
Figura 1.6 Laguna facultativa (única), vista aguas abajo. Sistema de Lagunas de Caño Amarillo, municipio Alberto Adriani, Zona Panamericana del estado Mérida.....	14
Figura 1.7 Laguna facultativa (única), vista aguas arriba. Sistema de Lagunas de Caño Amarillo, municipio Alberto Adriani, Zona Panamericana del estado Mérida.....	14
Figura 1.8 Tanquilla de entrada. Sistema de Lagunas de Guayabones, municipio Obispo Ramos de Lora, Zona Panamericana del estado Mérida	15
Figura 1.9 Laguna facultativa primaria, vista aguas arriba. Sistema de Lagunas de Guayabones, municipio Obispo Ramos de Lora, Zona Panamericana del estado Mérida	15
Figura 1.10 Laguna facultativa secundaria, vista aguas abajo. Sistema de Lagunas de Guayabones, municipio Obispo Ramos de Lora, Zona Panamericana del estado Mérida	16
Figura 1.11 Laguna primaria de la población de El Pinar, municipio Caracciolo Parra, Zona Panamericana, Estado Mérida	16
Figura 1.12 Laguna secundaria de la población de El Pinar, municipio Caracciolo Parra, Zona Panamericana, Estado Mérida	17
Figura 1.13 Tuberías de entrada a las lagunas. Sistema de Lagunas de estabilización de Caño Seco, municipio Alberto Adriani, Zona Panamericana del estado Mérida	18

Figura 1.14 Tubería de salida de las lagunas. Sistema de Lagunas de Estabilización de Caño Seco, municipio Alberto Adriani, Zona Panamericana del estado Mérida.....	19
Figura 2.1 La sostenibilidad considerando aspectos ambientales, sociales y económicos	33
Figura 2.2. Esquema metodológico propuesto por Mejías (2008) para definir el Modelo de Gestión	39
Figura 2.3. Esquema de la Propuesta Organizacional para la Gestión de los Sistemas Lagunares, tomando en cuenta las etapas de un proyecto	41
Figura 3.1 Geografía de la Zona Panamericana del estado Mérida, Venezuela, donde se han construido unos diez Sistemas de Lagunas de estabilización entre las poblaciones de El Vigía y Arapuey	49
Figura 3.2 Laguna facultativa de 20m X 30 m y profundidad 1,50m, vista aguas arriba, implementada en Caño Seco, municipio Alberto Adriani, Zona Panamericana del estado Mérida	49
Figura 3.3. Malla de simulación generada de la Laguna de Caño Seco, basada en un esquema de elementos finitos	52
Figura 3.4. Elevación de la superficie a los 10 minutos de simulación	53
Figura 3.5. Elevación de la superficie a los 48 minutos de simulación	53
Figura 3.6. Elevación de la superficie a los 75 minutos de simulación	54
Figura 3.7. Elevación de la superficie a los 107 minutos de simulación	54
Figura 3.8. Dirección de flujo a los 10 minutos de simulación	55
Figura 3.9. Dirección de flujo a los 48 minutos de simulación	55
Figura 3.10. Dirección de flujo a los 75 minutos de simulación	55
Figura 3.11. Dirección de flujo a los 107 minutos de simulación	55
Figura 3.12. Laguna facultativa de 20 m x 30 m, implementada en Caño Seco, municipio Alberto Adriani, Zona Panamericana del estado Mérida. Vectores de velocidad en la zona de entrada al inicio de la simulación a los 16 minutos.....	56
Figura 3.13. Laguna facultativa de 20 m x 30 m, implementada en Caño Seco, municipio Alberto Adriani, Zona Panamericana del estado Mérida. Vectores de velocidad cercanos a la tubería de salida a los 96 minutos de la simulación.....	57
Figura 3.14. Laguna facultativa de 20 m x 30 m, implementada en Caño Seco, municipio Alberto Adriani, Zona Panamericana del estado Mérida. Zona de	

estancamiento en el extremo derecho aguas abajo de la laguna a los 125 minutos de la simulación	57
Figura 3.15. Laguna facultativa de 20 m x 30 m, implementada en Caño Seco, municipio Alberto Adriani, Zona Panamericana del estado Mérida	58
Figura 3.16. Elevación de la superficie a los 5 minutos de simulación	61
Figura 3.17. Elevación de la superficie a los 50 minutos de simulación	61
Figura 3.18. Elevación de la superficie a los 80 minutos de simulación	62
Figura 3.19. Elevación de la superficie a los 95 minutos de simulación	62
Figura 3.20. Dirección de flujo a los 5 minutos de simulación	63
Figura 3.21. Dirección de flujo a los 50 minutos de simulación	63
Figura 3.22. Dirección de flujo a los 80 minutos de simulación	63
Figura 3.23. Dirección de flujo a los 95 minutos de simulación	63
Figura 3.24. Velocidad a los 5 minutos de simulación	64
Figura 3.25. Velocidad a los 45 minutos de simulación	64
Figura 3.26. Velocidad a los 83 minutos de simulación	65
Figura 3.27. Velocidad a los 90 minutos de simulación	65
Figura 3.28. Campo de velocidades en las entradas a los 7 minutos de simulación, para las mejoras de entrada y salida propuestas.....	66
Figura 3.29. Campo de velocidades en la salida a los 100 minutos de simulación para las mejoras de entrada y salida propuestas.....	66
Figura 3.30. Campo de velocidades en la esquina derecha aguas arriba a los 95 minutos de simulación, para las mejoras de entrada y salida propuestas.....	67
Figura 4.1 Ilustración de la sostenibilidad considerando aspectos ambientales, sociales y técnico-económicos	70
Figura 4.2 Sistema integrado propuesto para el manejo de efluentes y los subproductos en los sistemas lagunares emplazados en la panamericana del estado Mérida.....	75
Figura 4.3. Esquema metodológico propuesto por Mejías (2008) para definir el Modelo de Gestión	83
Figura 4.4. Esquema de la Propuesta Organizacional para la Gestión de los Sistemas Lagunares, tomando en cuenta las etapas de un proyecto.....	85

Figura 4.5 Conceptualización del Modelo propuesto para la gestión de los Sistemas Lagunares ubicados en el medio rural de la Zona Panamericana del estado Mérida.....	86
Figura 5.1. Conceptualización del Modelo propuesto por Espinosa y col (2021) para la gestión de los Sistemas Lagunares ubicados en el medio rural de la Zona Panamericana del estado Mérida, Venezuela	91
Figura 5.2. Sistema Integrado propuesto para el manejo del efluente y los subproductos en los Sistemas Lagunares emplazados en la Zona Panamericana del estado Mérida.....	96
Figura 5.3 Esquema de la Propuesta Organizacional para la Gestión de los Sistemas Lagunares, tomando en cuenta las etapas de un proyecto.....	101

www.bdigital.ula.ve

Índice de Tablas

Tabla 1.1 Lagunas de estabilización construidas por el Estado Venezolano y operadas por el Ministerio de Salud, las Alcaldías, la Gobernación del Estado y la Empresa Regional Aguas de Mérida, en la Zona Panamericana del estado Mérida	9
Tabla 1.2 Artículos revisados por Gomes et al (2016), que tienen relación directa con esta Investigación	23
Tabla 2.1 Vínculos entre el Protocolo de San Salvador y La Carta Social de Las Américas de la OEA, con la Agenda 2030 y los Objetivos del Desarrollo Sostenible de la ONU	44
Tabla 3.1. Comparación de las variables simuladas para las alternativas de mejoras contempladas. Prototipo de Laguna de Estabilización de Caño Seco, municipio Alberto Adriani, Zona Panamericana del estado Mérida, Venezuela.....	59
Tabla 4.1 Identificación de Impactos ambientales y medidas de mitigación propuestas durante la fase de construcción de los sistemas lagunares.....	72
Tabla 4.2 Identificación de Impactos ambientales y medidas de mitigación propuestas durante la fase de operación de los sistemas lagunares.....	73
Tabla 4.3 Indicador de Equidad Social Ambiental de Cobertura del Servicio de Agua Potable para todas las parroquias de los municipios de la Zona Panamericana del estado Mérida. Elaboración Propia a partir del Censo Nacional de 2011.....	78
Tabla 4.4. Frecuencia del servicio de agua en las viviendas, por municipios y parroquias, en la Zona Panamericana del estado Mérida.....	79
Tabla 4.5. Indicador de Equidad Social Ambiental de cobertura del servicio de alcantarillado para todas las parroquias de los municipios de la Zona Panamericana del Estado Mérida.....	80
Tabla 5.1. Desempeño del sistema de lagunas con base en el modelo de carga de Cubillos (1985).....	92
Tabla 5.2. Aspectos Ambientales. Personal y equipos requeridos para implementar las medidas de mitigación durante la fase de construcción.....	93

Tabla 5.3. Aspectos Ambientales. Personal y equipos requeridos para implementar las medidas de mitigación durante la fase de operación.....	94
Tabla 5.4. Potencialidad de nutrientes en las aguas residuales crudas.....	97
Tabla 5.5. Potencialidad de nutrientes en los lodos de las lagunas.....	97
Tabla 5.6. Frecuencia del servicio de agua en las viviendas, para la parroquia Florencio Ramírez del municipio Caracciolo Parra y Olmedo de la Zona Panamericana del estado Mérida, Venezuela.....	98
Tabla 5.7. Indicador de Equidad Social Ambiental de cobertura del servicio de alcantarillado, para la parroquia Florencio Ramírez del municipio Caracciolo Parra y Olmedo de la Zona Panamericana del estado Mérida, Venezuela.....	99
Tabla 5.8 Presupuesto para la Construcción de Lagunas de estabilización.....	103
Tabla 5.9. Ingresos y Egresos generados en la operación de las Lagunas de estabilización.....	106
Tabla 5.10. Valor resultante del TIR y el índice de rentabilidad.....	107

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN¹

1.1 Planteamiento de la investigación

El saneamiento en la era moderna tiene un hito muy importante en el informe de Edwin Chadwick en 1842 ante el Parlamento Británico titulado “Reporte general sobre las condiciones sanitarias de la población trabajadora de Gran Bretaña”. Edwin Chadwick, abogado de profesión, reformador social y presidente de la Comisión Legislativa de los Pobres del Parlamento Británico, elaboró este documento desde 1840 a solicitud del Parlamento Británico y con el apoyo del gremio médico inglés. Chadwick describe en su reporte las condiciones sanitarias de la clase obrera en los suburbios ingleses como “un miasma ambiental”. Literalmente los desechos sólidos, las aguas servidas y los desechos fisiológicos humanos eran dispuestos en las calles de los suburbios donde habitaba la clase obrera británica en ese momento. El informe de Chadwick no sólo describe crudamente las condiciones ambientales de los suburbios donde habitaba la clase obrera, sino que plantea acciones concretas para enfrentar esta insalubridad, a saber: dotar las viviendas de “agua segura”, recolectar y evacuar las aguas residuales de los suburbios disponiendo de ellas y recolectar, evacuar y disponer los desechos sólidos fuera del ambiente urbano. Es así como en este documento oficial del Parlamento Británico se sientan las bases de la Ingeniería de Salud Pública y la Ingeniería Sanitaria clásicas. El reporte de Chadwick tuvo mucho impacto en la opinión pública e influyó en la promulgación de la Ley de Salud Pública de 1848 en Inglaterra.

¹ Este capítulo se basa en los documentos a. y b. y generó la publicación del documento c. y el libro d.:

- a. Plan de Formación Doctoral. Aprobado por la Comisión de Admisión el 08-06-2018.
- b. Anteproyecto de Tesis. Aprobado conforme al Acta de Defensa el 25-06-2019.
- c. Espinosa, C., 2020. Lagunas de estabilización en el medio rural venezolano. Caso: Zona Panamericana de los Estados Mérida y Trujillo. Trabajo de Ingreso a la Ilustre Academia Nacional de la Ingeniería y el Hábitat de Venezuela. Resolución de la Junta de Individuos de Número No. 272/20 del 10/11/20. Palacio de las Academias, Caracas, Venezuela. https://www.acading.org.ve/info/publicaciones/TRABAJOS_INCORPORACION/TI_CARLOS_ES_PINOSA.pdf
- d. Espinosa Jiménez, Carlos Francisco Abel 2021. Lagunas de estabilización en el medio rural de la zona Panamericana de los estados Mérida y Trujillo, Venezuela. Editorial Academia Nacional de la Ingeniería y el Hábitat. ISBN 978-980-18-2130-4. Caracas, Venezuela.

El saneamiento en Venezuela se inició en el Siglo XX bajo el paradigma de “la solución a la contaminación es su dilución”, el cual fue la estrategia seguida durante la primera mitad del siglo XX a nivel mundial. En otras palabras, los ingenieros aspiraban lograr una dilución al menos 1 a 8 en volumen, de los líquidos residuales –crudos o tratados- en el cuerpo receptor. Es, finalmente, en 1995 cuando se promulgan las Normas de Efluentes contenidas en el conocido Decreto 883 en su Capítulo III, de fecha 11-10-1995.

En Venezuela desde 1955 se han utilizado lagunas de estabilización como sistemas de tratamiento de efluentes crudos de origen doméstico y municipal. A partir de 1963, el Ministerio de Sanidad y Asistencia Social (MSAS) y el Instituto Nacional de Obras Sanitarias (INOS) incluyeron las lagunas de estabilización complementadas con sistemas cloacales en sus actividades de estudios y proyectos para el saneamiento. El MSAS lo hizo con mayor intensidad y desempeño que el INOS, ya que atendía el saneamiento de poblaciones menores en el medio rural no disperso y periurbano. Es así como a partir de 1963 el MSAS incluyó como complemento a sus actividades de cloacas rurales el diseño, construcción y operación de plantas de tratamiento basadas en lagunas de estabilización, a través de su Dirección de Malariología y Saneamiento Ambiental (Rengel, 1977).

Desde que se inició en Venezuela la explotación petrolera a principios del Siglo XX, exceptuando cortos períodos de repunte de la actividad agropecuaria, ha predominado un marcado deterioro del medio rural, que ha traído como consecuencia la migración del campesino a la ciudad, conformando los llamados cordones de miseria (OPS, 1997). Con base al Censo Nacional de 2011 se estima que en la actualidad un 90% de la población venezolana habita en zonas urbanas y apenas un 10% en el medio rural (INE, 2013).

OPS (2018) informa que en Venezuela en el año 2016 se reportaron 240.613 casos de malaria, y que en año el 2017 se reportaron 8.615 casos de dengue. Es importante destacar que ambas enfermedades, muy vinculadas al saneamiento del medio rural y periurbano, son endémicas en el país y transmitidas por vectores anofelinos - enfermedades metaxénicas-. En 2017 la malaria se ha extendido a 10 estados del país por los desplazamientos de población minera, escasez de medicamentos antipalúdicos y debilitamiento del control de vectores. La malaria dejó de estar en áreas remotas para extenderse a zonas urbanas y peri-urbanas.

CAF (2015) presenta la evolución de los servicios de agua potable y saneamiento en Latinoamérica y El Caribe en las últimas décadas, en la cual se pueden distinguir dos puntos de inflexión que son fundamentales para entender su nivel de desarrollo:

- La crisis económica y financiera de los años noventa que motivó la aplicación de reformas drásticas en el sector de agua potable y saneamiento en la mayoría de los países de la región.

- La Cumbre del Milenio de las Naciones Unidas de septiembre de 2000 donde se adoptaron los Objetivos de Desarrollo del Milenio (ODM). Para el sector de agua potable y saneamiento, estos objetivos establecen la reducción a la mitad de la brecha existente en 1990.

Este documento sostiene que el nuevo reto del sector está determinado por los Objetivos del Desarrollo Sostenible (ODS), que implican metas ambiciosas, como alcanzar la cobertura universal mediante la provisión de servicios de calidad, económicamente asequibles y seguros. La provisión de estos servicios debe realizarse de manera equitativa a toda la población, y basarse en la debida consideración de la sostenibilidad de los recursos hídricos. Entre los principales retos que identifica en lo referente al acceso al agua potable y al saneamiento destaca la necesidad de servir a personas que aún no tienen acceso en las áreas periurbanas y rurales, que representan el sector más vulnerable, difícil y costoso.

Gutiérrez (1998) presenta una cronología de la temática de la salud pública, el abastecimiento de agua y el saneamiento en el país. Afirma que en 1911 se creó en Venezuela la Oficina de Sanidad Nacional (OSN) adscrita al Ministerio del Interior, que actuaba fundamentalmente en Caracas, sin los recursos económicos y personal para llevar su actuación a todo el país. En 1919 la OSN se transformó en la Dirección de Sanidad Nacional responsable de la salud pública en el país, con las mismas limitaciones de recursos económicos y personal para abarcar todo el territorio nacional. Durante el quinquenio 1916-1920 el paludismo y otras enfermedades metaxénicas hicieron estragos en el país, lo cual llevó al Gobierno Nacional a promulgar en 1923 un decreto sobre el “Saneamiento de los Llanos de Venezuela”. En ese momento se dio inicio en el país a un proceso de cambios basado en la actividad petrolera y la distribución por parte del Estado de la renta del petróleo. La malaria y las precarias condiciones de salubridad en el medio rural eran un serio impedimento para avanzar en la consolidación de la actividad petrolera del país. Las empresas petroleras comprendieron que era necesario hacer y mejorar la infraestructura de salud en el medio rural y exigieron a las autoridades venezolanas que les garantizaran condiciones básicas de salubridad.

En Venezuela hasta la creación del Instituto Nacional de Obras Sanitarias (INOS) en 1943, el saneamiento era ejecutado localmente por las gobernaciones de estado y las alcaldías, mediante la implementación de pequeñas y sencillas obras hidrosanitarias. A partir de ese año el INOS asume la ejecución y operación de la infraestructura hidrosanitaria del saneamiento en las ciudades capitales de estado y principales centros poblados del país. En paralelo, y como consecuencia de lo anterior, el Ministerio de Sanidad y Asistencia Social (MSAS) asume las funciones del saneamiento en las poblaciones menores. Es así como a través de la Oficina Cooperativa Interamericana de Salud Pública (OCISP) se establece el Programa Nacional de Acueductos Rurales (PNAR) en Venezuela. Entre 1.946 y 1.959 la OCISP a través del PNAR construyó 168

acueductos rurales beneficiando a un estimado de 261.000 habitantes; en esta experiencia no se logró una gestión adecuada que garantizara la operación y el mantenimiento de las obras. En consecuencia, las obras hidrosanitarias construidas tuvieron una vida útil corta generando la pérdida total o parcial de la infraestructura y la inversión realizada. OPS (1997).

Entre 1.959 y 1.962, con la finalidad de impulsar una acción sanitaria más eficaz en el medio rural –poblaciones menores-, el MSAS se encarga directamente del suministro de agua potable, a través de la Sección de Acueductos Rurales (más tarde Dirección de Malariología y Saneamiento Ambiental) y con la colaboración de las gobernaciones de estado. OPS (1997).

El 29 de octubre de 1.975, son publicados en la Gaceta Oficial de la República de Venezuela N° 301845 del 13 de noviembre del mismo año, los Decretos N° 1.245 y N°1.247, en los que se le establece a la Dirección de Malariología y Saneamiento Ambiental, la función siguiente: "Acueductos y disposición de excretas en beneficio de la población rural dispersa con el objeto de lograr su concentración en centros organizados". La población rural no dispersa ubicada en 1.137 de los acueductos construidos en poblaciones mayores de 1.000 habitantes se adscribe al INOS en la misma oportunidad, por instrucción presidencial N° 17 del 21 de octubre de 1975. OPS (1997).

Entre 1961 y 1974 se crearon y operaron las Juntas Administradoras Autónomas (JAA), como entes encargados de la gestión de los acueductos, mediante una ordenanza municipal elaborada por los concejos municipales. Estas Juntas recibieron el asesoramiento técnico-administrativo del MSAS (Barone,1995). Las JAA estaban integradas por representantes de la comunidad, de la autoridad municipal y del Ministerio de Sanidad y Asistencia Social. Contaban con un Fondo Cooperativo de Juntas Administradoras, el cual tenía como misión: garantizar asistencia técnica, aprovisionamiento de materiales, reducción de costos y otorgamiento de créditos a todas aquellas juntas que pertenecían a dicho fondo. La modalidad de gestión a través de las JAA se consideró la más ventajosa para la operación, mantenimiento y administración de los acueductos rurales con la asesoría técnica del MSAS. En 1.974 se elimina esta modalidad de gestión al considerar que el sistema de gestión presentaba fallas importantes por falta de capacidad local. El MSAS asume nuevamente, en 1.975, la administración directa de todos los acueductos rurales a través de la División de Obras de Saneamiento OPS (1997).

El INOS en 1975 asume la responsabilidad de los sistemas transferidos por el MSAS creando la Oficina Coordinadora de Acueductos Rurales, mediante concesiones a empresas operadoras privadas, asignando ingenieros inspectores a cada una de dichas empresas.

En 1.985 mediante un Decreto Presidencial se establece que la Corporación Venezolana de Guayana (CVG) se ocuparía del servicio de acueductos y cloacas en todas las poblaciones urbanas y rurales del estado Bolívar y de los entonces Territorios Federales Amazonas y Delta Amacuro OPS (1997).

En 1.991, se inicia un proceso de transferencia de los sistemas a los gobiernos regionales y locales, y se crea mediante Decreto No. 2.708, el Servicio Autónomo Programa Nacional de Vivienda Rural (PNVR) estructurado en tres divisiones operativas: la División de Acueductos Rurales, la División de Vivienda Rural y la División de Cloacas Rurales. Este servicio mediante ordenanzas estableció el Modelo de Gestión de las Juntas Administradoras a nivel municipal, como órgano encargado de administrar el sistema de acueductos y cloacas. El PNVR adscrito al MSAS, se encargó además de la elaboración de proyectos y ejecución de los mismos. Todas estas actividades las realizó en coordinación estrecha con las gobernaciones de estado y alcaldías.

En 1991 la recién creada Empresa Hidrológica Nacional (HIDROVEN) y sus filiales las Empresas Hidrológicas Regionales (EHR), sustituyen al INOS, a raíz del proceso - descentralizador- de reestructuración del sector. Es así como HIDROVEN y sus filiales asumen la responsabilidad de administrar, operar y mantener los sistemas anteriormente atendidos por el INOS. Las empresas hidrológicas implementan la misma modalidad de gestión del INOS, en la cual las gerencias estatales filiales se encargaron de todo lo concerniente a la prestación del servicio, en muchos casos coordinados con las gobernaciones de estado y las alcaldías, “con la particularidad de no involucrar a la comunidad en su administración”. A partir de 1999 el modelo de gestión descentralizado iniciado en 1991 es revertido, conservando la misma estructura organizativa de la empresa hidrológica nacional y sus filiales regionales.

Los sectores agropecuario y agroindustrial constituyen para un país actividades económicas estratégicas, lo que las convierte en una constante preocupación para los gobiernos nacionales. Cualquier programa que se conciba para impulsar estos sectores tan importantes, debe contemplar resolver los problemas básicos de saneamiento en el medio rural, como son el suministro de agua potable, la recolección, tratamiento y disposición de las aguas residuales y de los desechos sólidos, así como el control de enfermedades metaxénicas endémicas, sin los cuales es imposible el desarrollo social y económico esperado. No cabe dudas de que para lograr en un país el desarrollo agropecuario y agroindustrial requerido, hay que lograr arraigar al campesino en el espacio que le pertenece y donde es un actor fundamental, porque la actividad agropecuaria y agroindustrial no se puede ejercer a distancia.

Por todo lo anterior se puede concluir que la organización de la prestación del servicio de agua potable y saneamiento, y por ende la gestión del saneamiento en el medio rural ha sido hasta ahora definida por el Gobierno Central, lo cual es razonable dentro de un

modelo histórico centralista de administración pública. En la actualidad las obras de saneamiento en el medio rural no disperso del país enfrentan un problema histórico en el momento en que son construidas y puestas en marcha, ya que no existe un modelo de gestión que garantice la sostenibilidad de tan importante infraestructura hidrosanitaria.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo General:

Desarrollar un modelo técnico-económico que garantice la sostenibilidad de las lagunas de estabilización como herramienta fundamental del saneamiento en el medio rural venezolano, tomando como área de estudio la Zona Panamericana del estado Mérida, Venezuela.

1.2.2 Objetivos Específicos:

- a) Analizar el comportamiento hidrodinámico de las lagunas de estabilización implementadas en el medio rural de la Zona Panamericana del estado Mérida, área representativa del medio rural venezolano.
- b) Formular un modelo para la gestión de lagunas de estabilización en el medio rural venezolano que garantice la sostenibilidad.
- c) Ilustrar -aplicar- el modelo desarrollado a sistemas lagunares ubicados en el medio rural de la Zona Panamericana del estado Mérida, Venezuela.

1.3 Metodología

La metodología implementada contó de cuatro fases, las cuales se describen a continuación:

Primera fase: Esta primera fase consistió en plantear a modo de introducción la importancia del tema de la gestión, definir los antecedentes del saneamiento ambiental y dar a conocer los esfuerzos realizados por el estado venezolano en el saneamiento del medio rural en el país. Se plantearon los antecedentes de la problemática y en particular en la Zona Panamericana del estado Mérida. Esta fase tuvo como objetivo definir el estado del arte de los sistemas lagunares en la zona de estudio, conocer su topología – dimensiones, profundidades, condiciones de entrada y salida- y sentar las bases para tipificar los prototipos implementados.

Segunda fase: Se implementó el Modelo Hidrodinámico de Simulación MIKE 21 basado en dinámica computacional de fluidos del Instituto Danés de Hidráulica (DHI), en los prototipos tipificados de lagunas de estabilización construidas en el medio rural de la Zona Panamericana del estado Mérida. Mediante simulación se evaluó

hidrodinámicamente las condiciones de entrada y salida en los prototipos tipificados y se propusieron mejoras.

Tercera fase: Se desarrolló conceptualmente y se formuló un modelo de gestión sostenible de lagunas de estabilización basado en: aspectos ambientales, aspectos técnicos/económicos y aspectos sociales.

- Para los aspectos ambientales se identificaron los impactos ambientales para las fases de construcción y operación de los sistemas lagunares, a fin de formular e implementar medidas de mitigación. Se analizaron los sistemas lagunares bajo la óptica del manejo integral del efluente y los subproductos.
- En los aspectos técnicos y económicos se consideraron:

El Modelo Organizacional. Contempló definir una propuesta organizacional para la gestión de los sistemas lagunares, tomando en cuenta las diferentes etapas de un proyecto, como son el diseño, la construcción, el financiamiento, la operación y el mantenimiento.

La Evaluación Financiera. Contempló la cuantificación y comparación de los costos y beneficios asociados a los sistemas, de forma de garantizar su viabilidad financiera.

La Evaluación Técnica. Consistió en realizar un estudio basado en dinámica computacional de fluidos, focalizado en la configuración de entradas y salidas, a fin de definir las condiciones hidrodinámicas, identificar deficiencias y plantear las mejoras requeridas en el sistema lagunar. La evaluación técnica se fundamentó en la segunda fase.

- Aspectos Sociales: se contemplaron y desarrollaron los indicadores de equidad social ambiental (IESA): “cobertura del sistema de abastecimiento de agua potable” y “cobertura del sistema de alcantarillado sanitario”.

Cuarta fase: La cuarta fase contempló la aplicación del modelo desarrollado y formulado a un caso específico, para ilustrar la utilización del modelo de gestión desarrollado y contribuir así a la solución de la problemática que presentan las lagunas de estabilización como herramienta del saneamiento y el desarrollo sostenible en el medio rural no disperso de la Zona Panamericana del estado Mérida. Para tal fin se seleccionó una población representativa, que fue considerada en la formulación del modelo organizacional en la tercera fase, la población de El Pinar, parroquia Florencio Ramírez, municipio Caracciolo Parra y Olmedo, del estado Mérida.

1.4 La Zona Panamericana del estado Mérida

La Zona Panamericana del estado Mérida, está definida por una franja territorial que se extiende a lo largo de la carretera Panamericana en el costado noroeste del estado. Comprende los municipios Alberto Adriani, Obispo Ramos de Lora, Andrés Bello, Caracciolo Parra y Olmedo, Julio César Salas, Justo Briceño y Tulio Febres Cordero. El gobierno nacional, en el año 2000, declaró en esta zona una de las “Áreas Estratégicas de Desarrollo Agrícola Sustentable” del país. El Estado Venezolano a través de entes gubernamentales nacionales y estatales, ha construido una serie de obras de saneamiento en la Zona Panamericana del estado Mérida, a fin de crear las condiciones sanitarias requeridas para impulsar el desarrollo rural en la zona. Entre estas obras hidrosanitarias destacan los sistemas lagunares para el tratamiento de las aguas residuales de los centros poblados y los asentamientos campesinos.

La Tabla 1.1 presenta un resumen de estas obras hidrosanitarias.

La Figura 1.1 ilustra la ubicación geográfica de las comunidades o poblados saneados con lagunas de estabilización, en la Zona Panamericana del estado Mérida.

Desde su puesta en servicio estos sistemas no han sido estudiados para su evaluación. Muestran evidencias de una precaria operación y mantenimiento, razón por la cual se los considera apropiados para analizarlos a la óptica de un modelo de gestión que garantice su sostenibilidad.

Tabla 1.1 Lagunas de estabilización construidas por el Estado Venezolano y operadas por el Ministerio de Salud, las alcaldías, la gobernación del Estado y la Empresa Regional Aguas de Mérida, en la Zona Panamericana del estado Mérida.

COMUNIDAD	MUNICIPIO	TIPO DE SISTEMA	UBICACIÓN
Caño Seco	Alberto Adriani	Dos (2) lagunas de estabilización en serie	Sector Ambulatorio
Caño Amarillo	Alberto Adriani	Una (1) laguna de estabilización	Vía Hacienda los Grisolia
Guayabones	Obispo Ramos de Lora	Dos (2) lagunas de estabilización en serie	Parte baja de la comunidad. Vía 4 Esquinas
San Rafael de Alcázar	Obispo Ramos de Lora	Dos (2) lagunas de estabilización en serie	Parte baja de la comunidad
El Pinar	Caracciolo Parra	Dos (2) lagunas de estabilización en serie	Parte baja de la comunidad.
Guachizón	Obispo Ramos de Lora	Dos (2) lagunas facultativas	Finca del Sr. Tulio Viloría.
Guachicapazón	Obispo Ramos de Lora	Dos (2) lagunas aerobias	Finca del Sr. César Contreras.
Tucanizón	Caracciolo Parra y Olmedo	Dos (2) lagunas de estabilización en serie	Parte baja del poblado.
Arapuey	Julio César Salas	Dos (2) lagunas de estabilización en serie	Parte baja del poblado.

Fuente: Servicio Autónomo de Vivienda Rural. Ministerio de Infraestructura región Mérida. Empresa Hidrológica Regional Aguas de Mérida.

IIES (1999) presenta un interesante proyecto de investigación financiado por PDVSA denominado “Plan Estratégico a largo plazo Mérida Estado Competitivo 2020”. Este estudio pretendía definir las potencialidades, fortalezas, debilidades y amenazas del estado Mérida para el año 2000, con miras a formular un plan estratégico que convirtiera a Mérida en un estado competitivo, local y regionalmente, para el año 2020. Uno de los documentos del proyecto de investigación, titulado “Antecedentes para el análisis de competitividad”, coordinado por los profesores Adelis Graterol y Alejandro Gutiérrez del IIES-FACES-ULA, aporta importantes datos socioeconómicos de la Zona Panamericana del estado Mérida, para el año 2000.

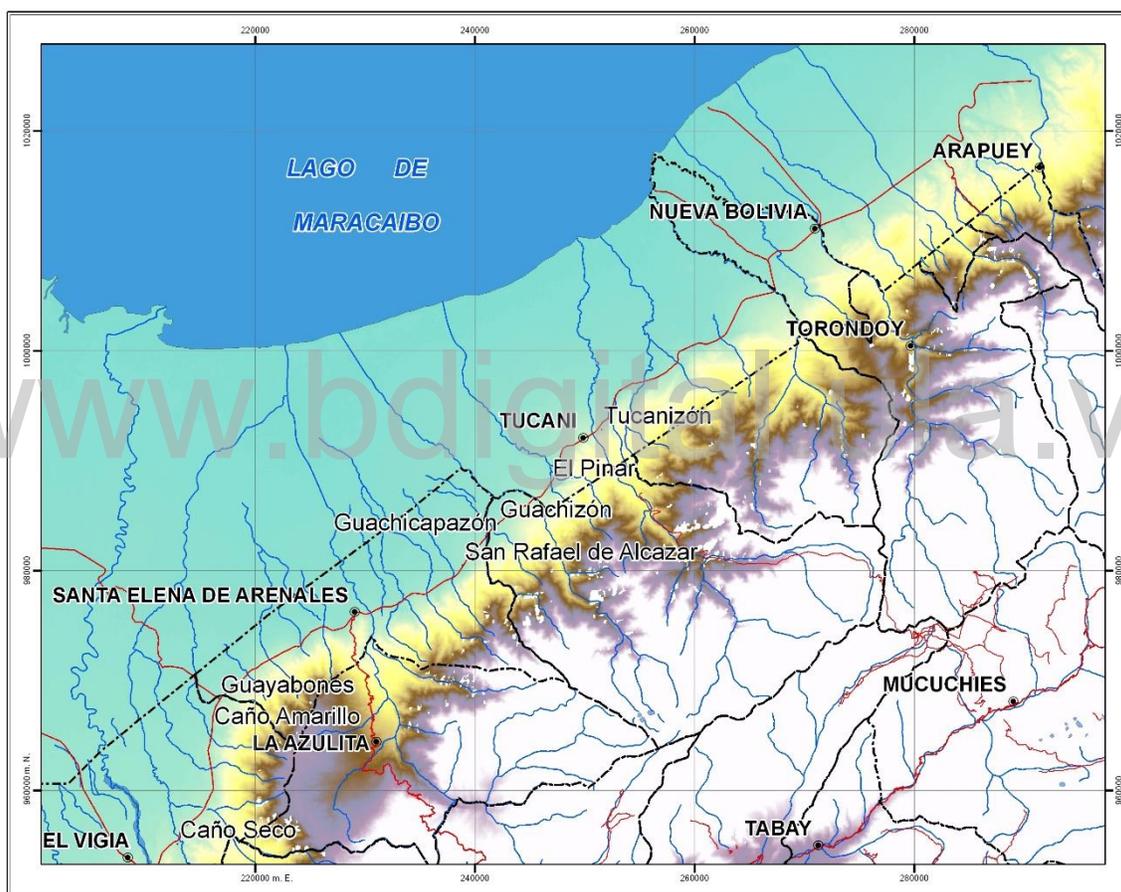


Figura 1.1 Ubicación geográfica de las comunidades o centros poblados saneados con lagunas de estabilización, en la Zona Panamericana del estado Mérida, Venezuela. Fuente: Elaboración Propia.

Se afirma que, con base en el método de la línea de pobreza, en el estado Mérida para febrero de 1999, los hogares presentan una pobreza extrema de 20,4%, una pobreza total o crítica del 27,4% y el 52,2% de los hogares estaban fuera de la pobreza. Al sumar pobreza extrema y total se reconoce un 47,8% de pobres en el estado para 1999, que

estaba por debajo del promedio nacional. Reporta para la Zona Panamericana los siguientes índices: pobreza extrema 26,3%, pobreza total 30% y fuera de la pobreza 43,7%, lo que representaba un 56,3% de pobreza en la Zona Panamericana. Al analizar los índices de analfabetismo en la Zona Panamericana la incidencia era de 42,8% en los hogares de pobreza extrema, 20% en los hogares de pobreza crítica y 13% en los hogares fuera de la pobreza.

El autor no ha encontrado otro documento más reciente referente a estudios socioeconómicos en la Zona Panamericana del estado Mérida, del rigor científico y metodológico que el realizado por IIES (1999), y lo asume como la mejor aproximación a las condiciones socioeconómicas en la zona de estudio.

1.5 Los prototipos de lagunas implementados en la Zona Panamericana.

Los prototipos de lagunas implementados en el medio rural de la Zona Panamericana del estado Mérida son lagunas facultativas en sistemas de dos (2) lagunas en serie o una (1) única laguna. La secuencia de operaciones y procesos más frecuente es:

1. Cribado. Se realiza en la misma tanquilla de entrada.
2. Laguna facultativa primaria.
3. Laguna facultativa secundaria.
4. Desinfección. Para este proceso se instala una caseta de cloración.

Otra secuencia de operaciones y procesos encontrada, sólo en el caso de Caño Amarillo, en los sistemas lagunares de la Zona Panamericana es:

1. Cribado. Se realiza en la misma tanquilla de entrada.
2. Laguna facultativa única.
3. Desinfección mediante una caseta de cloración.

La Tabla 1.1 presenta información sobre los sistemas de lagunas construidos en la Zona Panamericana del estado Mérida. Se observa que estas obras hidrosanitarias fueron ejecutadas con buena ingeniería en cuanto a materiales, métodos constructivos y acabados. Todas las lagunas son revestidas, en fondo y taludes con losas de hormigón armadas con mallas electrosoldadas. Por lo general el área que ocupa el sistema de lagunas está cercado para aislarlo, y así evitar que animales y personas tengan libre acceso a las lagunas. Las Figuras 1.2, 1.3 y 1.4 presentan el sistema de lagunas de estabilización construido en Caño Seco, municipio Alberto Adriani del estado Mérida.



Figura 1.2 Tanquilla de entrada. Sistema de lagunas de Caño Seco, municipio Alberto Adriani, Zona Panamericana del estado Mérida.



Figura 1.3 Primera laguna facultativa, vista aguas arriba. Sistema de lagunas de Caño Seco, municipio Alberto Adriani, Zona Panamericana del estado Mérida.



Figura 1.4 Segunda laguna facultativa, vista aguas abajo. Se observa la caseta de cloración para desinfección. Sistema de lagunas de Caño Seco, municipio Alberto Adriani, Zona Panamericana del estado Mérida.

Las Figuras 1.5, 1.6 y 1.7 presentan el sistema de lagunas de Caño Amarillo, municipio Alberto Adriani, Zona Panamericana del estado Mérida.



Figura 1.5 Tanquilla de entrada. Sistema de lagunas de Caño Amarillo, municipio Alberto Adriani, Zona Panamericana, estado Mérida.



Figura 1.6 Laguna facultativa (única), vista aguas abajo. Sistema de lagunas de Caño Amarillo, municipio Alberto Adriani, Zona Panamericana, estado Mérida.



Figura 1.7 Laguna facultativa (única), vista aguas arriba. Sistema de lagunas de Caño Amarillo, municipio Alberto Adriani, Zona Panamericana, estado Mérida.

Las Figuras 1.8, 1.9 y 1.10 muestran el sistema de lagunas de Guayabones, municipio Obispo Ramos de Lora, Zona Panamericana, estado Mérida. Es importante destacar que este sistema con frecuencia desborda por incorporación de aguas pluviales al sistema de cloacas sanitarias.



Figura 1.8 Tanquilla de entrada. Sistema de lagunas de Guayabones, municipio Obispo Ramos de Lora, Zona Panamericana, estado Mérida. Se puede observar dentro de la tanquilla material de grava que ingresa al alcantarillado por incorporación de aguas pluviales.



Figura 1.9 Laguna facultativa primaria, vista aguas arriba. Sistema de lagunas de Guayabones, municipio Obispo Ramos de Lora, Zona Panamericana, estado Mérida. Se observan los efectos de un desbordamiento reciente por incorporación de aguas de lluvia al sistema.



Figura 1.10 Laguna facultativa secundaria, vista aguas abajo. Sistema de lagunas de Guayabones, municipio Obispo Ramos de Lora, Zona Panamericana, estado Mérida. Se observa la caseta de cloración para desinfección del efluente.

Las Figuras 1.11 y 1.12 presentan el sistema lagunar de El Pinar, municipio Caracciolo Parra y Olmedo de la Zona Panamericana, estado Mérida.



Figura 1.11 Laguna primaria de la población de El Pinar, municipio Caracciolo Parra, Zona Panamericana, estado Mérida.

Tomada de Mejías (2008).



Figura 1.12 Laguna secundaria de la población de El Pinar, municipio Caracciolo Parra, Zona Panamericana, estado Mérida.

Tomada de Mejías (2008).

Si bien se observa cierta sistematización en la topología de las lagunas de estabilización implementadas, el autor no ha encontrado evidencia de la existencia de alguna publicación oficial del entonces Ministerio de Sanidad y Asistencia Social (MSAS) o de alguna de sus direcciones incumbentes en el tema, que apunte a la estandarización de estos sistemas en un “Manual” ó una “Guía Metodológica”. Vale la pena referir y recordar la existencia del muy útil y famoso “Manual de acueductos rurales” del MSAS.

1.5.1 Reflexiones sobre la configuración de entrada y salida de los prototipos implementados.

Llama la atención en la configuración de las lagunas de estabilización la muy peculiar manera de ingreso y salida del agua en las mismas. El ingreso se realiza mediante dos tuberías de HF que salen de la tanquilla aguas arriba, en esviaje y se extienden sobre la superficie de las lagunas hasta descargar aproximadamente a un tercio de su longitud. La Figura 1.13 ilustra la situación descrita.



Figura 1.13 Tuberías de entrada a las lagunas. Sistema de lagunas de estabilización de Caño Seco, municipio Alberto Adriani, Zona Panamericana, estado Mérida.

La salida se hace mediante una tubería colocada a nivel superficial, con una “T” abierta colocada verticalmente, por todo el eje central desde aproximadamente el último tercio de la laguna hasta la tanquilla aguas abajo.

La Figura 1.14 presenta la condición de salida descrita. Unas condiciones tales de entrada y salida, puede implicar que el primer y tercer tercio de la laguna tiendan a un comportamiento hidráulico deficiente con velocidades bajas o nulas que favorecen la formación de zonas muertas de deposición de materia particulada.

Lo anterior, con base en la teoría de reactores, puede implicar que el volumen útil de la laguna se reduce en la práctica al tercio medio de la misma, disminuyendo considerablemente el tiempo medio de residencia y por lo tanto el desempeño del sistema. Las Figuras 1.3 y 1.4 ilustran esta condición.



Figura 1.14 Tubería de salida de las lagunas. Sistema de lagunas de estabilización de Caño Seco, municipio Alberto Adriani, Zona Panamericana, estado Mérida.

Estas particulares condiciones de entrada y salida son en esencia el motivo y la necesidad de la evaluación hidrodinámica propuesta en esta investigación.

1.6 Antecedentes

Pinos y Malo (2018) mediante la revisión crítica de la bibliografía secundaria y la literatura académica, discuten el asunto del agua como un derecho humano basado en el análisis del Foro Mundial del Agua (FMA) que involucra a los sectores público, privado y científico, y al sector de la gestión de recursos hídricos en Latinoamérica. Destacan la importancia del FMA y su efecto en la comunidad internacional. Sostienen que Latinoamérica presenta tres modelos de gestión del agua: privatización, gestión gubernamental y gestión comunitaria. A través de la presentación y análisis somero de una serie de casos, ponen de manifiesto el carácter transversal de los problemas que afectan a la gestión eficiente del agua, sometido a retos y limitaciones.

CEPAL (2014) describe las políticas públicas en agua potable y saneamiento de 22 países de América Latina y el Caribe: su marco normativo, planes sectoriales y la institucionalidad existente. Califica a Venezuela como el país más urbanizado de la región con un 94% de su población habitando en centros urbanos. En el marco de la reforma integral del Estado a principios de los años noventa, se inició en Venezuela el proceso de modernización del sector con la creación de la Compañía Anónima Hidrológica Venezolana (HIDROVEN), como casa matriz, y diez Empresas Hidrológicas Regionales (EHR), concebidas con carácter transitorio, con la responsabilidad de prestar

el servicio y con la misión de promover la transferencia futura de los mismos a los gobiernos locales. Como ya se ha comentado este proceso descentralizador fue revertido a partir del año 1.999.

La Red Centroamericana de Acción (FANCA por sus siglas en inglés) es una red de organizaciones sociales, locales y nacionales, que promueve la incidencia de estos actores en los procesos de elaboración de políticas y estrategias en torno al agua, en todos los niveles. FANCA ante la necesidad de conocer más acerca de estas experiencias, y con el propósito de determinar sus potencialidades, fortalezas y necesidades, decidió hacer una primera sistematización sobre el modelo de gestión integrada del recurso hídrico que desarrollan en Centroamérica y determinar su potencial como alternativa viable para resolver los problemas de abastecimiento de agua potable y saneamiento, así como instrumento del desarrollo sustentable en la región (FANCA, 2007).

Mejías (2008) desarrolla una propuesta de un modelo de gestión sostenible para las lagunas de estabilización como herramienta para el saneamiento en el medio rural de la Zona Panamericana del estado Mérida, Venezuela. El modelo propuesto contempla tres ejes: 1) una propuesta técnica, en donde se desarrolla un diagnóstico técnico que permite determinar el desempeño, las condiciones operativas de los sistemas lagunares, y se identifican algunas propuestas de solución para garantizar la operatividad en el tiempo; 2) un análisis y evaluación de las propuestas técnicas donde se identifican algunas alternativas y por medio de un indicador financiero se encuentra la alternativa más viable para el caso en estudio; y 3) una propuesta organizacional en donde se identifican los actores presentes en la problemática existente en los sistemas lagunares y en base a la normativa legal existente en el país, se propone la organización que debe encargarse de la gestión del sistema.

Zurbriggen (2014) analiza las políticas de América Latina sobre la gestión del agua potable y el saneamiento. Inicialmente argumenta y explica cómo la prestación de los servicios bajo la gobernanza neoliberal (mercado, privatización, nueva gerencia pública), en los años 90, no tuvo los resultados esperados en términos de cantidad, de calidad y de acceso democrático a los mismos. Manifiesta que la gestión comunitaria del agua tiene una larga tradición histórica en comunidades indígenas y campesinas en América Latina. Sostiene que, en el presente milenio, la región vive una revalorización del papel del Estado y de las formas tradicionales de la gestión comunitaria del agua. Afirma que las debilidades históricas de los estados, las consecuencias negativas de las políticas privatizadoras de los años 90 y la ausencia de políticas de apoyo a las formas comunitarias de acceso al agua y al saneamiento demandan avanzar hacia una nueva forma de gestión de los servicios de agua potable y saneamiento, transitando de una gobernanza neoliberal a una gobernanza pública, con un Estado garante del bien público

y del agua como un derecho social. En otras palabras, habrá que avanzar hacia una articulación más estratégica entre el Estado, el mercado y la sociedad.

Barreiro (2015) formula una propuesta de modelo de gestión regional sostenible para sistemas de tratamiento de aguas residuales en los municipios del departamento del Huila en Colombia, ribereños al río Magdalena, el cual impulsa el saneamiento de los cuerpos de agua mediante acciones orientadas a sostener la cobertura de tratamiento de aguas residuales municipales. Afirma que la contaminación hídrica no es exclusiva de los centros urbanos, ya que una alta proporción de las cargas contaminantes son generadas por los vertimientos domésticos de los municipios. Sostiene que una de las principales dificultades para garantizar la operación y el mantenimiento de los sistemas de tratamiento de aguas residuales en Colombia son los limitados recursos financieros por parte de los municipios para la provisión de los servicios de saneamiento, que depende de la existencia de un sistema de infraestructura con tecnología adecuada y de bajo costo energético, para que su operación y mantenimiento no represente un reto financiero para el municipio.

Los lineamientos de la nueva Constitución de la República del Ecuador del año 2008 y la Ley Orgánica de Recursos Hídricos, Usos y Aprovechamientos del Agua (LORHUAA), promulgada en 2014, ponen de manifiesto en ese país una nueva visión de la gestión del sector, con la recuperación y el fortalecimiento del rol rector y regulador del gobierno central, a la vez que enfatizan la responsabilidad de los gobiernos locales por la dotación de los servicios de agua y saneamiento en su jurisdicción. Este nuevo marco legal e institucional sirve de base para la construcción de las políticas, procedimientos y acciones concretas, que permitirán el logro de objetivos de servicios sostenibles y de calidad para toda la población en la República del Ecuador. La nueva constitución estableció un conjunto de principios estructurales, entre los cuales se destacan: consagrar el derecho humano al agua y saneamiento; prohibir toda forma de privatización del agua y establecer que su gestión será exclusivamente pública o comunitaria; afinar y distribuir las competencias; y, además, crea la Autoridad Única del Agua (AUA).

La LORHUAA, profundiza en muchos aspectos la reforma del sector, enfatizando los derechos y obligaciones del Estado, usuarios y consumidores con respecto al agua y sus servicios asociados, en especial los de riego y de prestación de agua y saneamiento. Crea un Sistema Nacional Estratégico del Agua; define y afina el marco para la gestión comunitaria; establece prioridades para el accionar de la AUA y reconoce y establece funciones para la Agencia de Regulación y Control del Agua (ARCA), un ente regulador separado del rector. Sobre la base de una revisión de la evolución histórica de la institucionalidad sectorial hasta llegar a este nuevo marco, BID (2018)¹ documenta las profundas modificaciones introducidas por la nueva constitución del Ecuador y la LORHUAA.

El BID (2018)² presenta los lineamientos para la gestión social, desarrollados para acompañar la ejecución de proyectos de agua potable y saneamiento (APyS) en comunidades rurales de la República del Ecuador, como una herramienta a partir de la cual la Secretaría del Agua pretende asegurar la aplicación de procesos sociales y técnicos de manera adecuada y simultánea en la implementación de los proyectos. Estos lineamientos tienen el propósito de contribuir a mejorar la calidad de vida en el sector rural, con la entrega de un servicio de calidad para el consumo de agua potable e implementación de sistemas de saneamiento adecuados. Con esta publicación, se busca la articulación sistemática del ámbito comunitario e institucional entre la Secretaría del Agua, los gobiernos autónomos descentralizados municipales y los prestadores de servicio de APyS comunitario. Propone establecer espacios de diálogo, sensibilización y capacitación, encaminados a fortalecer las capacidades de los actores involucrados tomando en cuenta el contexto social, cultural, económico y ambiental para la formulación, ejecución, operación y mantenimiento de los sistemas.

Gomes et al (2016) presentan una revisión de la compilación y análisis de 28 artículos publicados basados en el uso de la dinámica computacional de fluidos (DCF) en lagunas de estabilización no mecanizadas (anaerobias, facultativas, maduración y pulimento). El énfasis del análisis se hace en los principales aspectos de los modelos, los métodos utilizados, así como los principales resultados y conclusiones de los estudios. Después de una introducción de las herramientas y a los resúmenes de las publicaciones, se establece una breve descripción sobre los puntos claves de las prácticas de modelaje adoptadas, con la intención de identificar los principales métodos usados, intervalos y tendencias, y sugieren, cuando es posible, buenas prácticas para el modelado.

La Tabla 1.2 presenta una selección de cuatro (4) de los 28 artículos revisados por Gomes et al (2016), que tienen relación directa con esta investigación. En la Tabla 1.2 se pueden observar experiencias en el uso de diferentes modelos basados en dinámica computacional de fluidos (FIDAP, MIKE21, SMS y CFX), en el estudio y diseño de lagunas de estabilización, contemplando diferentes configuraciones de entrada y salida, así como el uso de deflectores. Estas experiencias han sido realizadas sin análisis de sensibilidad ni calibración/validación previa.

Esos ejemplos y sus condiciones de implementación, representan antecedentes que justifican el uso de modelos basados en DCF para analizar la hidrodinámica de los prototipos de lagunas emplazados en la Zona Panamericana del estado Mérida.

Tabla 1.2 Artículos revisados por Gomes et al (2016), que tienen relación directa con esta Investigación. Elaboración Propia a partir de la publicación citada.

Referencia	Claves del Estudio	Tipo de Modelo	Modelo Usado	Análisis de Sensibilidad	Calibración Validación
Wood et al (1995)	Presenta y explora el potencial de la DFC como nueva herramienta para el diseño de lagunas.	2D/SS	FIDAP Fluid Dynamics Analysis Program	No	No
Persson (2000)	Evalúa parámetros hidráulicos y el efecto de 13 diferentes geometrías de deflectores, entradas y salidas sobre el desempeño hidrodinámico de hipotéticas lagunas.	2D/SS	MIKE 21 Danish Hydraulic Institute	No	No
Abbas et al (2006)	Estudia diferentes geometrías y configuraciones de deflectores en hipotéticas lagunas	2D/SS	Surface Water Modelling System (SMS)	No	No
Souza et al (2012)	Simula hipotéticas lagunas facultativas con diferentes configuraciones de deflectores	3D/SS	ANSYS CFX Compound File Explorer	No	No

Butler et al (2017) presenta una revisión bibliográfica donde examina los procesos, los criterios de diseño, y los costos de implementación de lagunas de estabilización para el tratamiento de aguas residuales municipales. Manifiesta que las lagunas de estabilización representan una opción biotecnológica muy eficiente en términos de costos de construcción, operación y mantenimiento, y requerimientos energéticos. Refiere que el efluente de estas lagunas puede ser utilizado en otros procesos productivos. Finalmente concluye que las lagunas de estabilización constituyen un método sostenible para el tratamiento de aguas residuales. Este artículo confirma lo acertado de utilizar lagunas de estabilización en el saneamiento del medio rural, por sus bondades desde el punto de vista constructivo, operacional y de mantenimiento, así como la posibilidad de establecer sistemas integrados basados en el reúso de sus efluentes y subproductos.

Ho et al (2017) presenta una revisión crítica de los modelos de diseño de lagunas de estabilización, basado en el análisis de más de 150 artículos, libros de texto

especializados y reportes técnicos publicados entre 1956 y 2016. El análisis contempla modelos empíricos (carga y flujo disperso), modelos cinéticos de primer orden y modelos basados en Dinámica Computacional de Fluidos. De esta exhaustiva revisión bibliográfica durante unos cincuenta años, se deduce la importancia de las lagunas de estabilización a nivel mundial en el saneamiento ambiental, así como los variados y novedosos modelos para su dimensionamiento y análisis.

Los antecedentes referenciados permiten definir un marco general de aproximación al estado en que se encuentran temas tan importantes como el agua como un derecho humano, políticas públicas regionales sobre el sector agua potable y saneamiento, la gestión integrada del recurso hídrico, los modelos de gestión sostenible para lagunas de estabilización y plantas de tratamiento de aguas residuales municipales, las políticas de américa latina sobre la gestión del sector agua potable y saneamiento, lineamientos para la gestión social, así como el uso y la importancia de la dinámica computacional de fluidos para el estudio de lagunas de estabilización, sus criterios de diseño y sus costos de implementación. Estos temas son importantes referentes para el logro de los objetivos planteados en esta investigación.

1.7 Contenido de la investigación.

En el primer capítulo se hace un recuento histórico sobre el saneamiento en Venezuela, con énfasis en el medio rural venezolano, como un preámbulo para plantear la necesidad de realizar esta investigación. Luego se plantean los objetivos del trabajo. Seguidamente se plantea la metodología a seguir para el logro de los objetivos planteados. A continuación, se describen la Zona Panamericana del estado Mérida, los prototipos de lagunas implementados y los antecedentes de la investigación. Como se dijo al inicio, este primer capítulo está basado y sustentado en los siguientes documentos:

1. Plan de Formación Doctoral. Aprobado por la Comisión de Admisión el 08-06-2018.
2. Anteproyecto de Tesis. Aprobado conforme al Acta de Defensa el 25-06-2019.

El desarrollo de este capítulo generó además las siguientes publicaciones:

3. Espinosa, C., 2020. Lagunas de estabilización en el medio rural venezolano. Caso: Zona Panamericana de los Estados Mérida y Trujillo. Trabajo de Ingreso a la Ilustre Academia Nacional de la Ingeniería y el Hábitat de Venezuela. Aprobado mediante Resolución de la Junta de Individuos de Número No. 272/20 del 10/11/20. Palacio de las Academias, Caracas, Venezuela. Disponible en: (https://www.acading.org.ve/info/publicaciones/TRABAJOS_INCORPORACION/TI_CARLOS_ESPINOSA.pdf);

4. Espinosa, C. 2021. Lagunas de estabilización en el medio rural de la zona Panamericana de los estados Mérida y Trujillo, Venezuela. Libro publicado por el Sello Editorial de la Academia Nacional de la Ingeniería y el Hábitat de Venezuela. ISBN 978-980-18-2130-4. Caracas, Venezuela.

En el segundo capítulo se desarrolla el marco teórico de la investigación, que contiene los conceptos y el conocimiento necesarios para sustentar el trabajo. Está basado fundamentalmente en revisión bibliográfica y experiencias propias del autor.

El tercer capítulo se centra en el estudio hidrodinámico de los prototipos de lagunas implementados en el medio rural de la Zona Panamericana del estado Mérida, dadas las muy particulares condiciones de entrada y salida. El estudio, basado en dinámica computacional de fluidos, (DHI, 2017) (MIKE 21 FM), se focaliza en estudiar las diferentes condiciones de diseño, específicamente la localización de los dispositivos de entrada y salida de agua en los prototipos implementados. Con los resultados del estudio hidrodinámico se plantean modificaciones en la localización de los dispositivos de entrada y salida para mejorar la hidrodinámica, y por lo tanto mejorar el diseño. El desarrollo del tercer capítulo generó las siguientes publicaciones: 1. Espinosa, C., Ramírez, S., Jégat, H y Barreto, W., 2020. Estudio hidrodinámico de las condiciones de entrada y salida de lagunas de estabilización implementadas en el medio rural venezolano. Caso Zona Panamericana del estado Mérida, Venezuela. Revista de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Central de Venezuela. N°1, Vol. 35, 2020. 2. Ramírez, S., Espinosa, C., Jégat, H. y Barreto, W., 2021. Estudio hidrodinámico de lagunas de estabilización implementadas en el medio rural de la Zona Panamericana del estado Mérida, Venezuela. Revista Ciencia e Ingeniería. Vol. 42, No. 1 pp. 113-126, diciembre-marzo, 2021. Universidad de los Andes, Venezuela. 3 Ramírez (2021). "Estudio hidrodinámico de lagunas de estabilización implementadas en la Zona Panamericana del estado Mérida, Venezuela". Trabajo Especial de Grado de Especialista en GSARTA. Universidad de Los Andes. Mérida, Venezuela.

En el cuarto capítulo se presenta la conceptualización del modelo de gestión propuesto para las lagunas del medio rural de la Zona Panamericana del estado Mérida. El modelo de gestión propuesto se basa en el triángulo de la sostenibilidad, contemplando aspectos ambientales, aspectos sociales y aspectos técnico-económicos. El desarrollo de este capítulo generó la siguiente publicación: Espinosa, C., Ramírez, S., Mejías, M., Jégat, H. y Bachá, M. 2021. Conceptualización de un Modelo de Gestión para lagunas de estabilización en el medio rural venezolano. Caso: Zona Panamericana del estado Mérida, Venezuela. Revista Ciencia e Ingeniería. Vol. 42, No. 2 pp. 179-190, abril-julio, 2021. Universidad de los Andes, Venezuela.

El capítulo quinto ilustra la implementación del modelo de gestión propuesto en la población de El Pinar, parroquia Florencio Ramírez, municipio Caracciolo Parra y Olmedo de la Zona Panamericana del estado Mérida, Venezuela. El desarrollo de este capítulo generó la siguiente publicación: Espinosa, C., Ramírez, S., Mejías, M., Jégat, H. y Barreto, W. 2021. Implementación de un Modelo de Gestión de lagunas de estabilización en el medio rural venezolano. Caso: El Pinar, Zona Panamericana del estado Mérida, Venezuela. Revista Ciencia e Ingeniería. Vol 42, N°3 pp.263-274, agosto-noviembre. Universidad de los Andes, Venezuela.

El capítulo sexto contiene las reflexiones, conclusiones y recomendaciones sobre la investigación realizada.

1.8 Bibliografía.

Barone, F. 1995. Marco histórico del programa nacional de acueductos rurales en Venezuela. I Taller de participación comunitaria, HIDROVEN, Gerencia de Comercialización. Caracas, Venezuela.

Barreiro, A. 2015. Propuesta de Modelo de Gestión Regional Sostenible para Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales en los Municipios del Huila, Ribereños al Río Magdalena. Trabajo de Grado para Optar al Título de Ingeniero Ambiental y Sanitario. Universidad de La Salle. Facultad de Ingeniería. Programa de Ingeniería Ambiental y Sanitaria. Bogotá D.C.

BID 2018¹. Evolución reciente y perspectivas de los servicios de agua potable y alcantarillado en Ecuador. División Agua y Saneamiento. NOTA TÉCNICA N.º IDB-TN-01443. Elaborado por: Diego Fernández, Helder Solís y Marcello Basani. Washington, D.C., Estados Unidos de América.

BID 2018². Lineamientos para la gestión social en proyectos de agua potable y saneamiento en comunidades rurales. Banco Interamericano de Desarrollo. Primera Edición. Quito, Ecuador.

Butler, E., Yung-Tse, H., Suleiman, M., Yu-Li Yeh, R., Lian-Huey Liu, R. and Yen-Pei, F. 2017. "Oxidation pond for municipal wastewater treatment". Review Article. Appl Water Sci (2017) 7:31–51. UK.

CAF 2015 Banco de Desarrollo de América Latina. El futuro de los servicios de agua y saneamiento en América Latina. Documento elaborado por Maureen Ballester, Abel Mejía-Betancourt, Víctor Arroyo y Carlota Real. Documento para discusión. Corporación Andina de Fomento, Quito, Ecuador.

- CEPAL 2014. Políticas e institucionalidad en materia de agua potable y saneamiento en América Latina y el Caribe. Comisión Económica para América Latina. Documento elaborado por Franz Rojas Ortuste. Santiago, República de Chile.
- DHI 2017. MIKE21 Flow Model. Hydrodynamic Module. User Guide. Danish Hydraulics Institute. Copenhagen, Denmark.
- FANCA 2007. Las juntas de agua en Centroamérica. Red Centroamericana de Acción. Revista Biocenosis. Vol. 20 (1-2).
- Gomes, R., Dias, D., von Sperling, M. 2016. Review of practical aspects for modelling of stabilization ponds using Computational Fluid Dynamics. Environmental Technology Reviews, Vol. 5, No. 1, pp. 78–102. UK.
- Gutiérrez, A. 1998. Tiempos de guerra y paz. Arnoldo Gabaldón y la investigación sobre la malaria en Venezuela 1936-1990. ISBN: 980-00-1394-6. Centro de Estudios del Desarrollo. Universidad Central de Venezuela. Caracas. Venezuela.
- Ho, L.T., Van Echelpoel, W., Goethals, P.L.M., 2017. Design of waste stabilization pond systems: A review, Water Research, doi: 10.1016/j.watres.2017.06.071.
- IIES 1999. Plan Estratégico a largo plazo Mérida Estado Competitivo 2020. Convenio ULA-PDVSA. *Instituto de Investigaciones Económicas y Sociales*. Facultad de Ciencias Económicas y Sociales. Universidad de Los Andes. Mérida, Venezuela.
- INES 2013. Censo Nacional de Población y Vivienda del Año 2011. Instituto Nacional de Estadística. Ministerio de Planificación. República Bolivariana de Venezuela. Caracas. Venezuela.
- Mejías, M. 2008. Propuesta de un modelo de gestión para lagunas de estabilización. Caso Zona Panamericana del estado Mérida. Tesis para optar al grado de Magíster Scientiae en Gestión de los Recursos Naturales y Medio Ambiente con énfasis en Evaluación de Impacto Ambiental. Centro Interamericano de Desarrollo e Investigación Ambiental y Territorial. Universidad de los Andes. CIDIAT-ULA. Mérida. Venezuela.
- OPS 1997. Propuestas para el mejoramiento financiero, físico e institucional de los sistemas de saneamiento básico a nivel de las comunidades rurales. Organización Panamericana de la Salud. Programa de Saneamiento Básico Rural. Documento elaborado por las Ingenieras Ángela González Landazábal y Mariana Núñez Vargas. Caracas, Venezuela.

- OPS 2018. Indicadores Básicos: Situación de Salud en Las Américas. Organización Panamericana de la Salud. Organización Mundial de la Salud. Oficina Regional para Las Américas. Washington, D.C., Estados Unidos de América.
- Pinos, J. y Malo, A. 2018. El derecho humano de acceso al agua: una revisión desde el Foro Mundial del Agua y la gestión de los recursos hídricos en Latinoamérica. INVURNUS. Vol. 13 No. 1 (2018): 12-20. Disponible en: <https://www.researchgate.net/publication/322962621>
- Rengel M 1977. Lagunas de Estabilización para el Tratamiento de Aguas Residuales de Origen Doméstico. Experiencia Venezolana. *Serie Ambiente y Recursos Naturales* N°AR-5. Casa Editora CIDIAT. Mérida, Venezuela.
- Zurbruggen, C. 2014. Políticas latinoamericanas en la gestión del agua: De la gobernanza neoliberal a una gobernanza pública. *Agua Y Territorio*, Núm. 3, pp. 89-100, Enero-Junio 2014, Universidad De Jaén, Jaén, España Issn 2340-8472 Eissn 2340-7743.

www.bdigital.ula.ve

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 El Desarrollo Sostenible y la Agenda 2030 del Desarrollo Sostenible de la Organización de las Naciones Unidas

El modelo de desarrollo implementado por el mundo industrializado, ha generado importantes desequilibrios ambientales y enormes brechas sociales, económicas y de desarrollo humano en el planeta. Lo anterior hace necesario transformar el paradigma de desarrollo actual en uno que nos lleve por la vía del desarrollo sostenible, inclusivo y con visión de largo plazo (CEPAL, 2016).

La Agenda 2030 del Desarrollo Sostenible, aprobada por la Asamblea General de las Naciones Unidas en el año 2015, constituye una visión transformadora hacia la sustentabilidad económica, social y ambiental de los estados miembros, y es la hoja de ruta de las Naciones Unidas para el logro de esta visión transformadora. La Agenda establece los 17 Objetivos del Desarrollo Sostenible (ODS), en temas altamente prioritarios, como la reducción de la desigualdad, un crecimiento económico inclusivo, el derecho al agua potable y al saneamiento, ciudades sostenibles y cambio climático, entre otros. La Agenda 2030 es un instrumento civilizatorio, que se centra en la dignidad y la igualdad de las personas (CEPAL, 2016).

El sexto objetivo de la Agenda 2030 del Desarrollo Sostenible plantea “garantizar la disponibilidad de agua y su gestión sostenible y el saneamiento para todos”. Alcanzar este objetivo implica el logro de seis (6) metas, a saber:

1. Para el año 2030 lograr el acceso universal y equitativo al agua potable a un precio asequible para todos.
2. Para el año 2030 lograr el acceso a servicios de saneamiento e higiene adecuados y equitativos para todos y poner fin a la defecación al aire libre, prestando especial atención a las necesidades de las mujeres y las niñas y las personas en situaciones de vulnerabilidad.
3. Para el año 2030 mejorar la calidad del agua reduciendo la contaminación, eliminando el vertimiento y minimizando la emisión de productos químicos y materiales peligrosos, reduciendo a la mitad el porcentaje de aguas residuales sin tratar y aumentando considerablemente el reciclado y la reutilización sin riesgos a nivel mundial.

4. Para el año 2030 aumentar considerablemente el uso eficiente de los recursos hídricos en todos los sectores y asegurar la sostenibilidad de la extracción y el abastecimiento de agua dulce para hacer frente a la escasez de agua y reducir considerablemente el número de personas que sufren falta de agua.
5. Para el año 2030 implementar la gestión integrada de los recursos hídricos a todos los niveles, incluso mediante la cooperación transfronteriza, según proceda.
6. Para el año 2030 proteger y restablecer los ecosistemas relacionados con el agua, incluidos los bosques, las montañas, los humedales, los ríos, los acuíferos y los lagos.

2.2. El Derecho Humano al Agua Potable y el Derecho Humano al Saneamiento

La Conferencia General de las Naciones Unidas, reunida el 25-11-2015 en la ciudad de Nueva York, EUA, aprobó en su tercera comisión, adoptar un nuevo texto basado en la Resolución 68/157 de 2013, en el cual se reconocen el derecho humano al agua potable y el derecho humano al saneamiento, como dos derechos humanos fundamentales por separado.

En el año 2016 el Secretario General de la Organización de Naciones Unidas expresó: “884 millones de personas en el mundo carecen de acceso seguro al agua potable y 2.600 millones carecen de acceso a un saneamiento básico, lo que supone un 40% de la población mundial. El agua potable segura y un saneamiento adecuado son cruciales para la reducción de la pobreza, para un desarrollo sostenible” (BID, 2018).

2.3. Gestión Integral de Recursos Hídricos

La gestión integral de recursos hídricos (GIRH) tiene su fundamento en cuatro (4) principios, a saber:

- i. El agua es un recurso finito y como tal debe ser considerado en su Gestión.
- ii. La gestión debe tomar en cuenta a todos los actores involucrados, lo que implica una gestión participativa.
- iii. La mujer juega un papel fundamental en la provisión, el manejo, la protección y el uso racional del recurso y por lo tanto en la gestión.
- iv. El agua tiene un valor económico, lo cual implica que intrínsecamente el agua en su gestión es un bien social y un bien económico.

La gestión integral de recursos hídricos (GIRH) es un marco general de actuación y persigue dos objetivos fundamentales:

- i. Garantizar la conservación y uso sustentable de las aguas, a fin de satisfacer necesidades humanas, ambientales y demanda generada por procesos productivos de un país.
- ii. Prevenir y controlar posibles efectos negativos de las aguas sobre la población y sus bienes.

El desafío de la GIRH es la integración del sistema natural del agua con el sistema socio-económico-político del hombre.

2.4. Marco Legal de la Gestión Integral de Recursos Hídricos en Venezuela.

El marco legal vigente en Venezuela de la GIRH, en los aspectos vinculantes con esta investigación, es el siguiente:

1. “Constitución de la República Bolivariana de Venezuela”. Artículos 127°, 128° y 129°. “Es una obligación fundamental del Estado, con la activa participación de la sociedad, garantizar que la población se desenvuelva en un ambiente libre de contaminación, en donde el aire, el agua, los suelos, las costas, el clima, la capa de ozono, las especies vivas, sean especialmente protegidos, de conformidad con la Ley”. La Constitución Nacional de Venezuela del 1999 plantea el agua como bien de dominio público, no privatizable, con clara visión de inclusión, gestión comunitaria y acceso universal a los servicios.
2. “Ley Orgánica para la prestación de los servicios de agua potable y saneamiento”. Artículo 1°. “La presente Ley tiene como objeto regular la prestación de los servicios públicos de agua potable y de saneamiento, establecer el régimen de fiscalización, control y evaluación de tales servicios y promover su desarrollo, en beneficio general de los ciudadanos, de la salud pública,...”
3. La “Ley de Aguas” del 2007 busca: a) promover la cohesión y equidad territorial; b) desconcentrar actividades y población; c) tomar ventaja de las fortalezas regionales creando correlación entre ellas; y específicamente en cuanto al agua potable y saneamiento, d) fomentar una gestión del recurso más social y participativa.
4. El “Plan de la Patria 2019-2025” (*) plantea “asumir la defensa de los recursos hídricos como un tema de máximo interés nacional, tanto la conservación y preservación de las cuencas hidrográficas, cursos y cuerpos de agua, así como aquellos temas derivados del derecho internacional que puedan afectar a estos. Desarrollar el marco jurídico, así como los planes de manejo, para asumir el agua como un recurso estratégico nacional. Fortalecer la salvaguarda del agua como patrimonio nacional de toda la población, así

como la prohibición de privatización de las fuentes hídricas, cuerpos de agua o la gestión de los mismos. Desarrollar una política internacional de preservación de las cuencas hidrográficas con las que está asociada Venezuela, a fin de garantizar su preservación. Establecer mecanismos de monitoreo, evaluación y seguimiento de la normativa internacional de protección de cuencas hidrográficas, así como de la afectación de la biodiversidad, degradación de suelos y procesos de sedimentación en territorio venezolano. Establecer mecanismos conjuntos de protección de la biodiversidad, preservación y reforestación de cuencas internacionales. Desarrollar una política integral de utilización y disfrute de los recursos naturales, basada en el respeto por la naturaleza, que garantice la conservación, protección y sustentabilidad de la diversidad biológica y el sistema hídrico nacional. Desarrollar una política integral de protección y reforestación de cuencas, con especial énfasis en las cuencas que tributan a embalses con fines de generación eléctrica y agua potable para ciudades. Asegurar el mantenimiento preventivo y correctivo de los embalses de agua para el consumo humano y el riego. Recuperar, ampliar y mantener el sistema nacional de tratamiento y distribución de agua potable. Desarrollar y ampliar los sistemas adecuados para la recolección, circulación y tratamiento de aguas servidas previa su incorporación a otros cuerpos de agua. Fortalecer y expandir las Salas de Gestión Comunitaria, Mesas Técnicas de Agua y otras formas de organización popular para la gestión ecosocialista del agua”.

5. “Normas Sanitarias de Calidad Del Agua Potable” Ministerio de Sanidad y Asistencia Social. Gaceta Oficial de la República de Venezuela N° 36.395 de fecha 13-02-98. Se definen para Venezuela las concentraciones máximas permitidas de parámetros físico-químicos, organolépticos y biológicos para la calidad del agua de consumo humano.
6. “Normas para la Clasificación y el Control de la Calidad de los Cuerpos de Agua y Vertidos o Efluentes Líquidos”. Decreto 883 de fecha 11-10-95. Gaceta Oficial de la República de Venezuela No. 5.021 Extraordinario del 18 de diciembre de 1995. En especial interesan el Capítulo 2 donde se clasifican las Aguas Naturales y se establecen sus usos potenciales y el Capítulo 3 donde se presenta la Norma de Efluentes a ser descargados a cuerpos receptores.
7. “Ley Orgánica de Los Consejos Comunales” (*). Artículo 1°. “La presente Ley tiene por objeto regular la constitución, conformación, organización y funcionamiento de los consejos comunales como una instancia de participación para el ejercicio directo de la soberanía popular y su relación con los órganos y entes del Poder Público para la formulación, ejecución, control y evaluación de las políticas públicas, así como los planes y proyectos vinculados al desarrollo comunitario”. Asamblea Nacional, Caracas, 26-11-2009.
8. “Ley Orgánica de las Comunas” (*). Artículo 1°. “La presente Ley tiene por objeto desarrollar y fortalecer el poder popular, estableciendo las normas que regulan la

constitución, conformación, organización y funcionamiento de la comuna, como entidad local donde los ciudadanos y ciudadanas en el ejercicio del poder popular, ejercen el pleno derecho de la soberanía y desarrollan la participación protagónica mediante formas de autogobierno para la edificación del estado comunal, en el marco del estado democrático y social de derecho y de justicia”. Asamblea Nacional, Caracas, 13-12-2010.

(*) Esta legislación a juicio de algunos expertos, no se ajusta adecuadamente en el Marco Constitucional vigente.

2.5. La sostenibilidad

Lo sostenible es lo que conlleva a que exista una relación razonable en el tiempo entre lo ambiental, lo social y lo económico, con respaldo legal para lograr garantía de derechos. La Figura 2.1 presenta un diagrama que ilustra esta relación.

Soportable implica que la población haga uso de los recursos naturales con el menor impacto negativo posible para el medio ambiente. Viable significa que sea económicamente posible. Equitativo implica equilibrio entre lo económico y lo social, y que la población tenga acceso a los servicios a costos razonables (BID, 2018).

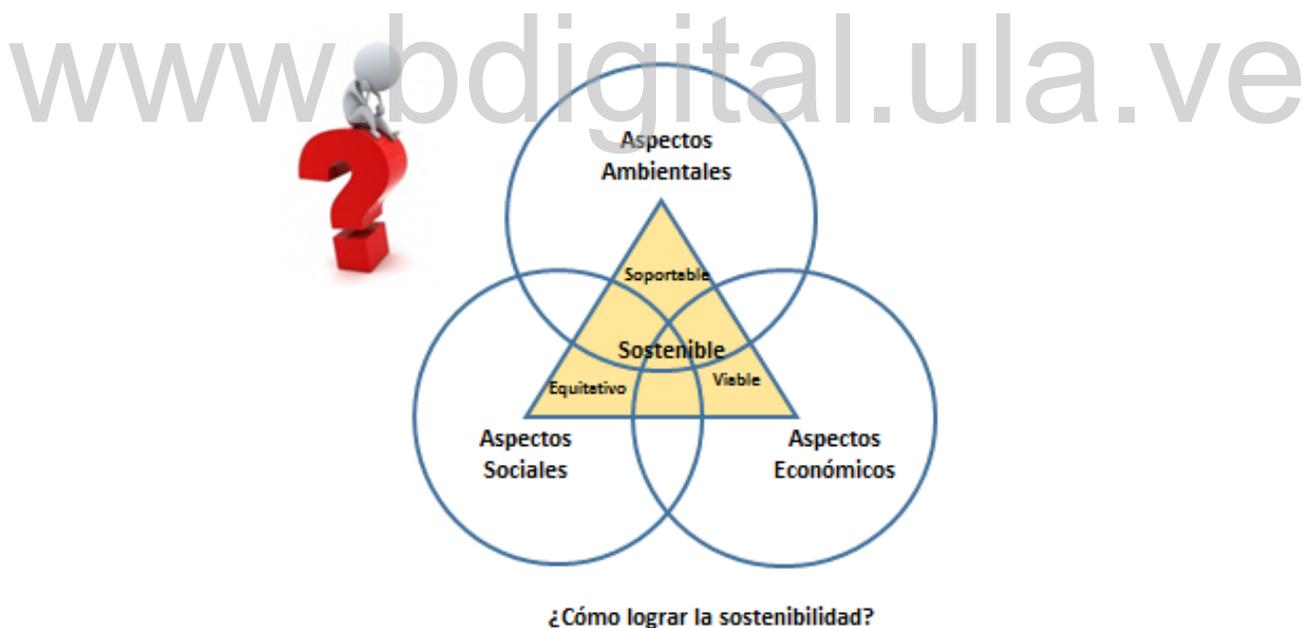


Figura 2.1 La sostenibilidad considerando aspectos ambientales, sociales y económicos.
Fuente: Elaboración Propia.

2.6 Sistemas Integrados para el manejo de las aguas residuales domésticas en el medio rural

Autores como Polprasert (1996), Espinosa (1998) y Espinosa y Foca (2017) se han referido a la conveniencia de implementar los sistemas integrados para el manejo de las aguas residuales domésticas en el medio rural.

Clásicamente, el manejo de las aguas residuales implica su recolección, su depuración y su disposición final. La recolección se realiza mediante alcantarillados o redes de tuberías, la depuración mediante reactores biológicos o químicos y la disposición final en cuerpos receptores. Esta secuencia clásica se plantea para el medio urbano.

En el medio rural este planteamiento no siempre es posible, debido a realidades muy particulares que allí se presentan. Realidades como la población dispersa no nucleada, efluentes agroindustriales con altas cargas orgánicas y altas emisiones másicas, permanente o temporal escasez del recurso hídrico, restricciones del servicio eléctrico y la potencialidad del reúso de los subproductos y los efluentes. En este contexto se presentan los sistemas integrados como una opción que puede perfectamente armonizar las realidades particulares del medio rural con el manejo de las aguas residuales.

La filosofía de los sistemas integrados proviene del medio rural asiático donde se ha practicado por siglos. Los sistemas integrados se definen como una combinación de procesos y prácticas donde el uso óptimo de recursos es logrado vía reciclaje de desechos. El reciclaje de desechos a su vez se alcanza mediante la recuperación y el reúso de los nutrientes y la energía. La aplicación de los Sistemas Integrados permite un buen balance entre la utilización de recursos, el reúso y la protección del ambiente (Espinosa y Foca, 2017). Este balance está ausente en áreas urbanas densamente pobladas, donde el alto consumo y producción de desechos es sostenido por la importación a gran escala de energía y nutrientes hacia el ambiente urbano. En una ciudad por ejemplo, la energía consumida (alimentos, energía eléctrica y combustibles) es producida fuera de la ciudad y de igual manera sus desechos (aguas residuales y basuras) son procesados, depurados y dispuestos fuera de ella. La ausencia de procesos de reúso de energía, nutrientes y otros componentes de valor de los desechos urbanos, ha generado serios problemas de salud pública y del ambiente. Se hace necesario entonces desarrollar conceptos y procesos integrados para la minimización, recuperación y reúso de desechos en áreas urbanas y rurales, en países desarrollados y en vías de desarrollo.

La perspectiva de los sistemas integrados para el manejo de las aguas residuales en el medio rural es prometedora. Mediante la implementación de los sistemas integrados se “minimizan” los desechos orgánicos en el medio rural, ya que se fundamentan en el reúso de efluentes y subproductos. Se requiere para su implementación un cambio de

paradigmas, una nueva concepción de los “desechos”, ya que, bajo esta filosofía, los “desechos” son “subproductos” o insumos de entrada a otros procesos “de producción”. La generación de biogás con alto valor energético (CH_4) puede ser de gran utilidad en un medio rural donde la disponibilidad de energía eléctrica suele ser restringida y costosa. El uso de sólidos biológicos (lodos biológicos de los reactores anaerobios) debidamente procesados y dispuestos en predios agrícolas como mejoradores de suelos, puede aportar fertilidad a los suelos agrícolas y mejorar su estructura. Los efluentes depurados pueden ser reusados en “ferti-irrigación” en predios agrícolas, mejorando el balance hídrico local, especialmente en épocas de estiaje. La biomasa vegetal producida (macrofitas acuáticas) contiene buenos porcentajes proteicos en peso seco, y además son proteínas con apropiados balances de aminoácidos. En Venezuela, actualmente se implementan granjas ecológicas y núcleos de desarrollo endógenos (NUDE), los cuales se fundamentan en la filosofía de los sistemas integrados (Espinosa y Focá, 2017).

2.7. Los modelos basados en dinámica computacional de fluidos

Se considera que la dinámica computacional de fluidos (DCF) moderna se inició en los años cincuenta del Siglo XX (1950's), con el desarrollo de las primeras computadoras. Las herramientas básicas de la DCF para resolver los sistemas de ecuaciones diferenciales parciales son los esquemas de diferencias finitas y los esquemas de elementos finitos, los cuales tienen diferentes orígenes. En 1910 Richardson presentó un artículo ante la Royal Society of London, el cual se considera la primera solución en un esquema de diferencias finitas para el análisis de esfuerzos en una presa de mampostería. En cambio, el primer trabajo basado en un esquema de elementos finitos fue publicado por Turner, Clough, Martin, y Topp en el Aeronautical Science Journal en 1956, para plantear y resolver un análisis de esfuerzos en aeronáutica. Desde entonces ambos métodos han sido extensamente desarrollados en Dinámica de Fluidos, Termodinámica, Análisis Estructural y otras disciplinas (Chung, 2002).

El incremento de la capacidad de procesamiento de las computadoras en las décadas recientes, ha permitido el desarrollo e implementación de sofisticados modelos basados en DCF para el diseño de plantas potabilizadoras y plantas depuradoras de aguas residuales. El uso de modelos bien calibrados, con interfaces versátiles para la preparación de la información requerida, hace posible la evaluación de diferentes configuraciones y escenarios operativos, en mucho menos tiempo que el requerido por modelos físicos -plantas piloto-. Los modelos dinámicos de simulación ofrecen la oportunidad de integrar la hidráulica, los controles y los procesos de tratamiento, en orden de mejorar la coordinación de diseño, identificar soluciones más eficientes, mejorar conocimiento sobre los diferentes sistemas y optimizar sus operaciones (Findikakis, 2016).

Zhang et al (2016) sostienen que el futuro del uso de modelos basados en DCF en tratamiento de aguas residuales mediante lagunas, actualmente está limitado por cuatro aspectos fundamentales:

- i. Poco conocimiento de los procesos físicos, químicos y biológicos involucrados.
- ii. Carencia o incertidumbre en los datos medidos en los sistemas lagunares en operación. Esta información es requerida para la validación de los modelos basados en DCF.
- iii. Limitaciones en las técnicas de modelaje. Por ejemplo, el modelaje de la interacción entre las reacciones químicas y la turbulencia del flujo de agua es hoy un gran reto.
- iv. La curva de aprendizaje del modelaje basado en DCF contempla un amplio espectro de disciplinas como mecánica de fluidos, procesos físicos y químicos, métodos numéricos y computación, entre otras.

2.7.1 El modelo MIKE 21 FM

El modelo MIKE 21 FM fue desarrollado por el Instituto Danés de Hidráulica (DHI). Es una poderosa herramienta de simulación basada en dinámica computacional de fluidos (DCF), capaz de simular procesos físicos, químicos y biológicos en ambientes acuáticos. Entre sus potenciales aplicaciones destacan: evaluación y estudio mediante modelaje de ambientes acuáticos naturales y construidos (lagunas, lagos y embalses), evaluación de condiciones de diseño en estructuras marinas y costeras, diseño de puertos y medidas de protección costera, análisis de dispersión en medios acuáticos, optimización en emisarios submarinos costeros, estudios de impacto ambiental en estructuras marinas, modelación ecológica y optimización de sistemas de producción acuícola, sistemas de alarmas frente a inundaciones costeras, modelación de inundaciones terrestres y escorrentía superficial, entre otros (DHI, 2009, 2017).

Mike 21 FM incluye los siguientes motores de cálculo: malla simple con modelo rectilíneo clásico, mallas múltiples con modelo rectilíneo anidado dinámicamente y malla flexible. Todos los motores de cálculo incluyen paralelización de procesos (DHI, 2009).

Mike 21 FM es un programa modular que permite al usuario utilizar únicamente el ó los módulos que requiere. Para el estudio hidrodinámico de las lagunas se utilizó el módulo hidrodinámico el cual simula las variaciones del nivel de agua y los flujos en ambientes acuáticos como lagos, estuarios y zonas costeras. Para estas simulaciones considera la rugosidad del fondo, el efecto del viento en la superficie, gradientes de presión por profundidad, fuerzas de coriolis, fuentes y sumideros, evaporación, inundaciones y

drenajes, entre otros. Para más detalles del módulo hidrodinámico se refiere al lector a la referencia (DHI, 2020).

2.8 Modelo Organizacional para la gestión de sistemas lagunares: una propuesta.

2.8.1 Antecedentes.

Como fue descrito y explicado en el desarrollo del Capítulo I de esta investigación, se puso en evidencia los poco exitosos modelos organizacionales implementados en la gestión de los sistemas de saneamiento en el medio rural, a fin de garantizar su sostenibilidad. Entre el 2001 y 2005, un grupo de docentes e investigadores del CIDIAT-ULA visitó la Zona Panamericana del estado Mérida para observar la situación precaria de los Sistemas Lagunares construidos y en funcionamiento en ese estratégico e importante sector geográfico del estado. En esas giras técnicas participaron los profesores Armando Cubillos Zárate, Pedro Misle Benítez, José Pérez Roas y Carlos Espinosa Jiménez y el Ingeniero Jorge Rodríguez Ayala, en compañía del Ingeniero Egar de Jesús Pérez del Programa de Cloacas Rurales del MSAS Región Mérida, recién adscrito a SAVIR-MINFRA. Estas giras técnicas generaron en los participantes toma de conciencia del problema que observaron. Posteriormente, en 2006 se propuso la Tesis de Maestría en Gestión de Recursos Naturales Renovables, de la ingeniera químico Mabel Mejías Monsalve. En esa Tesis de Maestría titulada “Propuesta de un modelo de gestión para lagunas de estabilización. Caso: Zona Panamericana del estado Mérida”, participaron Carlos Espinosa Jiménez como TUTOR y José Pérez Roas y Pedro Misle Benítez como ASESORES. Este trabajo de investigación referenciado bibliográficamente como Mejías (2008), es la fuente primaria de la Propuesta Organizacional que a continuación se expondrá.

2.8.2 Metodología

La Figura 2.2 presenta la metodología general establecida para formular el modelo de gestión propuesto por Mejías (2008).

Se realizó un análisis causa-efecto a los principales problemas presentes en los sistemas lagunares, con base en el marco lógico, en donde se esquematizaron las causas y efectos de los problemas. Con el árbol de problemas ya esquematizado, se definió el árbol de objetivos, en donde las causas pasan a ser medios y los efectos se convierten en fines. Luego de tener definidos los problemas, se procedió a identificar a diferentes actores para determinar su percepción en los problemas existentes en los sistemas lagunares, las posibles soluciones que ellos consideran y la responsabilidad que pudiera tener cada uno de ellos en la gestión del sistema.

Se convocó a los actores identificados y se les realizó una encuesta. Se tomó como herramienta una metodología que cuenta con un programa estadístico llamado

“Quantitative Sorting” (Q-SORT), ambos instrumentos de dominio público. La herramienta consiste en la elaboración de preguntas sencillas y concretas en donde los participantes no dan una respuesta específica sino le dan un orden de prioridad a las posibles respuestas, que se deben analizar desde el punto de vista del entrevistado.

William Stephenson, estadístico norteamericano, propuso la denominación de Q-Técnica o Q-Método para designar una técnica de investigación de la personalidad (donde la letra Q representa o significa qualities). Es una técnica que propone un método estadístico para analizar la distribución y la interrelación de actitudes individuales dentro de la evaluación de una situación dada por parte de un grupo de personas. Esta técnica usa un instrumento: el llamado Q-Sort. La palabra SORT en su nombre, informa que se trata de una elección de enunciados cualitativos (Stephenson, 1953 citado por Mejías, 2008).

La encuesta contaba con tres preguntas paraguas, a cada una de ellas les correspondían veintitrés oraciones. Estas preguntas fueron elaboradas tomando en cuenta el diagnóstico técnico, el árbol de problemas y el árbol de objetivos. La primera pregunta realizada tenía que ver con los problemas existentes en los sistemas, la segunda con las soluciones propuestas por los participantes en la encuesta y en la tercera con la organización que debía de encargarse del sistema lagunar (Mejías, 2008).

Para llevar a cabo la propuesta organizacional se comenzó por analizar los actores identificados anteriormente y precisar aquellos que tuvieran de una u otra forma capacidad en las etapas de un proyecto para diseñar, financiar, construir e inspeccionar y operar y mantener los sistemas lagunares de acuerdo con la alternativa seleccionada. Luego, a estos actores seleccionados se les aplicó una matriz de análisis de involucrados para poder obtener los mandatos, recursos, intereses y problemas percibidos por los actores involucrados.

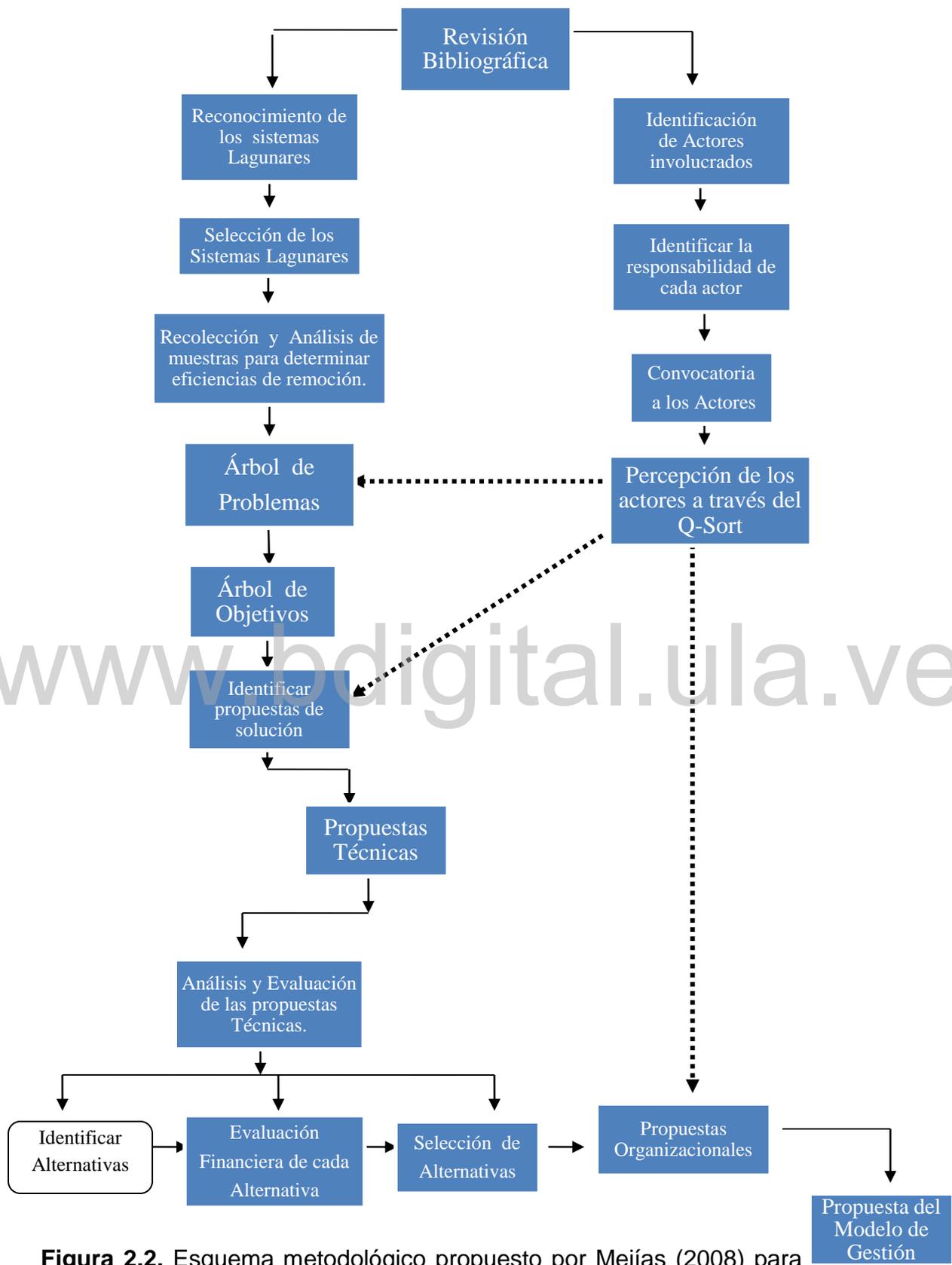


Figura 2.2. Esquema metodológico propuesto por Mejías (2008) para definir el Modelo de Gestión.

Se realizó un análisis al marco legal, tomando en cuenta diferentes leyes vigentes en Venezuela como son: la Constitución de la República Bolivariana de Venezuela, la Ley de Aguas, la Ley Orgánica de Régimen Municipal, la Ley Orgánica para la Prestación de Servicios de Agua Potable y Saneamiento, la Ley Orgánica del Ambiente y la Ley de Consejos Comunales. Con los actores seleccionados y el análisis de involucrados realizado a cada uno de ellos, se pudo proponer un grupo de organizaciones responsables para llevar a cabo las diferentes etapas del proyecto y así poder implementar la alternativa seleccionada. Finalmente, con base en las propuestas de evaluación técnica y organizacional, analizando algunas alternativas de solución identificadas y la percepción de los actores mediante la metodología Q-Sort, se desarrolló la propuesta sostenible del modelo de gestión para las lagunas de estabilización.

2.8.3 Propuesta Organizacional

Con fundamento en toda la discusión y análisis anteriores, Mejías (2008) formula la siguiente propuesta:

Para el diseño del proyecto se propone al Servicio Autónomo de Vivienda Rural (SAVIR), como ente adscrito al Ministerio de Infraestructura, quien es el ente encargado de ejecutar los diseños de las obras requeridas para la disposición de aguas residuales en las zonas rurales del país, funciones heredadas de la Dirección de Malariología del Ministerio de Sanidad y Asistencia Social (MSAS).

Para el financiamiento del proyecto se propone a la alcaldía del municipio, ya que este cuenta con recursos propios, así como recursos asignados a obras tanto de programas estatales y nacionales. Para construir e inspeccionar el proyecto se propone al Servicio Autónomo de Vivienda Rural (SAVIR), quienes podrían apoyarse en las alcaldías y en las mesas técnicas de agua. Para operar y mantener los sistemas lagunares, se propone a la alcaldía del municipio, o bien al organismo que este decida ceder o transferir, el cual puede ser la empresa de aguas regional, o bien a los consejos comunales a través de las mesas técnicas de agua; en este caso bajo la supervisión técnica de un ente técnicamente competente.

El Servicio Autónomo Programa Nacional de Vivienda Rural (SAVIR) del Ministerio de Sanidad y Asistencia Social (MSAS) fue adscrito al Ministerio de Vivienda y Hábitat (MPPVH) mediante Decreto con Rango y Fuerza de Ley sobre adscripciones de Institutos Autónomos y Fundaciones del Estado, aprobado el 30-08-1999. Luego SAVIR ya adscrito al MPPVH fue suprimido y liquidado mediante Decreto N°5621 publicado en Gaceta Oficial del 05-10-2007. Años después en Gaceta Oficial N°40329 de fecha 10-01-2014 el MPPVH delegó en el Banco Nacional de Vivienda y Hábitat (BANAVIH) la administración, recaudación y cobranza de la cartera inmobiliaria de SAVIR y otros entes adscritos. Todo indica que la función técnica y de ingeniería de SAVIR la ha asumido la

empresa hidrológica regional Aguas de Mérida CA, la cual tiene jurisdicción en la Zona Panamericana del estado Mérida.

La Figura 2.3 esquematiza la conformación de la propuesta organizacional del sistema de gestión, tomando en cuenta las etapas del proyecto y las nuevas competencias de los entes involucrados.

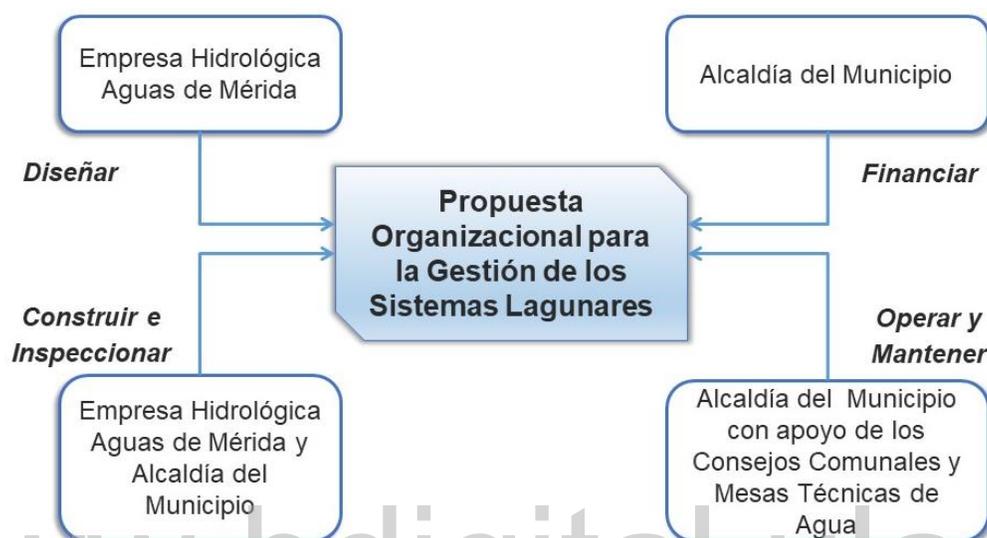


Figura 2.3. Esquema de la propuesta organizacional para la gestión de los sistemas lagunares, tomando en cuenta las etapas de un proyecto.

Fuente: Tomado de Mejías (2008) y modificado conforme a las nuevas competencias de los entes involucrados.

2.9 Indicadores Sociales

“La gestión social del agua y el saneamiento es un proceso integral, multisectorial e interdisciplinario de manejo de los recursos naturales que se fundamenta en la participación de los actores que toman decisiones concertadas de carácter técnico, administrativo y de planeamiento de acciones ambientales, económicas y sociales en función de una visión compartida cuyo objetivo superior es el desarrollo sostenible”. (BID, 2018).

El continente americano no es el más pobre, pero si es el más desigual. La Comisión Económica para América Latina y El Caribe (CEPAL), afirma que la equidad “defiende las mismas condiciones y oportunidades para todas las personas sin distinción, solo adaptándose en casos particulares, a los que plantean objetivos para avanzar hacia una

sociedad más justa”. De igual manera la CEPAL define a la igualdad como la situación social según la cual las personas tienen las mismas oportunidades y derechos en una sociedad. Es decir, la igualdad social se refiere a los mismos derechos y obligaciones para todos los sectores sociales. “El protocolo adicional a la convención americana sobre derechos humanos en materia de derechos económicos, sociales y culturales”, conocido como “Protocolo de San Salvador” (PSS) es el instrumento jurídico interamericano que consagra los derechos económicos, sociales y culturales del sistema interamericano de derechos humanos” (OEA, 2016).

La Tabla 2.1 presenta los vínculos entre el Protocolo de San Salvador y La Carta Social de Las Américas de la Organización de los Estados Americanos (OEA), con la Agenda 2030 y los Objetivos del Desarrollo Sostenible de la Organización de las Naciones Unidas (ONU). En la misma se puede apreciar que el Artículo 11 del Protocolo de San Salvador de la OEA consagra que toda persona tiene derecho a vivir en un ambiente sano y a contar con servicios públicos.

Lo anterior se corresponde con el Objetivo 6 de la Carta Social de Las Américas de la OEA que garantiza el acceso justo, equitativo y no discriminatorio a los servicios públicos básicos. De igual manera la Meta 11.1 de la Agenda 2030 de la ONU asegura para el año 2030 el acceso de todas las personas a viviendas y servicios básicos adecuados, seguros y asequibles. Los servicios básicos de agua potable y saneamiento de una comunidad están estrechamente vinculados con la salud pública de la misma.

Esa vinculación implica que en la medida que una población tiene buenos y confiables sistemas de abastecimiento de agua y además adecuados sistemas de alcantarillados sanitarios y sistemas de depuración de aguas servidas, esa población en general tendrá una mejor salud pública.

Con base a lo anterior se pueden establecer dos indicadores sociales que reflejan la cobertura y la funcionalidad de los servicios básicos de saneamiento ambiental en una comunidad, los cuales son el indicador de cobertura del servicio de agua potable y el indicador de cobertura del servicio de alcantarillado. Como se ha dicho ambos indicadores tienen una estrecha vinculación con la salud pública comunitaria.

OPS (2004) afirma que “la equidad de género en la situación de salud no significa tasas iguales de mortalidad o morbilidad para ambos sexos. Significa ausencia de diferencias evitables entre mujeres y hombres en las oportunidades de sobrevivir y disfrutar de salud, y en la probabilidad de no padecer enfermedad, discapacidad ni muerte prematura por causas prevenibles”. Además, la misma referencia propone los indicadores sociales ambientales de cobertura de los servicios de agua potable y saneamiento en las comunidades, expresados como el porcentaje que poseen estos servicios públicos básicos del total de viviendas.

En algunos casos donde no hay servicios de agua intra-domiciliario, el agua para el consumo humano se encuentra en lugares distantes de los hogares, y las mujeres son las responsables de recolectar la cantidad necesaria para el uso diario del hogar. Para las mujeres, principales responsables de la salud de los miembros de su familia y de las tareas domésticas, el acceso a agua potable en las viviendas representa uno de los elementos básicos que permite mejorar la condición de la salud de las personas y mejorar el control de ciertas enfermedades.

Asimismo, el acceso al agua potable dentro de las viviendas representa para las mujeres una disminución del tiempo y el esfuerzo físico requerido para la recolección y el traslado del agua al hogar, lo que puede significar una disminución importante del trabajo doméstico. Si además la vivienda posee conexión de aguas servidas a un alcantarillado sanitario o a un sistema de disposición individual tipo tanque séptico, esta condición adicional incide favorablemente en la salud familiar y comunitaria. Es importante destacar que los dos indicadores ambientales sociales definidos son además indicadores de género.

Revisados los conceptos y fundamentos del Desarrollo Sostenible y la Agenda 2030 de la ONU, los derechos humanos al agua potable y al saneamiento, la gestión integral de los recursos hídricos (GIRH), el marco legal de la GIRH en Venezuela, la sostenibilidad, los sistemas integrados para el manejo de las aguas residuales, los modelos basados en DCF, el modelo organizacional para la gestión de lagunas y los indicadores sociales, se continuará en capítulos posteriores, desarrollando el estudio hidrodinámico de las lagunas y el modelo conceptual para la gestión de las mismas.

Tabla 2.1 Vínculos entre el Protocolo de San Salvador y La Carta Social de Las Américas de la OEA, con la Agenda 2030 y los Objetivos del Desarrollo Sostenible de la ONU.

Protocolo de San Salvador (OEA)	Plan Acción. Carta Social de Las Américas	Agenda 2030. Objetivos del Desarrollo Sostenible
<p>Artículo 11. Derecho a un Medio Ambiente Sano</p> <p>1. Toda persona tiene derecho a vivir en un medio ambiente sano y a contar con servicios públicos básicos.</p> <p>2. Los Estados partes promoverán la protección, preservación y mejoramiento del medio ambiente.</p>		<p>Objetivo 12. Garantizar modalidades de consumo y producción sostenibles.</p> <p>Objetivo 13. Adoptar medidas urgentes para combatir el cambio climático y sus efectos.</p> <p>Objetivo 14. Conservar y utilizar sosteniblemente los océanos, los mares y los recursos marinos para el desarrollo sostenible.</p> <p>Objetivo 15. Proteger, restablecer y promover el uso sostenible de los ecosistemas terrestres gestionar sosteniblemente los bosques, luchar contra la desertificación, detener e invertir la degradación de las tierras y detener la pérdida de biodiversidad.</p>
	<p>Objetivo 6. Vivienda y servicios públicos básicos.</p> <p>Proporcionar más y mejores opciones de vivienda, especialmente a las poblaciones en condiciones de vulnerabilidad y de menores recursos, así como garantizar el acceso justo, equitativo y no discriminatorio a los servicios públicos básicos.</p>	<p>Meta 11.1. De aquí a 2030, asegurar el acceso de todas las personas a viviendas y servicios básicos adecuados, seguros y asequibles y mejorar los barrios marginales</p>

Tomado y adaptado de OEA (2016).

2.10 Bibliografía.

BID 2018. "Lineamientos para la gestión social en proyectos de agua potable y saneamiento en comunidades rurales". Banco Interamericano de Desarrollo. Primera Edición. Quito, Ecuador.

Espinosa, C. 1998. "Efectos del pretratamiento anaerobio (UASB) en las características físico-químicas de un sistema de lagunas duckweed en serie". Tesis para optar al grado de Magíster en Ingeniería Sanitaria y Ambiental. Universidad del Valle. Cali, Colombia.

Espinosa, C., y Foca, V. 2017. "Sistemas Integrados para el manejo de Aguas Residuales en el Medio Rural". Capítulo 23 del libro "Avances, desarrollo y sustentabilidad agroambiental en el Ecuador y Venezuela". Publicación conjunta de la Universidad de Los Andes de Venezuela y la Pontificia Universidad Católica del Ecuador.

CEPAL 2016. "Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible: Una oportunidad para América Latina y el Caribe". Comisión Económica para América Latina. Santiago, República de Chile.

Chung, T. 2002. "Computational Fluid Dynamics". Cambridge University Press. Cambridge. UK.

DHI 2009. "Modelando el mundo del agua". Danish Hydraulics Institute. Denmark.

DHI 2017. "MIKE21 Flow Model. Hydrodynamic Module". User Guide. Danish Hydraulics Institute. Denmark.

DHI 2020. "MIKE 21 Flow Model & MIKE 21 Flood Screening Tool. Hydrodynamic Module. Scientific Documentation". Danish Hydraulics Institute. Denmark.

Findikakis, A. 2016. "The contribution of advanced simulation tools to the hydraulic design of water and wastewater treatment facilities". Editorial. Hydrolink. N°2/2016. International Association for Hydro-Environment Engineering and Research (IAHR). Madrid, Spain.

Mejías, M. 2008. "Propuesta de un modelo de gestión para lagunas de estabilización. caso: Zona Panamericana del estado Mérida". Tesis para optar al grado de Magíster Scientiae en Gestión de los Recursos Naturales y Medio Ambiente con énfasis en Evaluación de Impacto Ambiental. Centro Interamericano de Desarrollo e Investigación Ambiental y Territorial. Universidad de los Andes. CIDIAT-ULA. Mérida. Venezuela.

OEA 2016. "Equidad e Inclusión Social: Superando desigualdades hacia sociedades más inclusivas". Departamento de Inclusión Social. Publicación de la Secretaría General de la Organización de los Estados Americanos (SG/OEA). Washington, DC 20006, USA.

OPS 2004. "Indicadores Básicos para el Análisis de la Equidad de Género en Salud". Organización Panamericana de la Salud. ISBN 92 75 32546 4. Oficina Sanitaria Panamericana. Oficina Regional de la Organización Mundial de la Salud. 525 Twenty-third Street, N.W. Washington, D.C. 20037. USA.

Polprasert, C. 1996. "Organic waste recycling". Chichester: John Wiley and Sons. ISBN 0 471 96434 4. UK.

Zhang, J., Liu, X., Tejada-Martínez, A. and Zhang, Q. 2016. "Computational Fluid Dynamics: a promising tool for analysis and design of water and wastewater treatment". Hydrolink. N°2/2016. International Association for Hydro-Environment Engineering and Research (IAHR). Madrid, Spain.

www.bdigital.ula.ve

CAPÍTULO III.

ESTUDIO HIDRODINÁMICO²

3.1 Introducción

Las lagunas de estabilización constituyen una de las tecnologías más apropiadas para la depuración de las aguas residuales domésticas en el medio rural no disperso en zonas tropicales. Básicamente son estanques poco profundos -profundidad entre 1,2m y 2,5m- formas regulares -usualmente rectangulares-, fondos impermeables ó poco permeables, tiempos de retención entre 4 y 8 días, y cargas orgánicas entre 22 y 67 Kg DBO/ha.d. En estos sistemas se establece una simbiosis entre algas y bacterias que, junto con la digestión anaerobia en el fondo de la materia orgánica particulada sedimentada, constituyen los principales mecanismos de depuración.

En Venezuela desde 1955 se han utilizado lagunas de estabilización como sistemas de tratamiento de efluentes crudos de origen doméstico y municipal. A partir de 1963, el Ministerio de Sanidad y Asistencia Social (MSAS) y el Instituto Nacional de Obras Sanitarias (INOS) incluyeron las lagunas de estabilización complementadas con sistemas cloacales en sus actividades de estudios y proyectos para el saneamiento. El MSAS lo hizo con mayor intensidad y desempeño que el INOS, ya que atendía el saneamiento de poblaciones menores en el medio rural no disperso y periurbano. Es así como a partir de 1963 el MSAS incluyó como complemento a sus actividades de cloacas

²Este capítulo generó los siguientes documentos y artículos:

- a. Espinosa, C., 2020. Lagunas de estabilización en el medio rural venezolano. Caso: Zona Panamericana de los Estados Mérida y Trujillo. Trabajo de Ingreso a la Ilustre Academia Nacional de la Ingeniería y el Hábitat de Venezuela. Resolución de la Junta de Individuos de Número No. 272/20 del 10/11/20. Palacio de las Academias, Caracas, Venezuela. https://www.acading.org.ve/info/publicaciones/TRABAJOS_INCORPORACION/TI_CARLOS_ESPINOSA.pdf
- b. Espinosa, C., Ramírez, S., Jégat, H y Barreto, W., 2020. Estudio hidrodinámico de las condiciones de entrada y salida de lagunas de estabilización implementadas en el medio rural venezolano. Caso Zona Panamericana del Estado Mérida, Venezuela. Revista de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Central de Venezuela. N°1, Volumen 35. Caracas, Venezuela.
- c. Ramírez, S., Espinosa, C., Jégat, H. y Barreto, W., 2021. Estudio hidrodinámico de lagunas de estabilización implementadas en el medio rural de la Zona Panamericana del Estado Mérida, Venezuela. Revista Ciencia e Ingeniería. Vol. 42, No. 1 pp. 113-126, diciembre-marzo, 2021. ISSN 1316-7081. ISSN Elect. 2244-8780. Universidad de los Andes, Venezuela.
- d. Espinosa Jiménez, Carlos Francisco Abel 2021. Lagunas de estabilización en el medio rural de la zona Panamericana de los estados Mérida y Trujillo, Venezuela. Editorial de la Academia Nacional de la Ingeniería y el Hábitat. ISBN 978-980-18-2130-4. Caracas, Venezuela.

rurales el diseño, construcción y operación de plantas de tratamiento basadas en lagunas de estabilización, a través de su Dirección de Malariología y Saneamiento Ambiental (Rengel, 1977 citado por Espinosa, 2020).

El Estado Venezolano a través de entes gubernamentales nacionales y estatales, han construido una serie de obras de saneamiento en la Zona Panamericana del estado Mérida, a fin de crear las condiciones sanitarias requeridas para impulsar el desarrollo rural en la zona. Entre estas obras hidrosanitarias destacan los sistemas lagunares para el tratamiento de las aguas residuales de los centros poblados y los asentamientos campesinos. La Figura 3.1 ilustra la geografía de la Zona Panamericana del estado Mérida, donde se han construido unos nueve sistemas lagunares entre El Vigía y Arapuey. El prototipo más implementado en el medio rural de la Zona Panamericana del estado Mérida son lagunas facultativas en sistemas de dos (2) lagunas en serie (Espinosa, 2020). La secuencia de operaciones y procesos en este caso es:

- i. Cribado. Se realiza en la misma tanquilla de entrada.
- ii. Laguna facultativa primaria de 20m X 30m y 1,50m de profundidad.
- iii. Laguna facultativa secundaria de 20m X 30m y 1,50m de profundidad.
- iv. Desinfección. Para este proceso se instala una caseta de cloración a la salida de la laguna facultativa secundaria.

La Figura 3.2 presenta la imagen de un prototipo de laguna facultativa implementada en la población de Caño Seco en la Zona Panamericana del estado Mérida cuyas dimensiones son 20 m X 30 m y profundidad de 1,50 m.

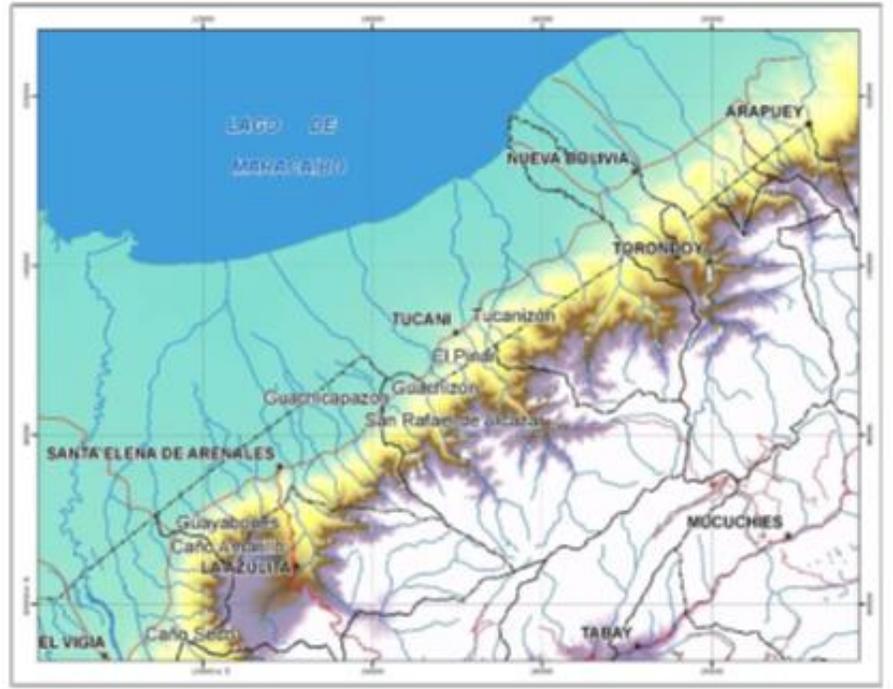


Figura 3.1 Geografía de la Zona Panamericana del estado Mérida, Venezuela, donde se han construido nueve sistemas de lagunas de estabilización entre las poblaciones de El Vigía y Arapuey.

Fuente: Elaboración Propia.



Figura 3.2 Laguna facultativa de 20m X 30 m y profundidad 1,50m, vista aguas arriba, implementada en Caño Seco, municipio Alberto Adriani, Zona Panamericana del estado Mérida.

Desde su puesta en servicio estos sistemas no han sido estudiados para su evaluación y seguimiento. Muestran evidencias de una precaria operación y mantenimiento, razón por la cual se los considera apropiados para analizarlos.

3.2 Objetivos

El objetivo general de este capítulo es evaluar el diseño, mediante el estudio de la hidrodinámica para las condiciones de entrada y salida de un prototipo representativo de laguna de estabilización implementado en el medio rural de la Zona Panamericana del estado Mérida.

Como objetivos específicos se plantean:

1. Implementar un modelo hidrodinámico de simulación basado en dinámica computacional de fluidos.
2. Estudiar, mediante simulación con el modelo implementado, la hidrodinámica de las condiciones de entrada y salida del prototipo representativo de laguna de estabilización implementado en el medio rural de la Zona Panamericana del estado Mérida.
3. Proponer mejoras en las condiciones de entrada y salida en el prototipo representativo, a fin de mejorar su hidrodinámica.

3.3 Metodología

El esquema metodológico empleado para alcanzar los objetivos planteados, está constituido por cuatro (4) fases, las cuales se describen a continuación:

Fase 1. Determinación de la configuración y dimensiones típicas del prototipo representativo de laguna del medio rural venezolano implementado en la Zona Panamericana del estado Mérida, que se corresponde con el sistema de lagunas de Caño Seco, con unas dimensiones de 20m x 30m, una profundidad de 1,50m, dos entradas que se ubican en el primer tercio aguas arriba y una salida en el tercer tercio aguas abajo, como se muestra en la Figura 3.2.

Fase 2. Modelo Hidrodinámico: solicitud y activación de la licencia del MIKE 21 Flow Model), (DHI, 2017). Con base a la revisión bibliográfica se seleccionó el Software Mike 21 FM desarrollado por el Instituto Danés de Hidráulica (DHI). Se realizó una solicitud formal para el otorgamiento de una Licencia de Estudiante para Tesis de Maestría/Doctorado limitada a un (1) año (Agreement for Educational Time-limited MIKE Powered by DHI Software Licence). El Código de la Licencia del Mike 21 fue activado en

un computador portátil personal TOSHIBA con procesador INTEL I5, 8 GB de memoria RAM y HD de 1 TB, equipo en el cual se realizaron las simulaciones.

Fase 3. Implementación del software MIKE 21 Flow Model. Se utiliza la extensión del MIKE Zero llamada Mesh Generator, que permite la creación de la malla de cálculo, una malla no estructurada que usa una técnica de solución de volumen finito centrada en la celda. Se basa en elementos triangulares lineales -y se le denomina malla flexible-y para su utilización fue necesario la selección de puntos con coordenadas características que permiten delimitar los bordes de tierra y configurar el espejo de agua. El suministro de la información se incorpora en archivos texto colocando las coordenadas correspondientes a los bordes de tierra, y a puntos característicos de influencia del espejo del agua. Luego se triangula dicha información y se procede a interpolar, y posteriormente generar la malla en un archivo de batimetría con extensión .mesh, el cual es reconocido por el software MIKE 21 FM. Ver la Figura 3.3.

Es oportuno aclarar que debido a la poca profundidad de las lagunas -en el orden de 1,50m-, profundidad que representa apenas el 7,5% con respecto a la dimensión más corta (20m) del espejo de agua, la simulación se hará en dos dimensiones (2D). Lo anterior implica que un plano de simulación cercano a la superficie del agua es representativo de lo que ocurre en la profundidad de las lagunas. Por esta misma razón no se toman en cuenta para la simulación gradientes térmicos en la profundidad del agua, se asume que no hay pérdidas por infiltración, que la precipitación se compensa con la evaporación y se desprecian los efectos del viento en la superficie del agua por las pequeñas dimensiones del espejo de agua (20m x 30m). Como la laguna es revestida en concreto y el fondo de la misma no cambia, se realizan los cálculos sin correcciones de niveles de profundidad. Se asume la recomendación "Barotropic" del software para los datos de densidad, la cual implica agua de densidad constante. Para la resistencia del fondo se considera el Número de Manning correspondiente a concreto.

Para el caso estudio de la laguna de Caño Seco, y por limitación de tiempo de conexión por el tipo de licencia del MIKE 21 FM y su capacidad, se toman intervalos de tiempo de 30 segundos en un número 250 intervalos, para un tiempo de simulación de 7.500 segundos, lo que equivale a 125 minutos (2,08 horas). Este tiempo permite observar la propagación de la onda de perturbación que genera el flujo en todo el dominio de la malla de simulación de la laguna, así como tiempos posteriores.

Para resolver las ecuaciones, se utiliza el algoritmo rápido de bajo orden, debido a que consume menos tiempo computacional. Se asignan las coordenadas correspondientes a la posición de las entradas de agua, así como también el caudal que ingresa por cada una de ellas.

La laguna tipo Caño Seco presenta dos entradas que se ubican en el primer tercio aguas arriba, con un caudal de descarga en cada una de ellas de $0.006 \text{ m}^3/\text{s}$.

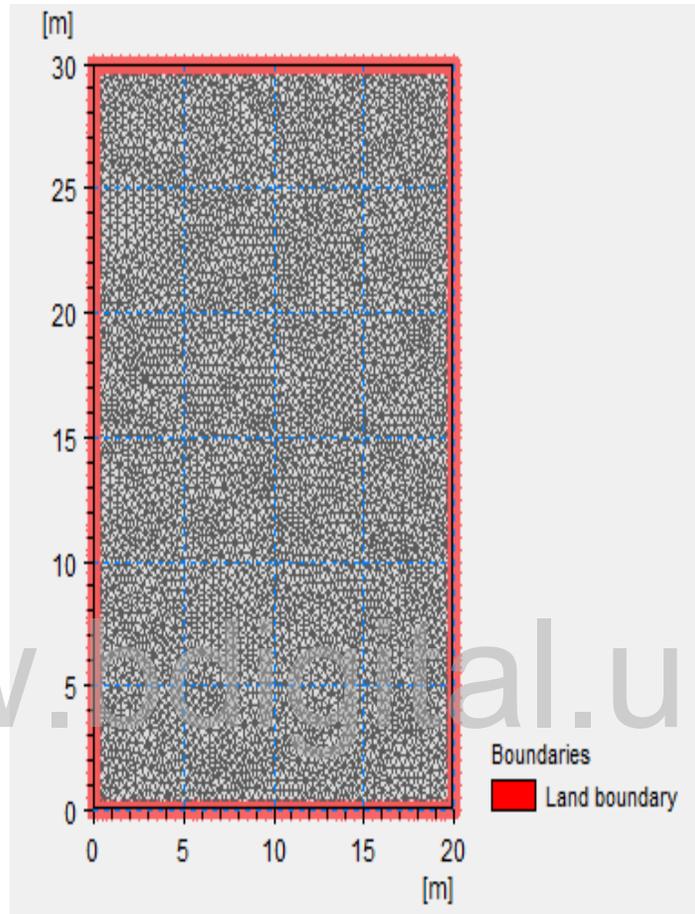


Figura 3.3. Malla de simulación generada de la laguna de Caño Seco, basada en un esquema de elementos finitos

Se asumen las salidas como alcantarillas y se le asigna su ubicación y el diámetro considerado que es de 0.30 m. Se especifica que los bordes son construidos de concreto y por tanto la velocidad del agua en contacto con los mismos se considera cero. Para el análisis de los resultados de las simulaciones, se seleccionaron las siguientes variables: elevación o cota de la superficie del agua, dirección de la corriente y velocidad.

Fase 4. Análisis e interpretación de los resultados de las simulaciones del prototipo, para formular y simular las mejoras en las condiciones de entrada y salida. Elaborar las conclusiones y recomendaciones.

3.4 Resultados y discusión.

3.4.1. Condiciones de entrada y salida originales del prototipo.

3.4.1.1 Elevación de la superficie del agua.

La simulación se inicia con la creación de ondas radiales alrededor de los puntos de entrada (Figura 3.4), hasta conformar una sola circunferencia la cual va avanzando en el tiempo, toma forma de elipse y luego alcanza el borde aguas arriba de la laguna (Figura 3.5), logrando equilibrar linealmente la propagación de la onda hasta alcanzar el borde aguas abajo (Figura 3.6). En esta secuencia de Figuras (3.4 a 3.6) se puede observar el comportamiento de la onda de perturbación superficial, y la implicación de la misma en la elevación de la superficie. Este comportamiento se considera el esperado. En la Figura 3.7 se aprecian zonas de menores niveles de agua, localizadas simétricamente en las esquinas aguas arriba y en la zona próxima a la salida, en la última fase de la simulación a los 107 minutos.

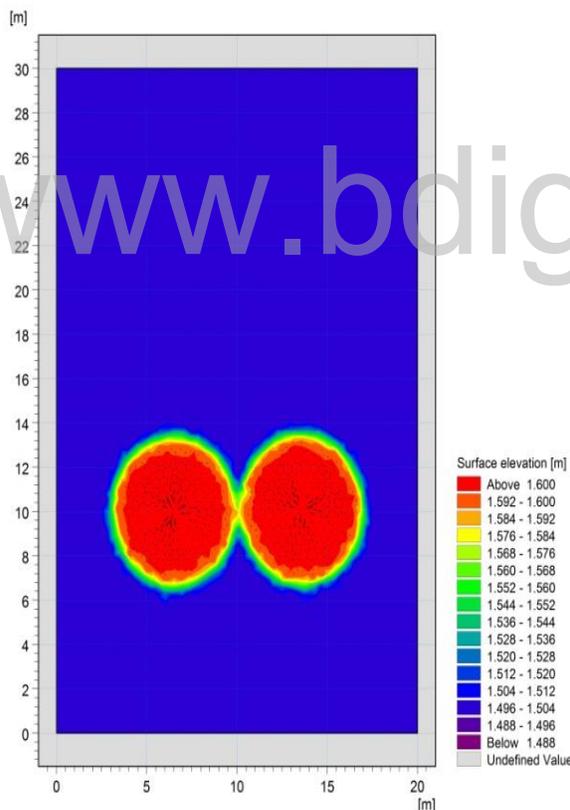


Figura 3.4. Elevación de la superficie a los 10 minutos de simulación.

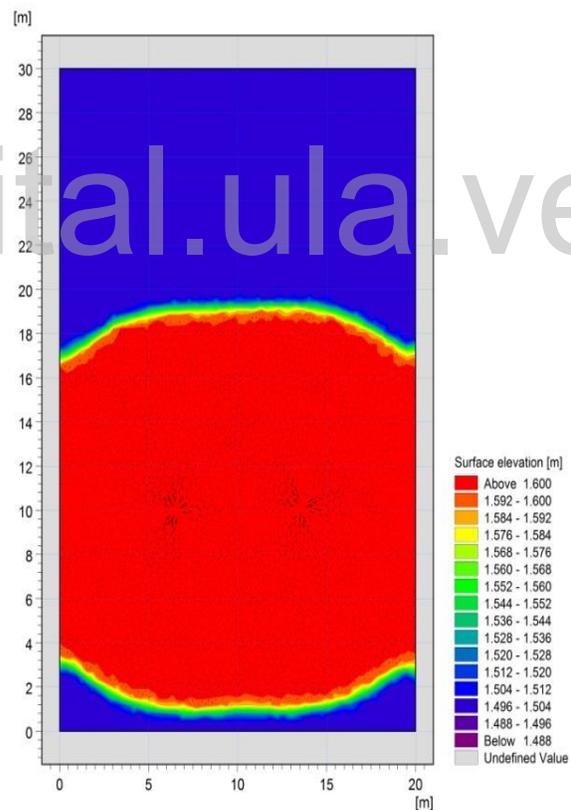


Figura 3.5. Elevación de la superficie a los 48 minutos de simulación

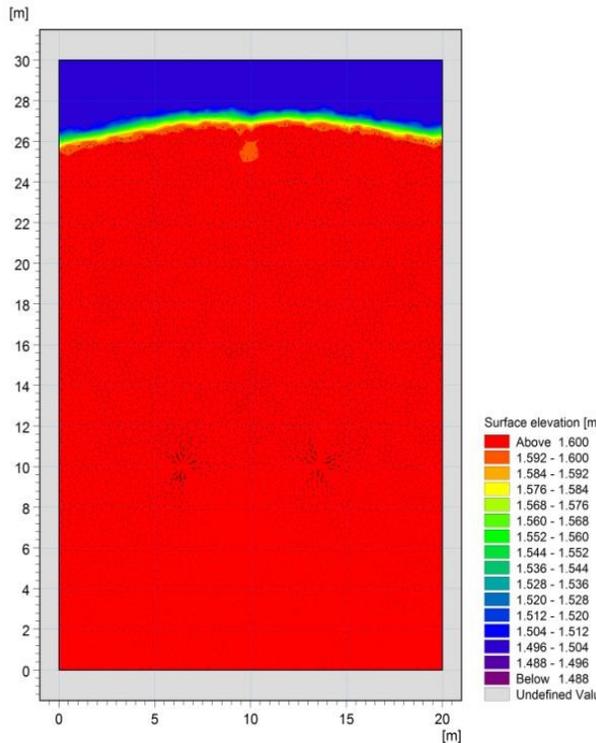


Figura 3.6. Elevación de la superficie a los 75 minutos de simulación.

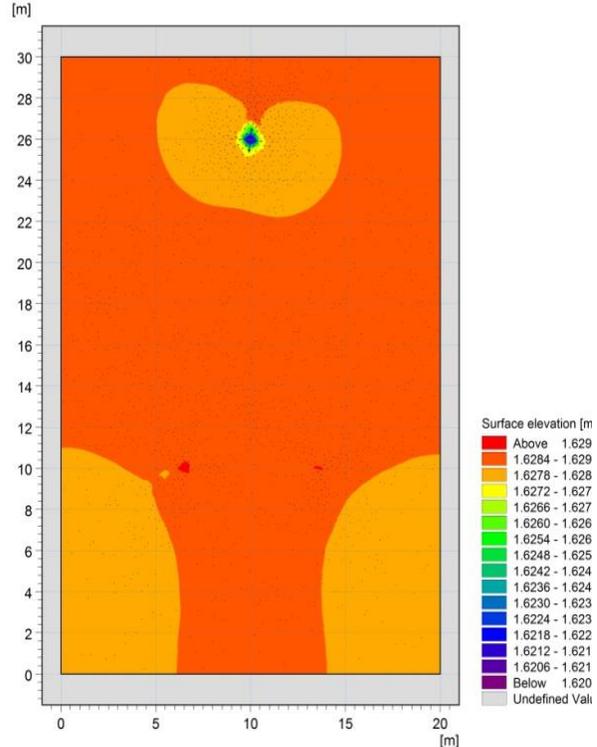


Figura 3.7. Elevación de la superficie a los 107 minutos de simulación.

3.4.1.2 Dirección de Flujo.

Las observaciones de la simulación de dirección de la corriente, evidencian la formación de zonas de recirculación, y zonas de estancamiento, tal como lo muestran la secuencia de las Figuras 3.8 a 3.11. En las mismas se aprecian vectores de dirección de la corriente en el primer y cuarto cuadrantes en dirección aguas abajo (colores morado, azul, amarillo, naranja) y vectores en el segundo y tercer cuadrantes del plano cartesiano, en dirección aguas arriba (colores en escala de verdes, y azules más tenues).

3.4.1.3 Velocidad.

En la Figura 3.12 se puede observar el inicio de la onda de propagación y la ubicación de los primeros vectores de velocidad, los cuales tienen una magnitud de 0.008 hasta 0.020 m/s. Es importante señalar que además se observa la existencia de vectores en ambas direcciones con las mismas magnitudes, unos que buscando llenar el frente de la laguna aguas abajo y otros direccionados al extremo aguas arriba.

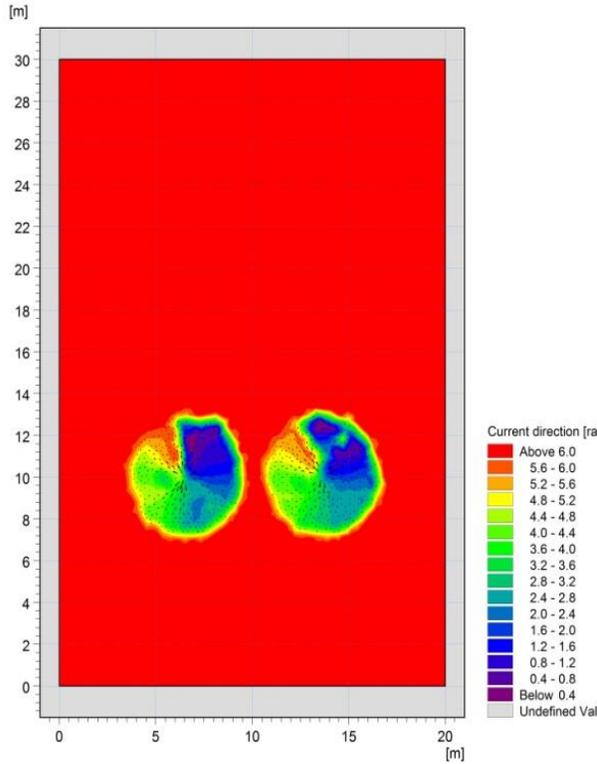


Figura 3.8. Dirección de flujo a los 10 minutos de simulación.

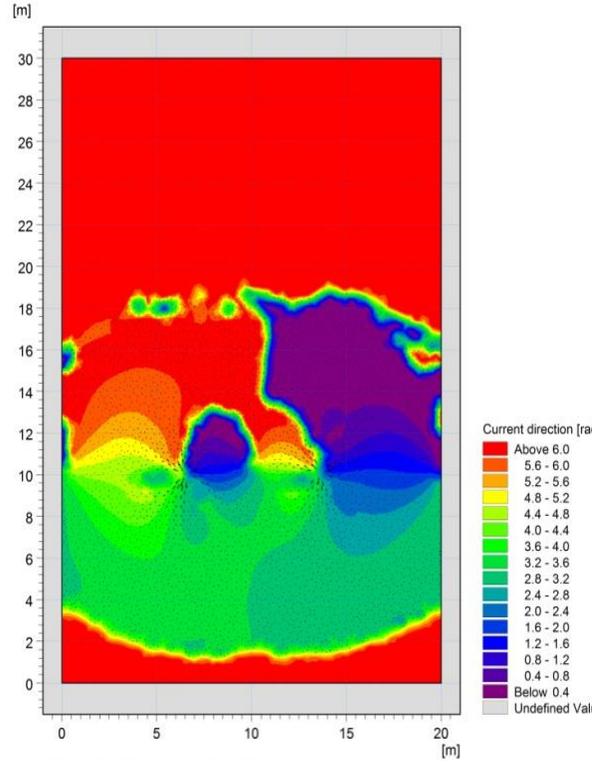


Figura 3.9. Dirección de flujo a los 48 minutos de simulación

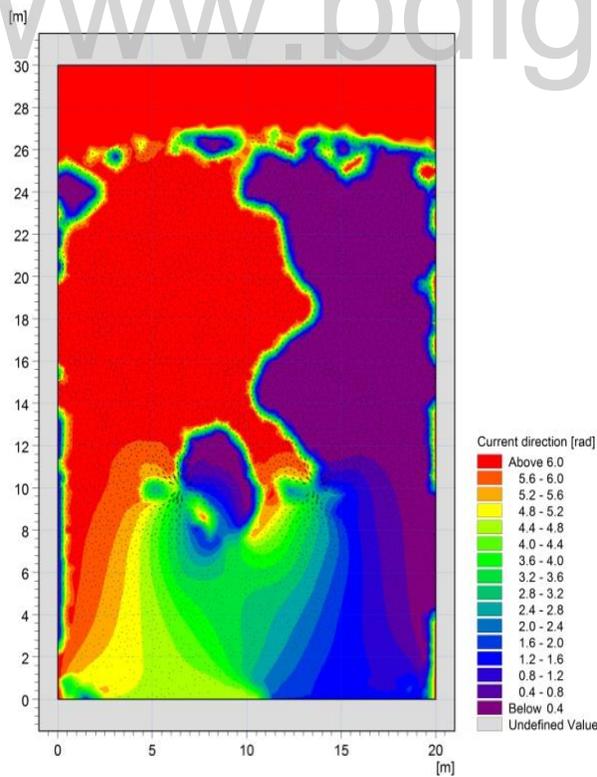


Figura 3.10. Dirección de flujo a los 75 minutos de simulación.

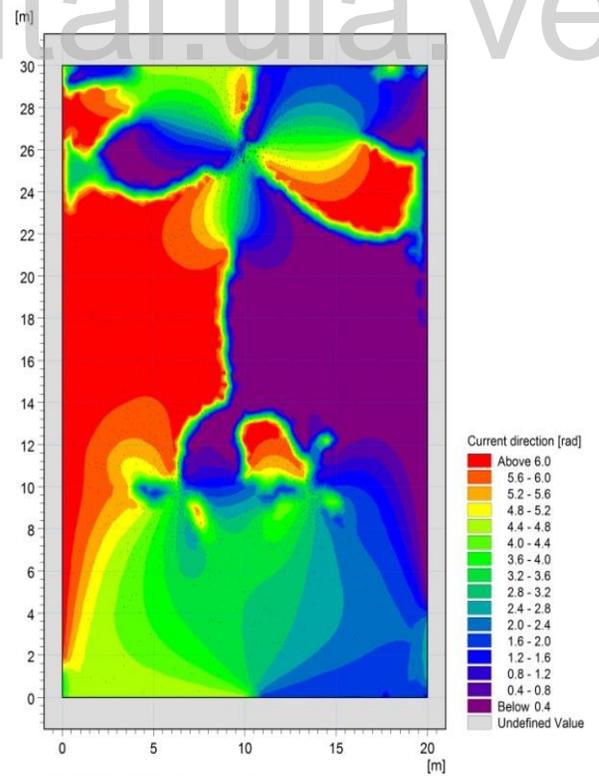


Figura 3.11. Dirección de flujo a los 107 minutos de simulación

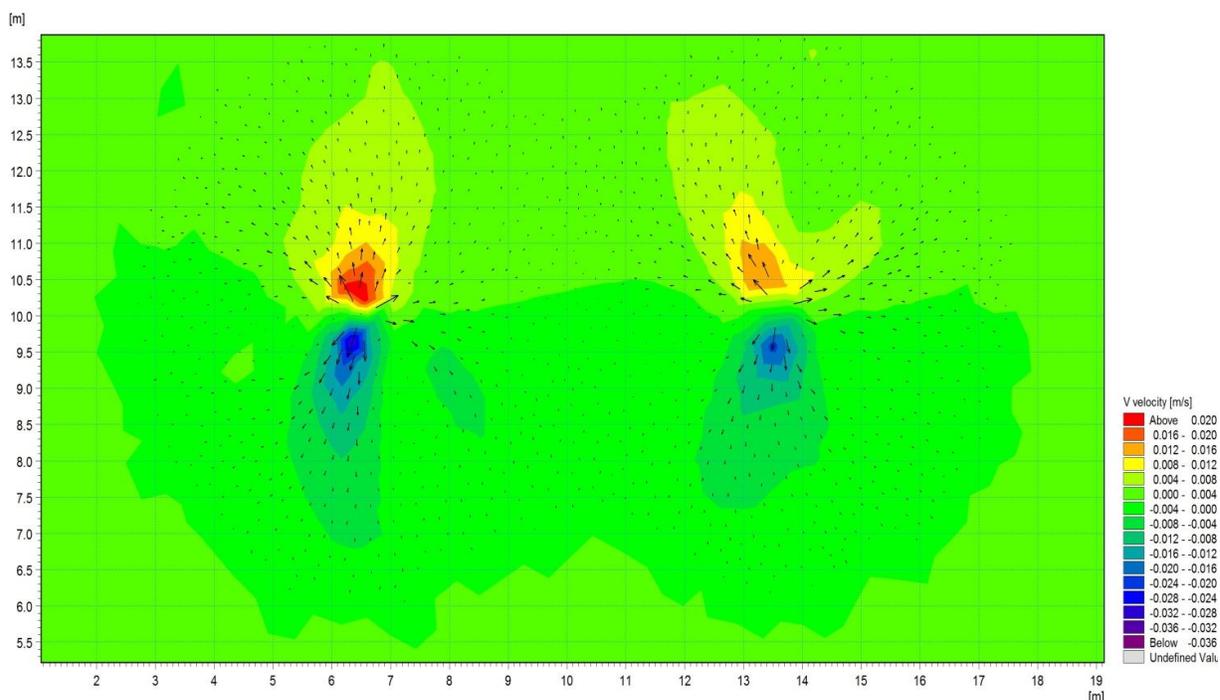


Figura 3.12. Laguna facultativa de 20 m x 30 m, implementada en Caño Seco, municipio Alberto Adriani, Zona Panamericana del estado Mérida. Vectores de velocidad en la zona de entrada al inicio de la simulación a los 16 minutos.

En la Figura 3.13 se puede observar la salida de la laguna en el punto (10,26), creando zonas locales de recirculación, y por tanto perturbando los vectores de dirección. Esta recirculación de flujo facilita la formación de puntos de estancamiento, los cuales se observan en la Figura 3.14 con una velocidad en el orden de 0.0002 m/s, considerándose prácticamente nulo el movimiento.

Es importante resaltar que las zonas de estancamiento, se observan con mayor frecuencia en las esquinas de la laguna y se ha podido constatar en campo que en dichas zonas ocurre este fenómeno que genera deposición de sólidos y crecimiento de maleza, lo cual afecta el funcionamiento de la laguna de estabilización.

Lo anterior se puede observar en la Figura 3.15 que es una fotografía tomada en campo.

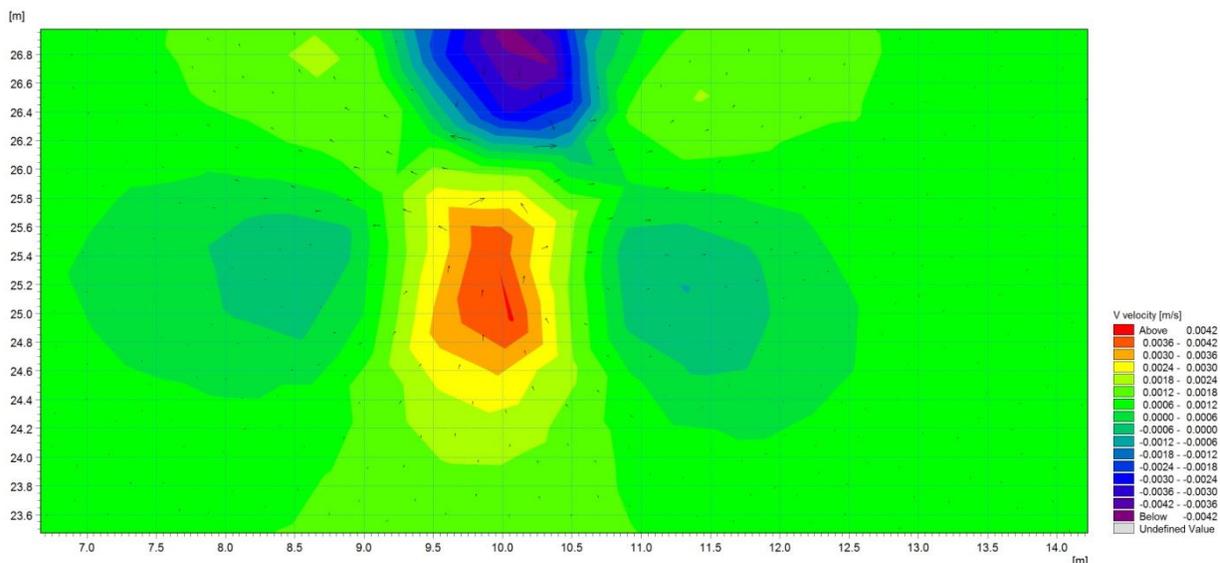


Figura 3.13. Laguna facultativa de 20 m x 30 m, implementada en Caño Seco, municipio Alberto Adriani, Zona Panamericana del estado Mérida. Vectores de velocidad cercanos a la tubería de salida a los 96 minutos de la simulación.

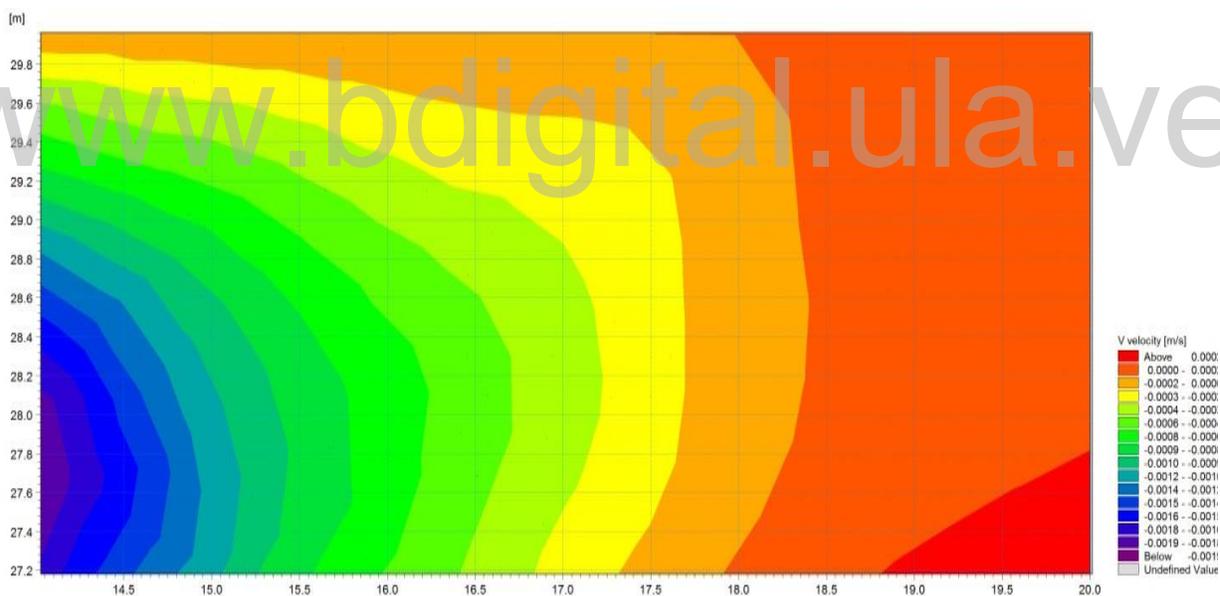


Figura 3.14. Laguna facultativa de 20 m x 30 m, implementada en Caño Seco, municipio Alberto Adriani, Zona Panamericana del estado Mérida. Zona de estancamiento en el extremo derecho aguas abajo de la laguna a los 125 minutos de la simulación.

Queda en evidencia, que, para la configuración actual de entrada y salida del prototipo de laguna de estabilización analizado, se presentan zonas de estancamiento -con muy bajas velocidades- en las esquinas y en las zonas aguas arriba de las entradas y aguas

abajo de la salida. Estas zonas de estancamiento identificadas se asocian con zonas muertas.



Figura 3.15. Laguna facultativa de 20 m x 30 m, implementada en Caño Seco, municipio Alberto Adriani, Zona Panamericana del estado Mérida. Observación en campo de la zona de estancamiento localizada en el extremo derecho aguas abajo.

Realizado el análisis del prototipo de laguna, se procede a proponer modificaciones en las condiciones de entrada y salida que permitan mejorar su hidrodinámica. Para tal fin se consideraron y simularon las siguientes configuraciones:

- a) Una (1) entrada centrada en el borde aguas arriba y una (1) salida centrada en el borde aguas abajo.
- b) Dos (2) entradas simétricas en el borde aguas arriba y una (1) salida centrada en el borde aguas abajo.
- c) Dos (2) entradas simétricas en el borde aguas arriba y dos (2) salidas simétricas en el borde aguas abajo.

La Tabla 3.1 resume las principales características de las simulaciones. Analizando y comparándolas se puede observar y concluir que cualquiera de ellas presenta un mejor desempeño hidrodinámico, especialmente presentan menos zonas de bajas velocidades las cuales se asocian con zonas muertas (prácticamente si flujo). Se escoge la alternativa b: dos (2) entradas simétricas en el borde aguas arriba y una (1) salida centrada en el borde aguas abajo. Esta configuración, a su vez la más práctica, implica cortar al prototipo las dos tuberías de entrada y la tubería de salida en los bordes aguas arriba y aguas abajo de la laguna.

Tabla 3.1. Comparación de las variables simuladas para las alternativas de mejoras contempladas. Prototipo de laguna de estabilización de Caño Seco, municipio Alberto Adriani, Zona Panamericana del estado Mérida, Venezuela.

Alternativa	Elevación de la superficie	Dirección de la corriente	Velocidad
a) Una (1) entrada centrada en el borde aguas arriba y una (1) salida centrada en el borde aguas abajo.	Se inicia la propagación de la onda de forma radial hasta llegar a los laterales en un tiempo de simulación de 23 minutos e inmediatamente avanza de forma simétrica hasta llegar al extremo aguas abajo, alcanzando la mitad de la laguna aproximadamente a los 45 minutos; y el extremo aguas abajo a los 83 minutos. A partir de ese momento los niveles dentro de la laguna se mantienen hasta el final de la simulación en un rango de 1,60 hasta 1,65 metros de elevación.	Desde el inicio de la simulación hasta los 26 minutos, en el cual la perturbación alcanza los laterales, se observan vectores en el campo de direcciones orientados en el primer y cuarto cuadrante, lo cual significa que el flujo se dirige hacia aguas abajo. Para los 47 minutos se alcanza la mitad de la laguna y se observa el mismo comportamiento. En el minuto 83 se alcanza el extremo aguas abajo, observándose que parte del flujo sale por la descarga y otro flujo regresa con direcciones en el tercer y segundo cuadrante lo cual significa una dirección de flujo aguas arriba, observándose este fenómeno localizado en el último cuarto de la laguna hasta el final de la simulación	El campo de velocidades alcanza los laterales en un tiempo de 24 minutos, observando mayores velocidades en la descarga, y en zonas cercanas a la misma, y menores velocidades en las esquinas de la laguna. A los 43 minutos el campo de velocidades llega a la mitad de la laguna observándose zonas de bajas velocidad en las esquinas. En el minuto 83 se alcanza el extremo aguas abajo, verificándose que la propagación del flujo choca generando un remanso que a su vez disminuye las magnitudes del campo de velocidades, y en las esquinas aguas arriba se observan zonas de bajas velocidades. A partir del minuto 90 se observan mayores velocidades en las inmediaciones de la entrada y en el resto de la laguna magnitudes menores que oscilan en un rango muy pequeño.
b) Dos (2) entradas simétricas en el borde aguas arriba y una (1) salida centrada en el borde aguas abajo.	Se inicia la propagación de la onda de forma radial alrededor de cada una de las entradas hasta unirse al minuto 5, logrando una sola circunferencia que toca los laterales a los 18 minutos. Alcanzando la mitad de la laguna a los 44 minutos, y el extremo aguas abajo a los 83 minutos. A partir de ese momento los niveles dentro de la laguna se mantienen hasta el final de la simulación en un rango de 1,60 hasta 1,65 metros de elevación, predominando mayores elevaciones aguas arriba.	Desde el inicio de la simulación hasta los 5 minutos se aprecia como los campos de dirección de flujo se unen, y alcanza los laterales a los 18 minutos, observándose vectores en el primer y cuarto cuadrante orientados aguas abajo. El campo de direcciones alcanza la mitad de la laguna en un tiempo de 45 minutos, manteniendo su comportamiento hacia aguas abajo. En el minuto 83 se alcanza el extremo de la laguna, observándose patrones de flujo en el tercer y segundo cuadrante lo cual indica dirección de flujo hacia aguas arriba, dicho fenómeno está localizado en el último cuarto de la laguna y en el resto de la misma manteniendo flujos en el primer y cuarto cuadrante.	Los campos de velocidades se unen a los 5 minutos de simulación, alcanzando los laterales en un tiempo de 17 minutos, observando mayores velocidades en la descarga y en zonas cercanas a la misma, menores velocidades localizadas en las esquinas, y en la zona intermedia a las entradas. A los 45 minutos el campo de velocidades alcanza la mitad de la laguna, manteniéndose zonas de bajas velocidades en la zona intermedia a las entradas y en las esquinas aguas arriba. En el minuto 83 se alcanza el extremo aguas abajo, verificándose que la propagación del flujo choca generando un remanso que a su vez disminuye las magnitudes del campo de velocidades, manteniendo zonas de baja velocidad en las esquinas aguas arriba y en la zona entre las dos entradas. A partir del minuto 90 se observan mayores velocidades desde la entrada hasta la mitad de la laguna, y menores velocidades desde la mitad aguas abajo, esquinas aguas arriba y zona entre las dos entradas.

Tabla 3.2. Comparación de las variables simuladas para las alternativas de mejoras contempladas. Prototipo de laguna de estabilización de Caño Seco, municipio Alberto Adriani, Zona Panamericana del estado Mérida, Venezuela. (*Continuación*)

Alternativa	Elevación de la superficie	Dirección de la corriente	Velocidad
c) Dos (2) entradas simétricas en el borde aguas arriba y dos (2) salidas simétricas en el borde aguas abajo.	Se inicia la propagación de la onda de forma radial alrededor de cada una de las entradas hasta unirse al minuto 11, y en el mismo instante las circunferencias tocan los laterales. Se alcanza la mitad de la laguna a los 42 minutos de simulación. A los 84 minutos toca el extremo aguas abajo. A partir de ese momento los niveles dentro de la laguna se mantienen hasta el final de la simulación en un rango de 1,60 hasta 1,65 metros de elevación, predominando mayores elevaciones aguas arriba.	Desde el inicio de la simulación hasta los 11 minutos se aprecia como los campos de dirección de flujo se unen, y alcanzan los laterales, observándose vectores en el primer y cuarto cuadrante orientados aguas abajo. El campo de direcciones alcanza la mitad de la laguna en un tiempo de 43 minutos, manteniendo su comportamiento hacia aguas abajo. En el minuto 83 se alcanza el extremo de la laguna, observándose patrones de flujo en el segundo y tercer cuadrantes lo cual indica dirección de flujo hacia aguas arriba, dicho fenómeno está localizado en el último cuarto de la laguna y en el resto de la misma manteniendo flujos en el primer y cuarto cuadrante.	Los campos de velocidades se unen a los 10 minutos de simulación, y simultáneamente alcanzan los laterales, observando mayores velocidades en la descarga y en zonas cercanas a la misma. A los 43 minutos el campo de velocidades llega a la mitad de la laguna, observándose que las zonas de menor velocidad están localizadas en la zona intermedia a las entradas y en las esquinas aguas arriba. En el minuto 83 se alcanza el extremo aguas abajo, verificándose que la propagación del flujo choca generando un remanso que a su vez disminuye las magnitudes del campo de velocidades en tiempo posteriores, manteniendo zonas de baja velocidad en las esquinas aguas arriba y en la zona entre las dos entradas. A partir del minuto 90 se observan mayores velocidades desde la entrada hasta la mitad de la laguna, y menores velocidades desde la mitad aguas abajo, esquinas aguas arriba y zona entre las dos entradas.

Fuente: Elaboración Propia.

3.4.2. Configuración modificada seleccionada.

3.4.2.1 Elevación de la superficie del agua.

La simulación se inicia con la formación de ondas de perturbación radiales en las dos entradas en el borde aguas arriba, como se aprecia en la Figura 3.16, la cual se desarrolla y avanza hasta alcanzar el borde aguas abajo como se ilustra en las Figuras 3.17 y 3.18.

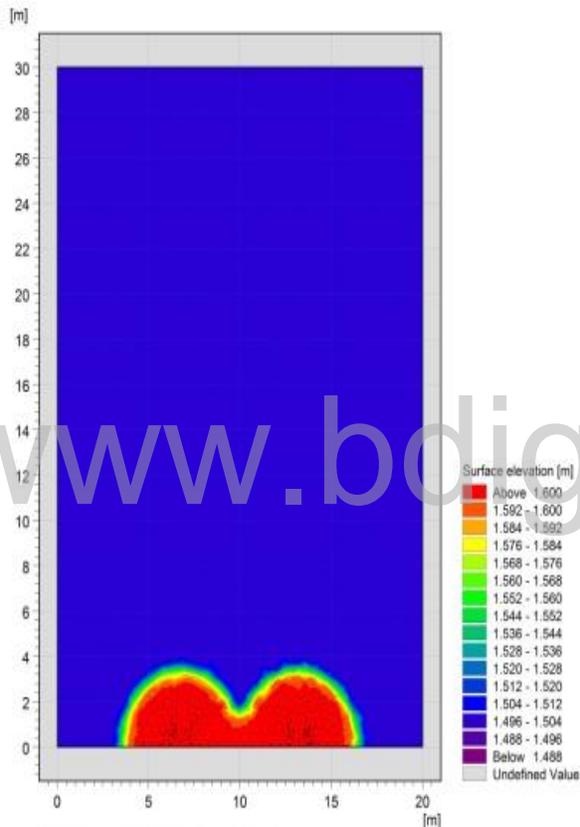


Figura 3.16. Elevación de la superficie a los 5 minutos de simulación.

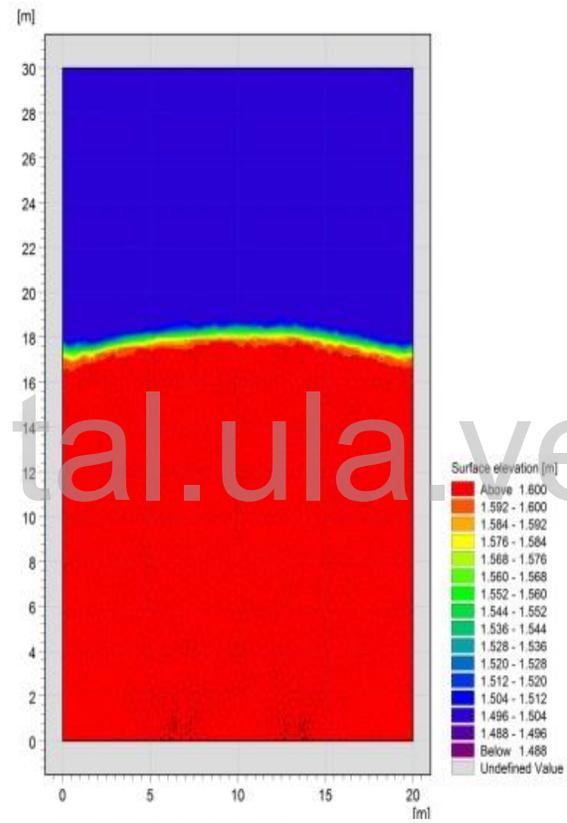


Figura 3.17. Elevación de la superficie a los 50 minutos de simulación

La Figura 3.19 presenta la elevación de la superficie del agua a los 95 minutos de simulación. Se aprecian mayores elevaciones en la zona de entrada aguas arriba.

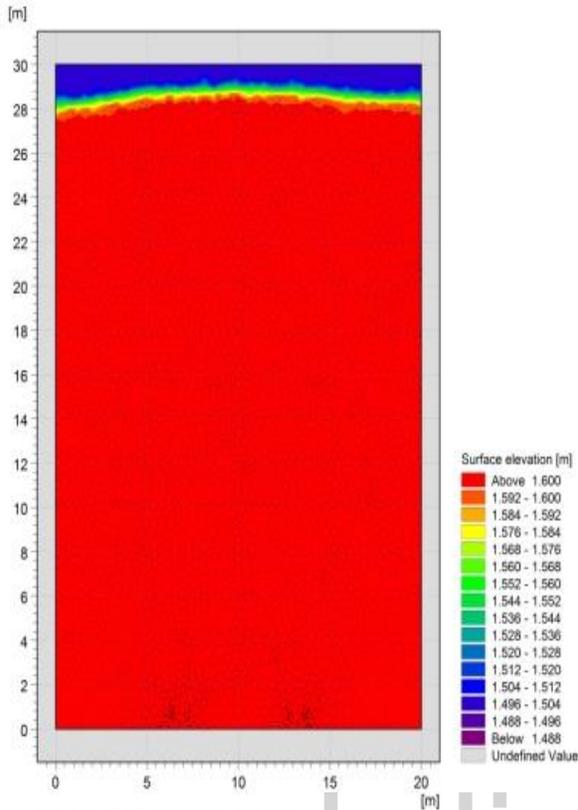


Figura 3.18. Elevación de la superficie a los 80 minutos de simulación.

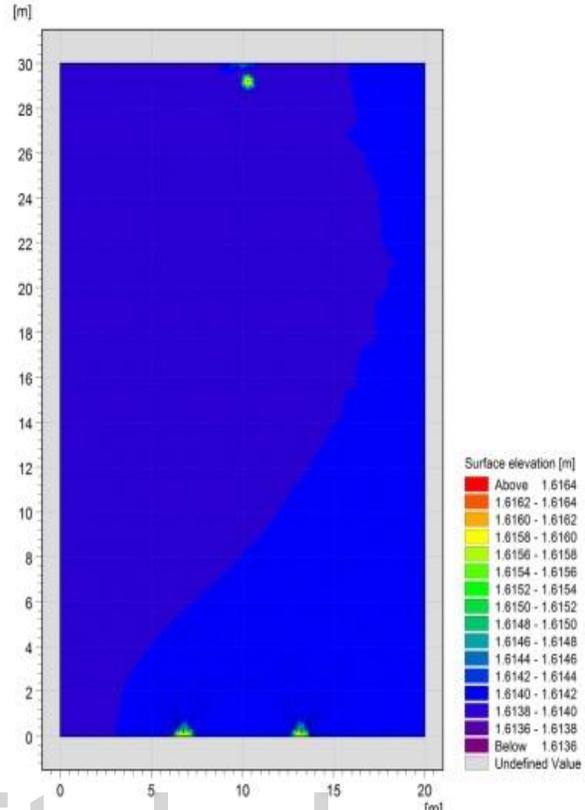


Figura 3.19. Elevación de la superficie a los 95 minutos de simulación.

3.4.2.2 Dirección de flujo.

En las Figuras 3.20 y 3.21 correspondientes a los 5 y 50 minutos de simulación, se observan direcciones de flujo ubicadas en el primer y cuarto cuadrantes en dirección aguas abajo. La Figura 3.22 para un tiempo de simulación de 80 minutos presenta la condición cuando el campo de vectores de dirección se aproxima al borde aguas abajo de la laguna. Se observan aún direcciones de flujo ubicadas en el primer y cuarto cuadrantes en dirección aguas abajo. La Figura 3.23 se corresponde con los 95 minutos de simulación y se pueden visualizar direcciones de flujo ubicadas en el segundo y tercer cuadrante (tonos verdes y azules claros) que implican direcciones de flujo aguas arriba, localizadas principalmente en la mitad aguas abajo.

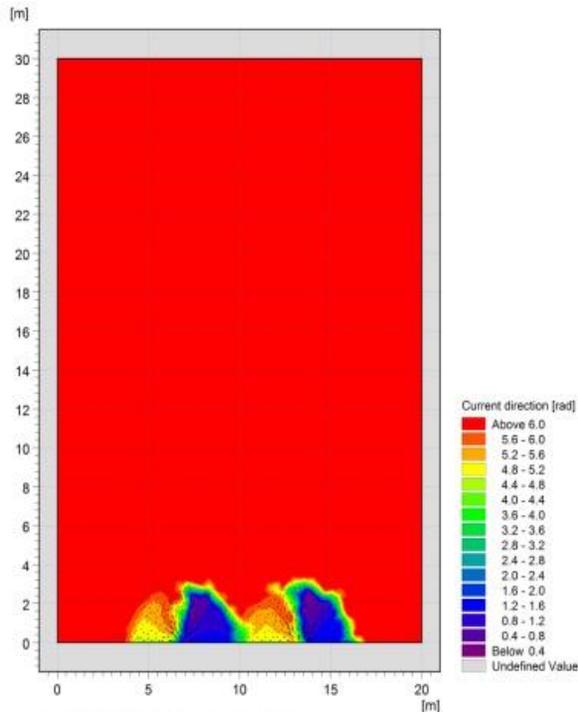


Figura 3.20. Dirección de flujo a los 5 minutos de simulación

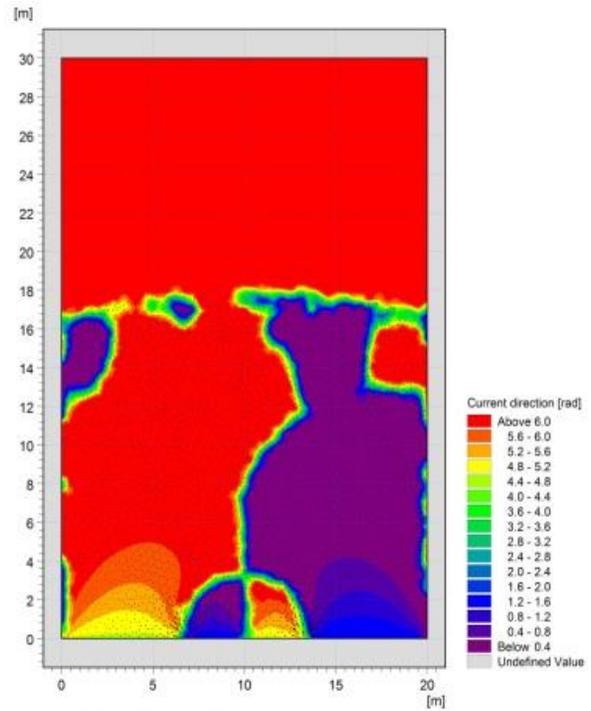


Figura 3.21. Dirección de flujo a los 50 minutos de simulación

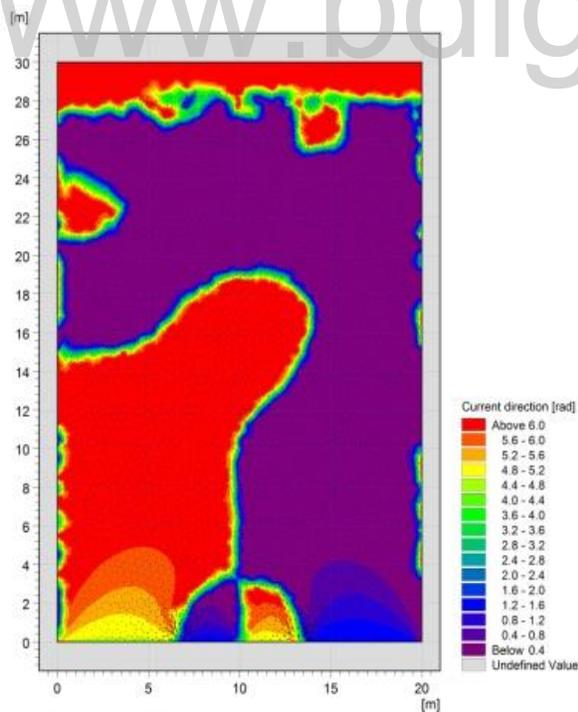


Figura 3.22. Dirección de flujo a los 80 minutos de simulación.

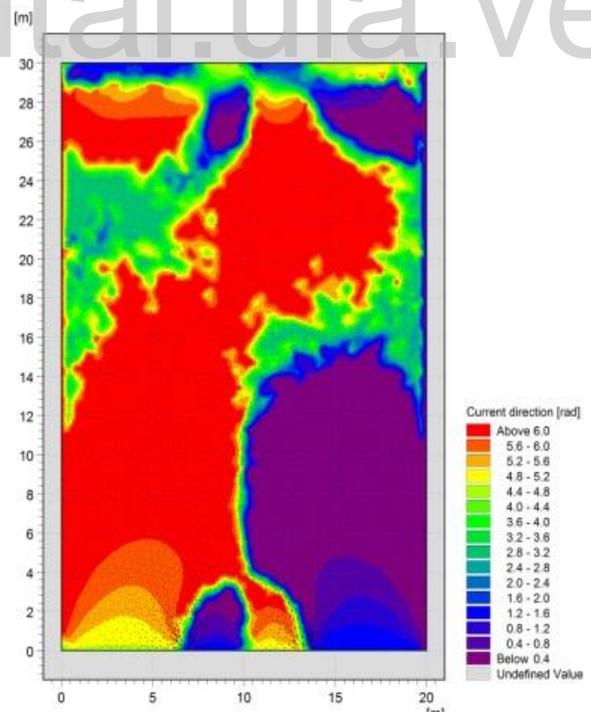


Figura 3.23. Dirección de flujo a los 95 minutos de simulación.

3.4.2.3 Velocidades.

En la Figura 3.24 se observa la unión de los campos de velocidades a los 5 minutos de simulación y la Figura 3.25 corresponde al minuto 45, momento en el que el campo de velocidades alcanza la mitad de la laguna, observándose zonas de bajas velocidades en el área intermedia de las entradas y en las esquinas aguas arriba.

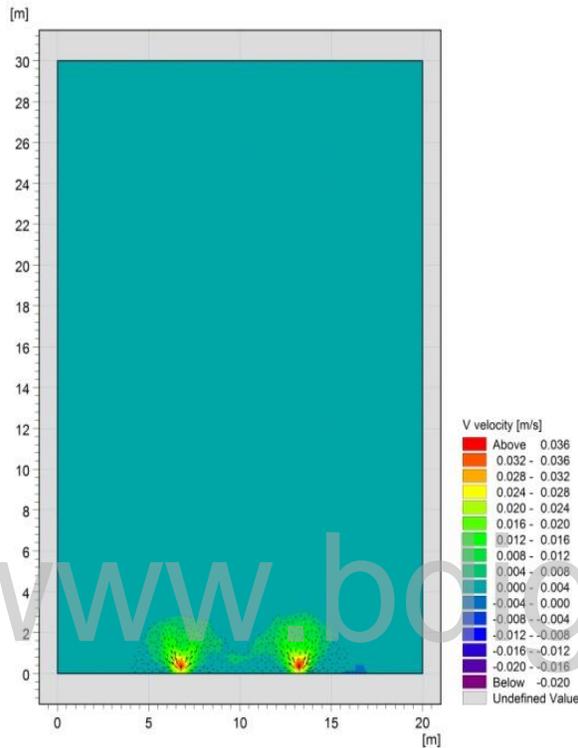


Figura 3.24. Velocidad a los 5 minutos de simulación.

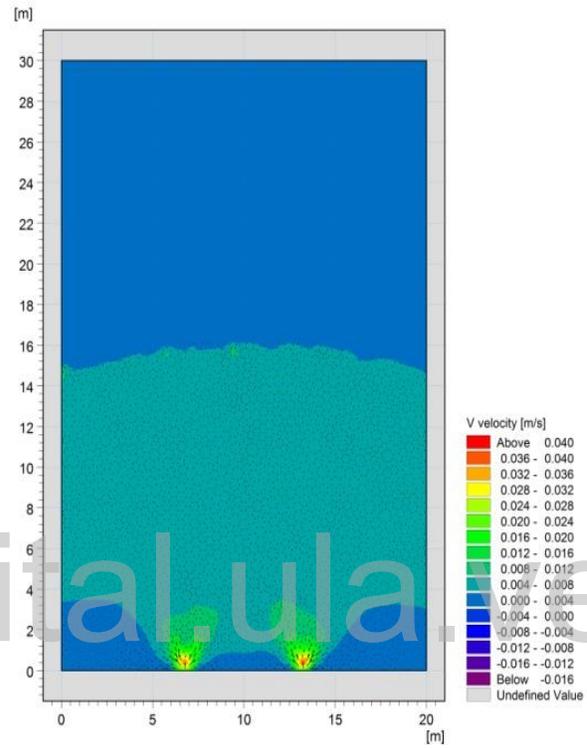


Figura 3.25. Velocidad a los 45 minutos de simulación.

La Figura 3.26 se corresponde a los 83 minutos, donde se alcanza el extremo aguas abajo, observándose que la propagación del flujo choca generando un remanso que a su vez disminuye las magnitudes del campo de velocidades, manteniendo zonas de baja velocidad en las esquinas aguas arriba y en la zona entre las dos entradas. A partir del minuto 90 se corresponde a la Figura 3.27 donde se observan mayores velocidades desde la entrada hasta la mitad de la laguna, y menores velocidades desde la mitad aguas abajo, esquinas aguas arriba y zona entre las dos entradas.

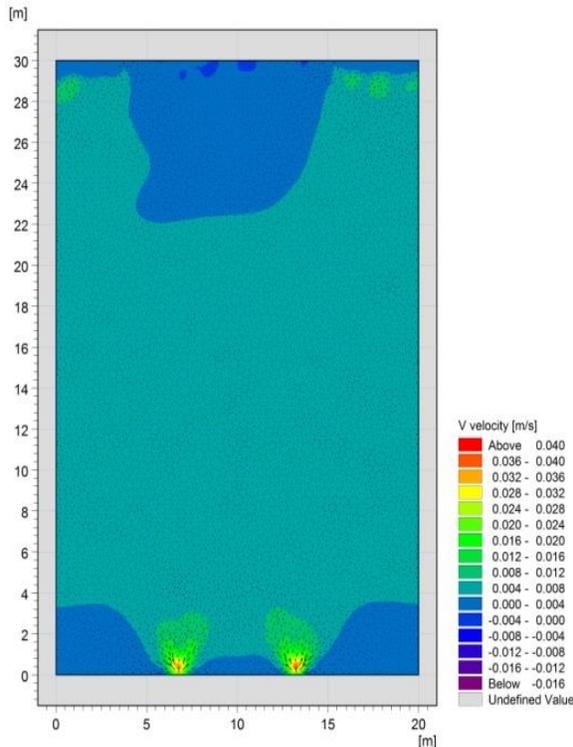


Figura 3.26. Velocidad a los 83 minutos de simulación.

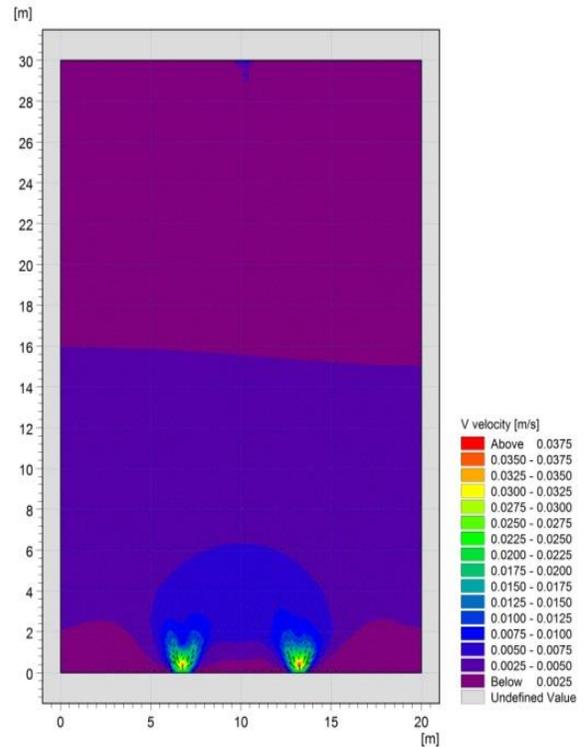


Figura 3.27. Velocidad a los 90 minutos de simulación.

La Figura 3.28 presenta el campo de velocidades a los 7 minutos de simulación. En ella se observa en detalle la ubicación en el primer y cuarto cuadrantes del plano cartesiano, de las direcciones de los vectores de velocidad, lo cual se corrobora en el análisis de dirección de flujo. Lo anterior implica que el flujo se desplaza aguas abajo.

La Figura 3.29 ilustra el campo de velocidades en la salida en el extremo aguas abajo de la laguna a los 100 minutos de simulación. Se puede observar una configuración típica de direcciones encontradas generadas por el sumidero de la salida.

La Figura 3.30 ilustra el campo de velocidades en la esquina derecha aguas arriba a los 95 minutos de simulación. Se aprecian zonas de bajas velocidades en menores áreas en la esquina.

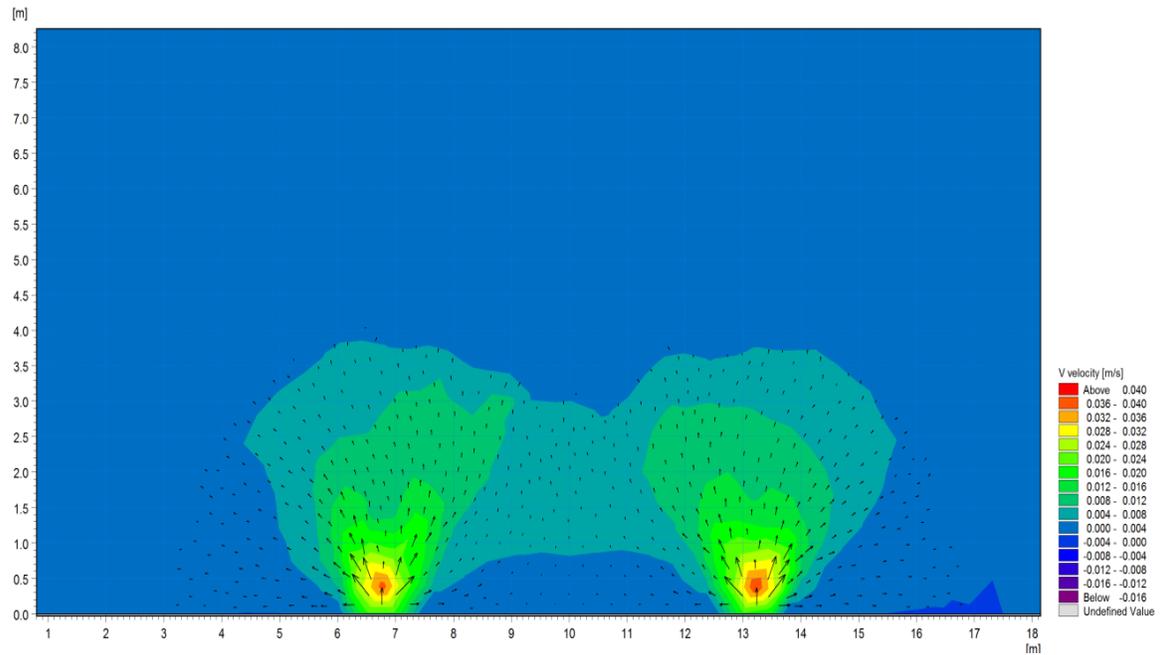


Figura 3.28. Campo de velocidades en las entradas a los 7 minutos de simulación, para las mejoras de entrada y salida propuestas.

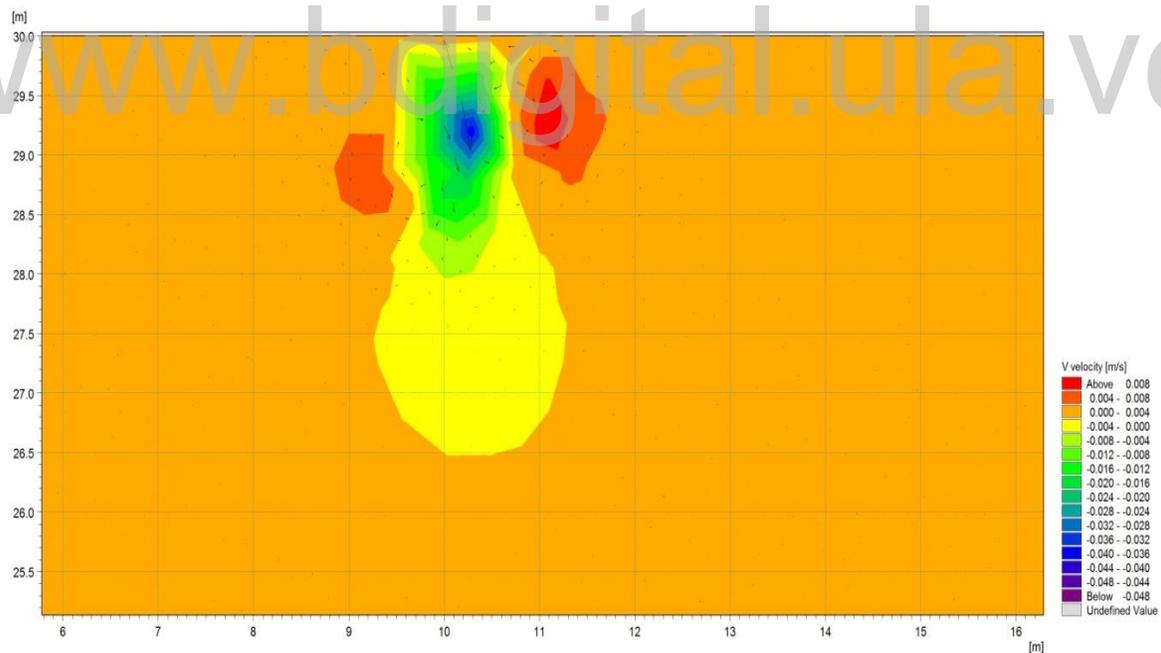


Figura 3.29. Campo de velocidades en la salida a los 100 minutos de simulación para las mejoras de entrada y salida propuestas.

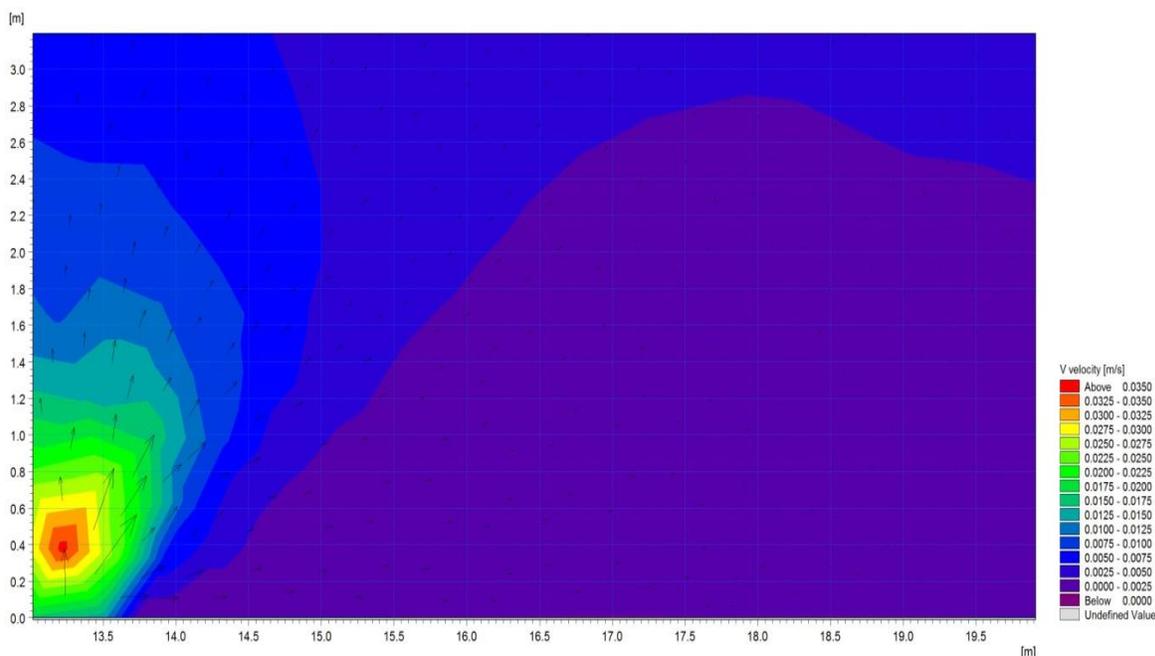


Figura 3.30. Campo de velocidades en la esquina derecha aguas arriba a los 95 minutos de simulación, para las mejoras de entrada y salida propuestas.

www.bdigital.ula.ve

3.5 Conclusiones y recomendaciones.

El patrón de dirección de la corriente para la configuración de la laguna de Caño Seco, se corresponde con una dinámica de flujo que facilita la mezcla, observándose zonas de recirculación y de flujos encontrados. Al analizar la simulación de los campos de velocidades, su dirección y magnitud, se concluye que en las esquinas se generan velocidades muy próximas a cero, lo cual genera zonas de estancamiento que son para fines prácticos zonas muertas. Es sabido que en la medida que se generan zonas muertas, se disminuye el volumen útil de la laguna. Lo anterior se corroboró con observaciones de campo. Las simulaciones de velocidades (magnitud y dirección del campo de vectores), guardan mucha relación con los patrones de dirección de la corriente ya descritos.

Al comparar las distintas alternativas simuladas, se observa que el comportamiento de las variables estudiadas es similar, en especial cuando se aumenta el número de entradas y salidas. En todos los casos simulados se observó, disminución de zonas de bajas velocidades y recirculación, en la medida que aumenta el número de entradas y salidas. Este comportamiento contrasta con los fenómenos de recirculación y zonas de bajas velocidades observadas en el prototipo, especialmente en el primer tercio aguas arriba y el tercer tercio aguas abajo.

Con base a las alternativas simuladas, se escogió como la solución más práctica para mejorar la hidrodinámica, la configuración de dos (2) entradas simétricas en el borde aguas arriba y una (1) salida centrada en el borde aguas abajo. Esta configuración implica menores costos ya que sólo requiere cortar al prototipo, las dos tuberías de entrada y la tubería de salida en los bordes aguas arriba y aguas abajo de la laguna.

El patrón de dirección de la corriente para la alternativa seleccionada, permite observar menores zonas de recirculación y de flujos encontrados. Al analizar la simulación de los campos de velocidades, su dirección y magnitud, se concluye que en las esquinas se generan velocidades muy próximas a cero, en menor proporción que en el prototipo estudiado. Al alcanzar el extremo de la laguna, se observan patrones de flujo en el segundo y tercer cuadrante lo cual indica dirección de flujo aguas arriba; dicho fenómeno está localizado en el último cuarto de la laguna y en el resto de la misma se mantienen flujos en el primer y cuarto cuadrante, verificándose que la propagación del flujo choca en el extremo aguas abajo generando un remanso. También se evidencia mayores velocidades desde la entrada hasta la mitad de la laguna, y menores velocidades en la mitad aguas abajo, esquinas aguas arriba y zona entre las dos entradas.

La simulación de la hidrodinámica de lagunas de estabilización, con base en dinámica computacional de fluidos, representa una poderosa herramienta que puede ser utilizada para el diseño de lagunas de estabilización. Esta herramienta permite predecir el comportamiento hidráulico de los prototipos, para corroborar o corregir, antes de su implementación en campo. Es además útil, como en este caso, para estudiar lagunas ya construidas y en operación, con miras a mejorar su hidrodinámica. En vista de la potencialidad de la dinámica computacional de fluidos, se recomienda implementarla para simular los procesos de depuración que ocurren en lagunas de estabilización.

3.6 Bibliografía.

DHI 2017. "MIKE21 Flow Model. Hydrodynamic Module". User Guide. Danish Hydraulics Institute Denmark.

Espinosa, C. 2020. "Lagunas de Estabilización en el medio rural venezolano. Caso: Zona Panamericana de los Estados Mérida y Trujillo, Venezuela". Trabajo presentado ante la Ilustre Academia Nacional de la Ingeniería y el Hábitat de Venezuela, como requisito parcial para optar a su incorporación como Miembro Correspondiente por el Estado Trujillo. Palacio de las Academias, Caracas, Venezuela. Disponible en: (https://www.acading.org.ve/info/publicaciones/TRABAJOS_INCORPORACION/TI_CARLOS_ESPINOSA.pdf)

- Espinosa, C., Ramírez, S., Jégat, H y Barreto, W., 2020. Estudio hidrodinámico de las condiciones de entrada y salida de lagunas de estabilización implementadas en el medio rural venezolano. Caso Zona Panamericana del estado Mérida, Venezuela. Revista de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Central de Venezuela. N°1, Vol. 35, 2020. Caracas, Venezuela.
- Espinosa, C. 2021. Lagunas de estabilización en el medio rural de la zona Panamericana de los estados Mérida y Trujillo, Venezuela. Editorial Academia Nacional de la Ingeniería y el Hábitat. ISBN 978-980-18-2130-4. Caracas. Venezuela.
- Ramírez, S., Espinosa, C., Jégat, H. y Barreto, W., 2021. Estudio hidrodinámico de lagunas de estabilización implementadas en el medio rural de la Zona Panamericana del estado Mérida, Venezuela. Revista Ciencia e Ingeniería. Vol. 42, No. 1 pp. 113-126, diciembre-marzo. Universidad de los Andes, Venezuela.
- Rengel, M. 1977. "Lagunas de Estabilización para el Tratamiento de Aguas Residuales de Origen Doméstico. Experiencia Venezolana". Serie Ambiente y Recursos Naturales N°AR-5. Casa Editora CIDIAT. Mérida, Venezuela.

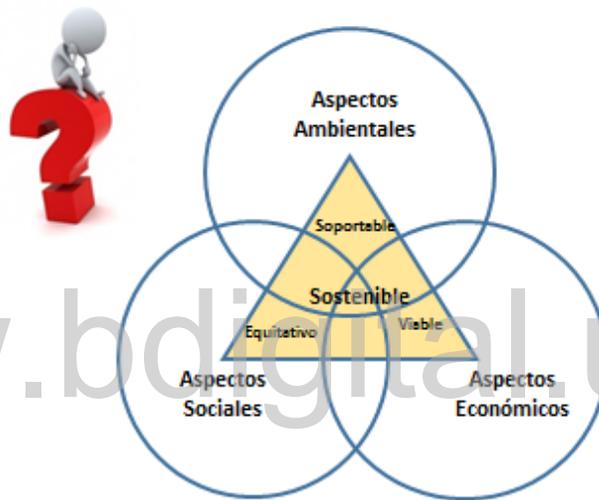
www.bdigital.ula.ve

CAPÍTULO IV.

EL MODELO DE GESTIÓN³

4.1 Desarrollo Conceptual del Modelo.

El modelo de gestión que se propone se basa en el concepto de sostenibilidad definido como el equilibrio entre los aspectos ambientales, sociales y técnico-económicos involucrados. La Figura 4.1 esquematiza este concepto, tal cual como fue descrito en el Capítulo II de esta investigación.



¿Cómo lograr la sostenibilidad?

Figura 4.1 Ilustración de la sostenibilidad considerando aspectos ambientales, sociales y técnico-económicos.

Fuente: Elaboración Propia.

³ Este capítulo generó el documento a., el artículo b. y el libro c.

a. Espinosa, C., 2020. Lagunas de estabilización en el medio rural venezolano. Caso: Zona Panamericana de los Estados Mérida y Trujillo. Trabajo de Ingreso a la Ilustre Academia Nacional de la Ingeniería y el Hábitat de Venezuela. Resolución de la Junta de Individuos de Número No. 272/20 del 10/11/20. Palacio de las Academias, Caracas, Venezuela.

https://www.acading.org.ve/info/publicaciones/TRABAJOS_INCORPORACION/TI_CARLOS_ESPINOSA.pdf

b. Espinosa, C., Ramírez, S., Mejías, M., Jegat, H. y Bachá, M., 2021. "Conceptualización de un Modelo de Gestión para Lagunas de Estabilización en el Medio Rural Venezolano. Caso: Zona Panamericana del Estado Mérida, Venezuela". Revista Ciencia e Ingeniería. Vol. 42, No. 2, pp.179-190, abril-julio, 2021. ISSN 1316-7081. ISSN Elect. 2244-8780 Universidad de los Andes (ULA). Mérida, Venezuela.

c. Espinosa Jiménez, Carlos Francisco Abel 2021. Lagunas de estabilización en el medio rural de la zona Panamericana de los estados Mérida y Trujillo, Venezuela. Editorial de la Academia Nacional de la Ingeniería y el Hábitat. ISBN 978-980-18-2130-4. Caracas. Venezuela.

En los aspectos ambientales serán considerados la identificación de los impactos ambientales en las fases de construcción y operación del proyecto para la formulación de las medidas de atenuación, así como el reúso del efluente y los subproductos en los sistemas lagunares. En los aspectos sociales se contemplarán el indicador de equidad social ambiental de cobertura del servicio de agua potable y el indicador de equidad social ambiental de cobertura del servicio de alcantarillado. En los aspectos técnicos y económicos serán considerados el estudio hidrodinámico de los prototipos de lagunas implementados, el modelo organizacional y la viabilidad económica.

4.2 Aspectos Ambientales.

La Tabla 4.1 presenta para la fase de construcción de los sistemas de lagunas la identificación de los impactos ambientales y sus respectivas medidas de mitigación ó atenuación. Se puede observar que los impactos ambientales identificados pueden ser mitigados con las medidas propuestas. La Tabla 4.2 muestra para la fase de operación de las lagunas los impactos ambientales asociados, así como las medidas de mitigación propuestas. Para ambas fases, construcción y operación, se razona que los impactos identificados son controlados y atenuados con las medidas de mitigación propuestas.

El manejo de los lodos biológicos y los desechos sólidos del cribado serán contemplados en el sistema integrado propuesto basado en el reúso del efluente y los subproductos en el siguiente punto. Los lodos biológicos removidos del fondo y los flotantes en superficie, así como los desechos sólidos retenidos en el cribado, deben ser manipulados con precaución y con la debida protección sanitaria por el personal obrero involucrado, ya que contienen patógenos.

Tabla 4.1 Identificación de impactos ambientales y medidas de mitigación propuestas durante la fase de construcción de los sistemas lagunares.

Fase	Identificación de Impactos	Medidas de Mitigación
Construcción	Incremento del tráfico de vehículos pesados como camiones de acarreo de materiales construcción y maquinaria para excavación y movimiento de tierras como tractores, motoniveladoras y excavadoras de porte mediano.	Con personal obrero entrenado o inducido ordenar el tráfico de los vehículos pesados de acarreo de materiales hacia ó desde la obra. Controlar la velocidad máxima de circulación de los vehículos de acarreo de materiales.
	Generación de ruido.	No permitir la circulación permanente en la zona de acceso y construcción de vehículos de acarreo de materiales y maquinaria para movimiento de tierra, con escapes libres o sin silenciadores.
	Generación de polvo.	Controlar la velocidad máxima de circulación de los vehículos de acarreo de materiales en los accesos no pavimentados. Mantener húmedos o rociar con agua regularmente los accesos no pavimentados.
	Derrame involuntario o accidental de productos refinados de hidrocarburos, como combustibles, aceites y lubricantes para vehículos de combustión interna.	Tener en la zona durante la construcción un equipo capacitado ó inducido para detectar los derrames de hidrocarburos refinados y retirar el suelo afectado por el derrame, entregando el material de suelo contaminado a una empresa prestadora de servicios ambientales especializada en manejo y disposición final de desechos contaminados. La zona afectada por la extracción del material contaminado será restaurada con material adecuado y debidamente compactado, de ser posible con material proveniente de la excavación de las lagunas.
	Movimiento de capa vegetal para fundar las obras civiles sanitarias	La remoción de la capa vegetal para fundar las obras civiles sanitarias está compuesta por vegetación menor y suelo orgánico. Separar la vegetación menor y aprovechar el suelo orgánico en tierras agrícolas cercanas

Tabla 4.2 Identificación de impactos ambientales y medidas de mitigación propuestas durante la fase de operación de los sistemas lagunares.

Fase	Identificación de Impactos	Medidas de Mitigación
Operación	Malos olores.	Respetar los criterios y reglamentos de ubicación de sistemas lagunares tales como distanciamiento a centros poblados y la dirección predominante del viento en la zona del emplazamiento. Construir barreras vivas con árboles adaptados a la zona.
	Generación y extracción periódica de los lodos anaerobios del fondo de las lagunas.	Construir en sitio lechos de secado de los lodos biológicos para su deshidratación, estabilización y posterior reúso como mejoradores de suelos agrícolas en la zona.
	Generación y extracción diaria del material flotante en el espejo de agua de las lagunas.	El material retirado diariamente del espejo de agua son básicamente lodos biológicos, algas y restos vegetales como hojas. Se recomienda deshidratar este material en los lechos de secado y una vez estabilizados utilizarlos como mejoradores de suelos agrícolas en la zona.
	Generación y extracción diaria del material retenido en las rejas de guarda del sistema lagunar (cribado), que básicamente son desechos sólidos (basuras).	El material retenido en el cribado es fundamentalmente basura (compuesto de materia orgánica e inorgánica). Lo más conveniente es disponer de este material en el vertedero de basura de la mancomunidad.

Fuente: Elaboración Propia.

4.2.3 Reúso del efluente y los subproductos en los sistemas lagunares.

Como se explicó en el Capítulo II los sistemas integrados son muy adecuados para su implementación en el medio rural y periurbano. La Figura 4.2 presenta el sistema integrado propuesto para los sistemas lagunares ubicados en el medio rural de la Zona Panamericana del estado Mérida, el cual está basado en el reúso del efluente y los subproductos.

La lógica del sistema integrado propuesto en la Figura 4.2 implica que la comunidad rural se abastece de agua potable de un acueducto y genera aguas residuales eminentemente domésticas. Estas aguas residuales domésticas son recolectadas por un alcantarillado sanitario que las lleva hasta los sistemas lagunares para su depuración. Las lagunas generan un efluente que contiene cantidades necesarias y suficientes de nutrientes como nitrógeno (N) y fósforo (P) y que puede ser usado en ferti-irrigación en predios agropecuarios. Los predios agropecuarios a su vez producen cultivos y productos que abastecen la comunidad rural y otros mercados. Las lagunas además generan lodos anaerobios que previamente deshidratados y secados al sol, pueden ser usados en los predios agrícolas como mejoradores de suelos. El material retenido en el cribado (rejas de guarda del sistema de lagunas) debe ser incorporado al sistema de recolección de desechos sólidos local y dispuesto en el vertedero de basura de la mancomunidad.

Los efluentes de los sistemas lagunares se consideran seguros desde el punto de vista sanitario. Lo anterior implica buena operación y mantenimiento de los sistemas, así como adecuados tiempos de retención para lograr la necesaria remoción de patógenos. Representa además una fuente de agua permanente, que se origina en el abastecimiento de agua potable de las comunidades rurales, servicio que por su naturaleza debe ser confiable. El reúso del efluente en actividades agropecuarias puede ser una alternativa real y factible, especialmente en zonas rurales con marcadas estaciones de lluvia y sequía.

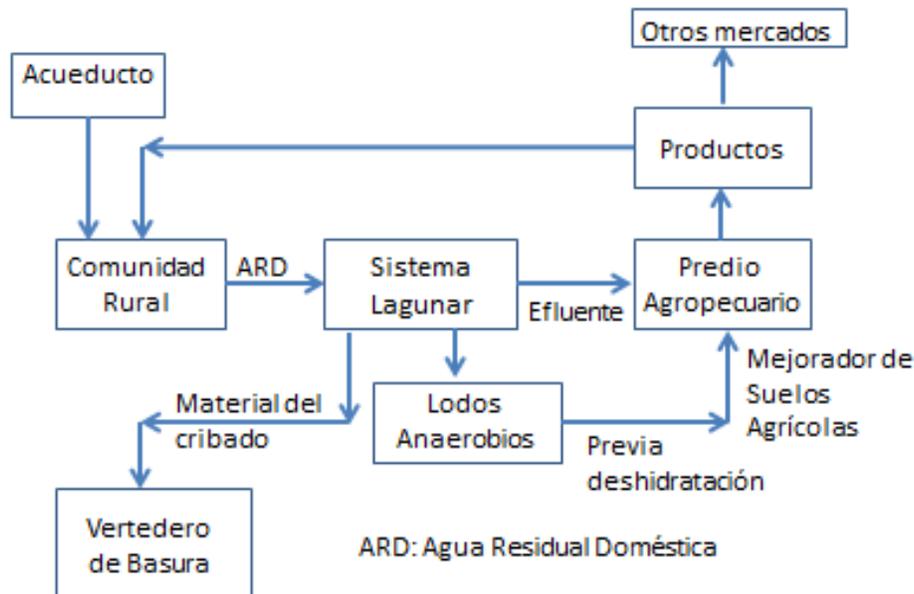


Figura 4.2 Sistema integrado propuesto para el manejo del efluente y los subproductos en los sistemas lagunares emplazados en Zona Panamericana del estado Mérida.

Fuente: Elaboración Propia.

Se estima que cada persona genera y aporta entre 6 y 12 g de nitrógeno (N) por día a las aguas residuales domésticas. Los principales mecanismos de remoción de N en lagunas de estabilización son: pérdida en la biomasa algal en el efluente, por infiltración y por desnitrificación. Cada persona aporta entre 0,6 y 4,5 g de fósforo (P) por día a las aguas residuales domésticas. Los principales mecanismos de remoción de P en lagunas de estabilización son: pérdida en la biomasa algal del efluente y por precipitación. El contenido de P en las algas es cercano al 1% de su peso. Es conocido que la solubilidad del P es muy dependiente del pH lo cual facilita su remoción por precipitación (Arceivala, 1999).

Los lodos biológicos no deben ser aplicados directamente al suelo debido a la carga microbiana que contienen y por esta razón requieren un adecuado manejo y tratamiento. Los lodos de las lagunas son en esencia lodos anaerobios. Estos lodos deshidratados y secados al sol en lechos, son buenos acondicionadores de suelos que incrementan su capacidad de retención de humedad y mejoran su actividad microbiana. Adicionalmente aportan nutrientes al suelo. Los patógenos no son inactivados en su totalidad durante la digestión -anaerobia en este caso- y por lo tanto el secado al sol favorece la desinfección (Arceivala, 1999).

4.3 Aspectos sociales

Siguiendo los lineamientos del tercer principio de la gestión integral de los recursos hídricos, que reconoce el rol protagónico de la mujer en la provisión, el manejo, la protección y el uso racional del recurso hídrico y por lo tanto en la gestión del agua, se considerarán dos indicadores de equidad social de género. Estos indicadores se vinculan directamente con el rol de la mujer en el hogar. La deficiencia de estos indicadores implicaría para la mujer mayor esfuerzo y desgaste físico, por su rol de promotora de salud de su familia. Es importante recordar y resaltar la estrecha vinculación entre los servicios de agua potable y saneamiento y la salud pública, además del rol de la mujer como promotora de salud en el hogar. Estos indicadores básicos se vinculan directamente con la mujer, la familia, la comunidad y la salud pública, y han sido explicados en suficiente detalle en el marco teórico del Capítulo II, (OPS, 2004) y (BID, 2018).

4.3.1 Indicador de equidad social ambiental de cobertura del servicio de agua potable

Este indicador se refiere a la manera como los hogares -viviendas- son abastecidos de agua potable, y se expresa como el porcentaje de hogares -viviendas- de la comunidad que reciben agua en sus casas mediante conexión a un acueducto o sistema de agua potable u otros medios de suministro. La Tabla 4.3 presenta el cálculo de este indicador a partir del censo nacional de 2011, para todas las parroquias de los municipios que conforman la Zona Panamericana del estado Mérida. Un complemento de este indicador es la frecuencia con la cual se abastecen las viviendas de agua potable, el cual se presenta en la Tabla 4.4.

4.3.2 Indicador de equidad social ambiental de cobertura del servicio de alcantarillado

Este indicador se refiere a la manera como los hogares -viviendas- disponen de las aguas residuales o los desechos fisiológicos humanos que allí se generan, y se expresa como el porcentaje de hogares de la comunidad que están conectados a alcantarillados municipales y cloacas rurales, u otras vías de disposición como sépticos e infiltración, letrinas, o simplemente las viviendas no tienen medios de disposición. La Tabla 4.5 presenta el cálculo de este indicador a partir del censo nacional de 2011, para todas las parroquias de los municipios que conforman la Zona Panamericana del estado Mérida.

Tabla 4.3 Indicador de equidad social ambiental de cobertura del servicio de agua potable para todas las parroquias de los municipios de la Zona Panamericana del estado Mérida.

Municipio	Parroquia	Total de Viviendas	Acueducto o Tubería %	Camión Cisterna %	Pila Pública %	Pozo con Tubería o Bomba, %	Pozo o Manantial Protegido, %	Aljibes o Jagüeyes %	Rio, Caño, Quebrada %	Lago, Laguna %
Zona Panamericana del estado Mérida										
Obispo Ramos de Lora	Obispo Ramos de Lora	3 137	94,17	0,06	0,10	3,00	0,16	0,00	0,61	0,13
	Eloy Paredes	1 818	93,40	0,06	0,11	0,83	1,38	0,11	2,20	0,61
	San Rafael de Alcázar	1 246	94,94	0,00	0,00	3,77	0,64	0,00	0,24	0,00
Caracciolo Parra y Olmedo	Caracciolo Parra Capital	5 184	92,34	0,39	0,06	2,18	0,91	0,08	2,66	0,04
	Florencio Ramírez	1 892	93,18	0,74	0,05	1,37	0,32	0,00	2,54	0,00
Julio César Salas	Capital Julio César Salas	3 137	89,96	2,52	0,13	3,70	0,19	0,00	2,61	0,00
	Palmira	732	82,65	0,41	0,00	0,27	0,00	0,00	15,30	0,00
Alberto Adriani	Presidente Betancourt	5 530	89,78	0,09	0,02	9,95	0,05	0,00	0,00	0,00
	Presidente Páez	9 708	92,28	0,06	0,08	7,06	0,03	0,03	0,02	0,01
	Presidente Rómulo Gallegos	7 342	88,35	1,31	0,01	6,85	0,41	0,03	1,23	0,00
	Gabriel Picón González	1 078	87,11	0,56	0,00	1,39	9,55	0,00	0,09	0,00
	Héctor Amable Mora	2 758	83,21	0,04	0,04	2,43	2,28	0,04	10,59	0,00
	José Nucete Sardi	159	44,03	0,00	0,00	55,35	0,00	0,00	0,63	0,00
	Pulido Méndez	7 317	96,09	0,74	0,05	1,69	0,51	0,01	0,30	0,00

Tabla 4.3 Indicador de equidad social ambiental de cobertura del servicio de agua potable para todas las parroquias de los municipios de la Zona Panamericana del estado Mérida.

Municipio	Parroquia	Total de Viviendas	Acueducto o Tubería %	Camión Cisterna %	Pila Pública %	Pozo con Tubería o Bomba, %	Pozo o Manantial Protegido, %	Aljibes o Jagüeyes %	Rio, Caño, Quebrada %	Lago, Laguna %
Zona Panamericana del estado Mérida										
Tulio Febres Cordero	Capital Tulio Febres Cordero	4 344	97,93	0,12	0,05	0,76	0,14	0,00	0,55	0,00
	Independencia	2 284	83,93	5,69	0,04	6,48	1,58	0,00	0,53	0,00
	María de la Concepción Palacios Blanco	1 083	89,47	0,00	0,00	0,74	1,85	0,00	6,09	0,00
	Santa Apolonia	1 114	73,97	0,27	0,00	4,67	4,04	0,00	14,81	0,09
Andrés Bello	La Azulita	4 320	88,06	0,05	0,00	0,42	5,49	0,02	5,69	0,14
Justo Briceño	Capital Justo Briceño	967	76,84	0,21	0,72	0,83	0,83	2,59	16,34	0,00
	San Cristóbal de Torondoy	351	67,81	0,57	0,28	1,42	0,57	0,28	28,49	0,00

Fuente: Elaboración Propia a partir del Censo Nacional de 2011 (INE, 2011).

Tabla 4.4. Frecuencia del servicio de agua en las viviendas, por municipios y parroquias, en la Zona Panamericana del estado Mérida.

Municipio	Parroquia	Total Viviendas (unidades)	Porcentaje del Total de viviendas que recibe el servicio de agua (%)			
			Todos los días	Cada dos o tres días	Una vez por semana (Cada 8 días)	Una vez cada quince días
Obispo Ramos de Lora	Capital Obispo Ramos de Lora	2 956	91,78	5,95	1,66	0,61
	Eloy Paredes	1 699	91,94	6,12	1,65	0,29
	San Rafael Alcazar	1 183	98,39	0,51	0,76	0,34
Caracciolo Parra y Olmedo	Capital Caracciolo Parra	4 807	83,67	13,48	2,52	0,33
	Florencio Ramírez	1 777	97,30	2,03	0,68	0,00
Julio César Salas	Capital Julio César Salas	2 901	76,46	17,06	4,62	1,86
	Palmira	608	91,45	7,40	0,99	0,16
Alberto Adriani	Pdte. Betancourt	4 970	39,76	55,05	4,25	0,95
	Pdte. Páez	8 965	36,16	62,23	1,61	0,00
	Pdte. Rómulo Gallegos	6 583	18,93	69,16	9,31	2,60
	Gabriel Picón González	945	9,21	35,98	54,29	0,53
	Héctor Amable Mora	2 296	75,96	21,47	2,40	0,17
	José Nucete Sardi	70	1,43	97,14	1,43	0,00
	Pulido Méndez	7 085	21,52	66,80	11,07	0,61
Tulio Febres Cordero	Capital Tulio Febres Cordero	4 259	79,57	18,95	1,15	0,33
	Independencia	2 047	73,13	19,54	6,25	1,07
	Ma. de la C. Palacios Blanco	969	96,80	2,17	0,83	0,21
	Santa Apolonia	827	94,68	4,84	0,48	0,00
Andrés Bello	La Azulita	3 806	96,93	2,23	0,39	0,45
Justo Briceño	Capital Justo Briceño	745	80,00	18,93	1,07	0,00
	San Cristóbal de Torondoy	240	95,00	4,58	0,42	0,00

Fuente: Elaboración Propia a partir del Censo Nacional de 2011 (INE, 2011).

Tabla 4.5. Indicador de equidad social ambiental de cobertura del servicio de alcantarillado para todas las parroquias de los municipios de la Zona Panamericana del estado Mérida.

Municipio	Parroquia	Total Viviendas (unidades)	Disposición de excretas como porcentaje del total de viviendas (%)				
			Poceta Conectada a Cloaca	Poceta Conectada a Pozo Séptico	Poceta s/ Conexión a Cloaca o a Pozo Séptico	Excusado de Hoyo o Letrina	No Tiene Poceta o Excusado
Obispo Ramos de Lora	Capital Obispo Ramos de Lora	3 137	54,57	35,70	4,91	0,83	3,98
	Eloy Paredes	1 818	67,82	14,19	12,82	0,44	4,73
	San Rafael Alcázar	1 246	30,98	55,30	4,49	0,40	8,83
Caracciolo Parra Olmedo	Capital Caracciolo Parra	5 184	49,73	38,97	4,67	1,12	5,52
	Florencio Ramírez	1 892	35,15	52,22	3,91	1,22	7,51
Julio César Salas	Capital Julio César Salas	3 137	54,77	34,40	3,83	0,64	6,38
	Palmira	732	0,00	77,05	11,34	0,55	11,07
Alberto Adriani	Pdte. Betancourt	5 530	77,67	20,74	0,90	0,20	0,49
	Pdte. Páez	9 708	75,19	22,93	1,08	0,21	0,60
	Pdte. Rómulo Gallegos	7 342	72,77	21,68	3,39	0,49	1,66
	Gabriel Picón González	1 078	78,57	15,68	3,53	0,65	1,58
	Héctor Amable Mora	2 758	62,51	28,39	5,77	0,69	2,65
	José Nucete Sardi	159	0,00	85,53	0,00	12,58	1,89
	Pulido Méndez	7 317	94,86	2,83	0,63	0,19	1,49
	Capital Tulio Febres Cordero	4 344	60,06	33,72	1,82	0,23	4,17
Tulio Febres Cordero	Independencia	2 284	12,35	74,04	1,53	0,96	11,12
	Ma. de la C. Palacios Blanco	1 083	25,02	37,95	23,36	0,74	12,93
Andrés Bello	Santa Apolonia	1 114	14,45	50,72	10,59	3,23	21,01
	La Azulita	4 320	40,37	51,48	5,51	0,58	2,06
Justo Briceño	Capital Justo Briceño	967	35,57	46,43	7,45	0,52	10,03
	San Cristóbal de Torondoy	351	0,00	77,49	7,98	0,85	13,68

Fuente: Elaboración Propia a partir del Censo Nacional de 2011 (INE, 2011).

4.4 Aspectos Técnicos y Económicos

4.4.1 Estudio hidrodinámico de los prototipos de lagunas implementados

En el Capítulo III titulado “Estudio hidrodinámico de los prototipos de lagunas implementados”, se ha desarrollado con suficiente detalle este tema. Mediante la implementación de un modelo de simulación basado en dinámica computacional de fluidos (MIKE 21 del Danish Hydraulic Institute, autorizado por una licencia para Tesis Doctoral) se simuló la hidrodinámica de los prototipos de lagunas implementados en el medio rural de la Zona Panamericana del estado Mérida. En una primera fase se simularon las condiciones de geometría y configuración de entrada y salida originales, basadas en mediciones y observaciones de campo, para las variables elevación del nivel de agua, y campos de dirección de flujo y de velocidades. Luego de analizar los resultados, en una segunda fase se plantearon mejoras en las condiciones de entrada y salida para los prototipos implementados, se simulan las mismas variables, se compararon, y se escogió y desarrolló la considerada más práctica y que incrementara el desempeño hidrodinámico del prototipo. Como avances del estudio hidrodinámico de esta investigación se han realizado las publicaciones Espinosa y col (2020) y Ramírez y col (2021).

4.4.2 Una propuesta organizacional para la gestión de los sistemas lagunares

4.4.2.1 Antecedentes.

Entre el 2001 y 2005, un grupo de docentes e investigadores del CIDIAT-ULA visitó la Zona Panamericana del estado Mérida para observar la situación de los sistemas lagunares construidos y en funcionamiento en ese estratégico e importante sector geográfico del estado. En esas giras técnicas participaron los profesores Armando Cubillos Zárate, Pedro Misle Benítez, José Pérez Roas y Carlos Espinosa Jiménez, el Ingeniero Jorge Rodríguez Ayala, en compañía del Ingeniero Egar de Jesús Pérez del programa de cloacas rurales del MSAS Región Mérida recién adscrito a SAVIR-MINFRA. Estas giras técnicas generaron en los participantes toma de conciencia del problema que observaron.

Posteriormente, en 2006 se propuso la tesis de maestría en gestión de recursos naturales renovables, de la ingeniero químico Mabel Mejías Monsalve. En esa tesis de maestría titulada “Propuesta de un modelo de gestión para lagunas de estabilización. Caso: Zona Panamericana del estado Mérida”, participaron Carlos Espinosa Jiménez como tutor y José Pérez Roas y Pedro Misle Benítez como asesores. Este trabajo de investigación referenciado bibliográficamente como Mejías (2008), es la fuente primaria de la propuesta organizacional que a continuación se expone.

4.4.2.2 Metodología.

La Figura 4.3 presenta la metodología general establecida para formular el modelo de gestión propuesto por Mejías (2008).

Se realizó un análisis causa-efecto a los principales problemas presentes en los sistemas lagunares, con base en el marco lógico, en donde se esquematizaron las causas y efectos de los problemas. Con el árbol de problemas ya esquematizado, se definió el árbol de objetivos, en donde las causas pasan a ser medios y los efectos se convierten en fines. Luego de tener definidos los problemas, se procedió a identificar a diferentes actores para determinar su percepción en los problemas existentes en los sistemas lagunares, las posibles soluciones que ellos consideran y la responsabilidad que pudiera tener cada uno de ellos en la gestión del sistema.

Se convocó a los actores identificados y se les realizó una encuesta. Se tomó como herramienta una metodología que cuenta con un programa estadístico llamado “Quantitative Sorting” (Q-SORT), ambos instrumentos de dominio público. La herramienta consiste en la elaboración de preguntas sencillas y concretas en donde los participantes no dan una respuesta específica sino le dan un orden de prioridad a las posibles respuestas, que se deben analizar desde el punto de vista del entrevistado.

William Stephenson, estadístico norteamericano, propuso la denominación de Q-Técnica o Q-Método para designar una técnica de investigación de la personalidad (donde la letra Q representa qualities). Es una técnica que propone un método estadístico para analizar la distribución y la interrelación de actitudes individuales dentro de la evaluación de una situación dada por parte de un grupo de personas. Esta técnica usa un instrumento: el llamado Q-Sort. La palabra SORT en su nombre, informa que se trata de una elección de enunciados cualitativos (Mejías, 2008).

La encuesta contaba con tres preguntas paraguas, a cada una de ellas les correspondía veintitrés oraciones. Estas preguntas fueron elaboradas tomando en cuenta el diagnóstico técnico, el árbol de problemas y el árbol de objetivos. La primera pregunta realizada tenía que ver con los problemas existentes en los sistemas, la segunda con las soluciones propuestas por los participantes en la encuesta y en la tercera con la organización que debía de encargarse del sistema lagunar. (Mejías, 2008).

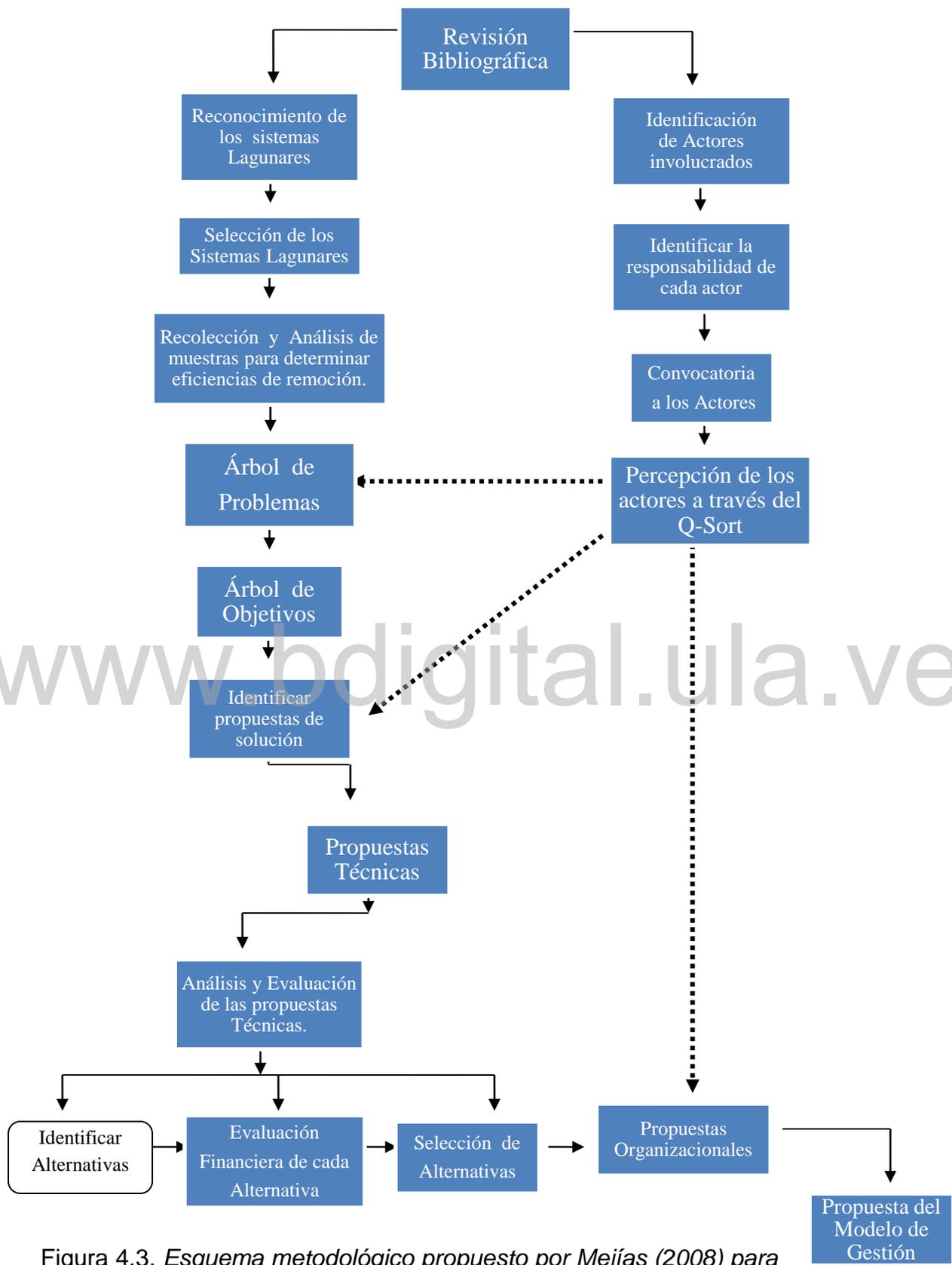


Figura 4.3. Esquema metodológico propuesto por Mejías (2008) para definir el modelo de gestión.

Para llevar a cabo la propuesta organizacional se comenzó por analizar los actores identificados anteriormente y precisar aquellos que tuvieran de una u otra forma capacidad en las etapas de un proyecto para diseñar, financiar, construir e inspeccionar y operar y mantener los sistemas lagunares de acuerdo con la alternativa seleccionada. Luego, a estos actores seleccionados se les aplicó una matriz de análisis de involucrados para poder obtener los mandatos, recursos, intereses y problemas percibidos por los actores involucrados.

Se realizó un análisis al marco legal, tomando en cuenta diferentes leyes vigentes en Venezuela como son: la Constitución de la República Bolivariana de Venezuela, la Ley de Aguas, la Ley Orgánica de Régimen Municipal, la Ley Orgánica para la Prestación de Servicios de Agua Potable y Saneamiento, la Ley Orgánica del Ambiente y la Ley de Consejos Comunales. Con los actores seleccionados y el análisis de involucrados realizado a cada uno de ellos, se pudo proponer un grupo de Organizaciones responsables para llevar a cabo las diferentes etapas del proyecto y así poder implementar la alternativa seleccionada. Finalmente, con base en las propuestas de evaluación técnica y organizacional, analizando algunas alternativas de solución identificadas y la percepción de los Actores mediante la metodología Q-Sort, se desarrolló la Propuesta sostenible del Modelo de Gestión para las Lagunas de Estabilización.

4.4.2.3 Propuesta Organizacional.

Con fundamento en toda la discusión y análisis anteriores, Mejías (2008) formula la siguiente propuesta:

Para el diseño del proyecto se propone al Servicio Autónomo de Vivienda Rural (SAVIR), como ente adscrito al Ministerio de Infraestructura, quien era el ente encargado de ejecutar los diseños de las obras requeridas para la disposición de aguas residuales en las zonas rurales del país, funciones heredadas de la Dirección de Malariología del Ministerio de Salud y Asistencia Social (MSAS).

Para el financiamiento del proyecto se propone a la Alcaldía del Municipio, ya que esta cuenta con recursos propios, así como recursos asignados a obras tanto de programas estatales y nacionales. Para construir e inspeccionar el proyecto se propone al Servicio Autónomo de Vivienda Rural (SAVIR), quienes podrían apoyarse en las alcaldías y en las mesas técnicas de agua. Para operar y mantener los sistemas lagunares, se propone a la Alcaldía del Municipio, o bien al organismo que este decida ceder o transferir, el cual puede ser la empresa de aguas regional, o bien a los consejos comunales a través de las mesas técnicas de agua; en este caso bajo la supervisión técnica de un ente técnicamente competente.

El Servicio Autónomo Programa Nacional de Vivienda Rural (SAVIR) del Ministerio de Sanidad y Asistencia Social (MSAS) fue adscrito al Ministerio de Vivienda y Hábitat (MPPVH) mediante Decreto con Rango y Fuerza de Ley sobre adscripciones de Institutos Autónomos y Fundaciones del Estado, aprobado el 30-08-1999. Luego SAVIR ya adscrito al MPPVH fue suprimido y liquidado mediante Decreto N°5621 publicado en Gaceta Oficial del 05-10-2007. Años después en Gaceta Oficial N°40329 de fecha 10-01-2014 el MPPVH delegó en el Banco Nacional de Vivienda y Hábitat (BANAVIH) la administración, recaudación y cobranza de la cartera inmobiliaria de SAVIR y otros entes adscritos. Todo indica que la función técnica y de ingeniería de SAVIR la ha asumido la empresa hidrológica regional Aguas de Mérida CA, la cual tiene jurisdicción en la Zona Panamericana del estado Mérida.

La Figura 4.4 esquematiza la conformación del modelo organizacional del sistema de gestión propuesto, tomando en cuenta las etapas del proyecto y las nuevas competencias de los entes involucrados.



Figura 4.4. Esquema de la propuesta organizacional para la gestión de los sistemas lagunares, tomando en cuenta las etapas de un proyecto. Fuente: Tomado de Mejías (2008) y modificado conforme a las nuevas competencias de los entes involucrados.

4.4.3 Viabilidad Económica.

Existen diferentes métodos para evaluar una inversión o un proyecto. Entre los métodos clásicos está la tasa interna de retorno (TIR). El criterio de este método implica que para aprobarse el proyecto la TIR debe ser mayor que la tasa de descuento de la inversión del proyecto, de lo contrario el proyecto se rechaza. Un argumento que respalda la

escogencia del TIR es que resume los méritos del proyecto en una cifra, la cual es independiente de las tasas de interés del mercado de capitales. Por las razones expuestas la viabilidad económica del modelo propuesto se basa en la tasa interna de retorno.

4.5 La conceptualización del modelo de gestión propuesto.

La Figura 4.5 resume la conceptualización del modelo propuesto para la gestión de los sistemas lagunares ubicados en el medio rural de la Zona Panamericana del estado Mérida. Lo sostenible es lo que conlleva a que exista una relación razonable en el tiempo entre lo ambiental, lo social y lo económico, con respaldo legal para lograr garantía de derechos. Soportable implica que la población haga uso de los recursos naturales con el menor impacto negativo posible para el medio ambiente. Viable significa que sea económicamente posible. Equitativo implica equilibrio entre lo económico y lo social, y que la población tenga acceso a los servicios a costos razonables.

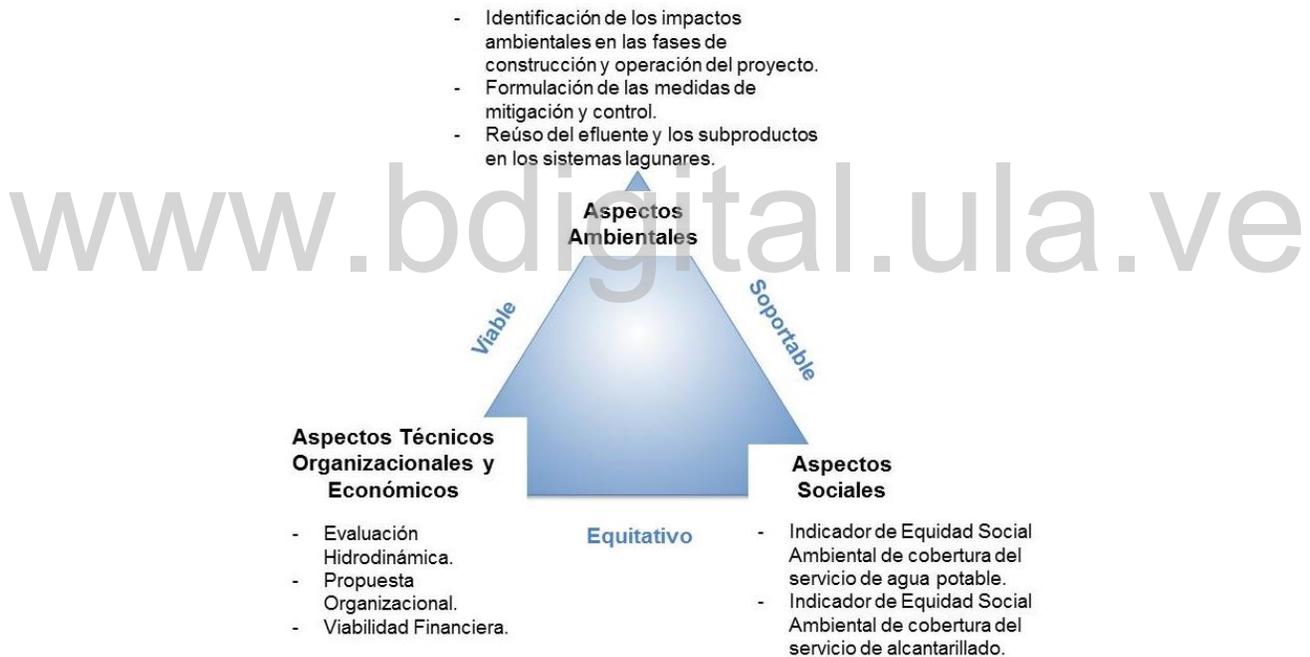


Figura 4.5 Conceptualización del modelo propuesto para la gestión de los sistemas lagunares ubicados en el medio rural de la Zona Panamericana del estado Mérida.

4.6. Conclusiones y recomendaciones

4.6.1. Conclusiones

El modelo conceptual planteado para gestionar lagunas de estabilización en el medio rural de la Zona Panamericana del estado Mérida tiene plena vigencia, ya que resolvería un problema histórico y común en el medio rural venezolano, de ser adaptado e implementado. Durante años el Estado Venezolano ha invertido recursos económicos en la construcción de obras hidrosanitarias básicas para sanear el medio rural no disperso y en el momento de su puesta en marcha no hay lineamientos claros para su gestión sostenible en el tiempo. El saneamiento del medio rural implica mayor calidad de vida para sus habitantes.

Los aspectos ambientales considerados mitigan los impactos negativos durante las fases de construcción y operación de los sistemas lagunares. El planteamiento de un sistema integrado para el manejo del efluente y los subproductos es válido y acertado, contribuyendo a un buen balance del procesamiento de los nutrientes en el medio rural. El uso de sólidos biológicos (lodos biológicos de las lagunas) debidamente procesados y dispuestos en predios agrícolas como mejoradores de suelos, puede aportar fertilidad a los suelos agrícolas y mejorar su estructura. Los efluentes depurados pueden ser reusados en “ferti-irrigación” en predios agrícolas, mejorando el balance hídrico local, especialmente en épocas de estiaje.

Los indicadores sociales contemplados son además indicadores sociales de género, y se identifican con el tercer enunciado de la gestión integral de los recursos hídricos. A la mujer en su rol de promover y cuidar de la salud de los miembros de la familia y la higiene general del hogar, se le favorecen y facilitan sus roles en la medida que tiene acceso al agua potable en su propia vivienda y esta posee además conexión a un sistema de alcantarillado o de disposición de aguas servidas. Es importante además resaltar la estrecha relación entre el abastecimiento de agua potable, el manejo adecuado de las aguas servidas y la salud pública, a nivel de hogar y comunitario.

Los aspectos técnicos referentes a la hidrodinámica de los sistemas lagunares, fueron abordados mediante una poderosa herramienta basada en dinámica computacional de fluidos. Las simulaciones realizadas para la geometría y condiciones de entrada y salida originales permitieron proponer las modificaciones requeridas para mejorar la hidrodinámica de las lagunas. El modelo organizacional propuesto está basado en la percepción que los actores involucrados tienen sobre el problema, aportando así un novedoso y eficaz método participativo. La viabilidad financiera está propuesta mediante la Tasa Interna de Retorno, un método clásico que resume los méritos del proyecto en una cifra, la cual es independiente de las tasas de interés del mercado de capitales.

4.6.2. Recomendaciones

Se recomienda aplicar el modelo conceptual desarrollado a un sistema de lagunas implementado en el medio rural de la Zona Panamericana del estado Mérida, a fin de verificarlo metodológicamente en la práctica de la ingeniería.

4.7 Bibliografía.

Arceivala, S., 1999. Wastewater Treatment for Pollution Control. Tata McGraw Hill. ISBN 0-07-463002-4. New Delhi. India.

BID 2018. Lineamientos para la gestión social en proyectos de agua potable y saneamiento en comunidades rurales. Banco Interamericano de Desarrollo. Primera Edición. Quito, Ecuador.

Espinosa, C., 2020. Lagunas de estabilización en el medio rural venezolano. Caso: Zona Panamericana de los Estados Mérida y Trujillo. Trabajo de Ingreso a la Ilustre Academia Nacional de la Ingeniería y el Hábitat de Venezuela. Resolución de la Junta de Individuos de Número No. 272/20 del 10/11/20. Palacio de las Academias, Caracas, Venezuela.

Espinosa, C., Ramírez, S., Jégat, H. y Barreto, W., 2020. Estudio hidrodinámico de las condiciones de entrada y salida de lagunas de estabilización implementadas en el medio rural venezolano. Caso Zona Panamericana del estado Mérida, Venezuela. Revista de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Central de Venezuela. N°1, Vol. 35, 2020. Caracas, Venezuela.

Espinosa, C., Ramírez, S., Mejías, M., Jégat, H. y Bachá, M., 2021. Conceptualización de un Modelo de Gestión para Lagunas de Estabilización en el Medio Rural Venezolano. Caso: Zona Panamericana del estado Mérida, Venezuela. Revista Ciencia e Ingeniería. Vol. 42, No. 2, pp.179-190, abril-julio, 2021. Universidad de los Andes (ULA). Mérida, Venezuela.

Espinosa, C., 2021. Lagunas de estabilización en el medio rural de la zona Panamericana de los estados Mérida y Trujillo, Venezuela. Editorial de la Academia Nacional de la Ingeniería y el Hábitat de Venezuela. ISBN 978-980-18-2130-4. Caracas. Venezuela.

INE 2011. Censo Nacional de Población y Vivienda. Instituto Nacional de Estadística. Ministerio de Planificación y Desarrollo. República Bolivariana de Venezuela.

Mejías, M., 2008. Propuesta de un modelo de gestión para lagunas de estabilización. Caso: Zona Panamericana del estado Mérida. Trabajo de grado para optar al título

de Magíster Scientiae en Gestión de los Recursos Naturales y Medio Ambiente con énfasis en Impacto Ambiental. Centro Interamericano de Desarrollo e Investigación Ambiental y Territorial. Universidad de los Andes. CIDIAT-ULA. Mérida. Venezuela.

OPS 2004. Indicadores básicos para el análisis de la equidad de género en salud. Organización Panamericana de la Salud. ISBN 92 7 532546 4. Washington, D. C. USA.

Ramírez, S., Espinosa, C., Jégat, H. y Barreto, W., 2021. Estudio hidrodinámico de lagunas de estabilización implementadas en el medio rural de la Zona Panamericana del estado Mérida, Venezuela. Revista Ciencia e Ingeniería. Vol. 42, No. 1 pp. 113-126, diciembre-marzo. Universidad de los Andes (ULA), Mérida, Venezuela.

www.bdigital.ula.ve

CAPÍTULO V.

APLICACIÓN DEL MODELO DE GESTIÓN⁴

5.1 Introducción.

El Estado Venezolano ha realizado en los últimos 50 años importantes inversiones de recursos financieros en la construcción de obras hidrosanitarias en el medio rural venezolano, para generar las condiciones de salubridad y bienestar que requieren sus habitantes (Espinosa, 2020). Entre estas obras destacan los acueductos rurales, los alcantarillados o cloacas rurales y los sistemas de depuración de las aguas residuales, como las lagunas de estabilización.

En la Zona Panamericana del estado Mérida, la carencia de un modelo de gestión que garantice la sostenibilidad, ha traído como consecuencia el abandono y el deterioro de esta importante infraestructura hidrosanitaria.

Espinosa y col (2021)¹ desarrollan la conceptualización de un modelo de gestión para lagunas de estabilización, basado en el triángulo de la sostenibilidad, la cual se presenta en la Figura 5.1.

Para ilustrar la implementación del modelo conceptual de gestión desarrollado por Espinosa y col (2021)¹, se ha escogido el sector El Pinar, en la parroquia Florencio Ramírez del municipio Caracciolo Parra y Olmedo, de la Zona Panamericana del estado Mérida. Además, El Pinar fue uno de los sectores contemplados en la investigación realizada por Mejías (2008) para definir el modelo organizacional considerado en la propuesta conceptual del modelo de gestión. A fin de lograr la ilustración completa del modelo conceptual de gestión de lagunas al cual se hace referencia, se realizará su implementación para un sistema de dos (2) lagunas facultativas en serie, de dimensiones 20m x 30m de espejo de agua y 1,50m de profundidad, que es uno de los prototipos implementados y estudiados hidrodinámicamente, en la Zona Panamericana del estado Mérida, por Espinosa y col (2020) y Ramírez y col (2021).

4. Este capítulo se basó en el artículo a y generó el artículo b:

a. Espinosa, C., Ramírez, S., Mejías, M., Jegat, H. y Bachá, M. 2021¹. Conceptualización de un modelo de gestión para lagunas de estabilización en el medio rural venezolano. Caso: Zona Panamericana del Estado Mérida, Venezuela. Revista Ciencia e Ingeniería. Vol. 42, N° 2 pp. 179-190, abril-julio, 2021. Universidad de los Andes, Venezuela.

b. Espinosa, C., Ramírez, S., Mejías, M., Jégat, H. y Barreto, W. 2021². Implementación de un Modelo de Gestión de Lagunas de Estabilización en el Medio Rural Venezolano. Caso: El Pinar, Zona Panamericana del Estado Mérida, Venezuela. Revista Ciencia e Ingeniería. Vol 42, N°3 pp.263-274, agosto-noviembre, 2021. Universidad de los Andes, Venezuela.

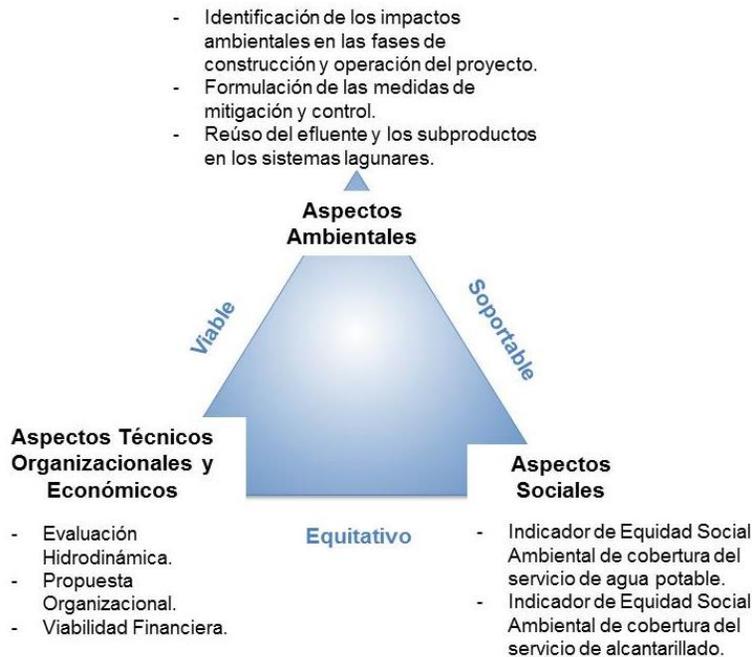


Figura 5.1. Conceptualización del modelo propuesto por Espinosa y col (2021)¹ para la gestión de los sistemas lagunares ubicados en el medio rural de la Zona Panamericana del estado Mérida, Venezuela.

5.2 Área de estudio

La población de El Pinar se encuentra en el municipio Caracciolo Parra y Olmedo, parroquia Florencio Ramírez. Está situado al noroeste del estado Mérida al sur del Lago de Maracaibo. El municipio se ubica dentro de la cuenca hidrográfica del Lago de Maracaibo y sus principales ríos son: Tucaní, San Antonio, Río Frío y Guachizón que nacen en la Sierra Norte de la Culata en la Cordillera de Mérida. Su temperatura media anual oscila entre 22,30°C y 27,30°C y la precipitación entre 1.329 mm y 2.027 mm de media anual, Mejías (2008).

5.3 Evaluación del sistema de lagunas

El sistema de lagunas que se implementó para la ilustración del modelo de gestión propuesto es uno de los prototipos construidos en la Zona Panamericana del estado Mérida, y consta de dos lagunas facultativas en serie de 20m x 30m (600 m²) espejo de agua y profundidad de 1,50m. Para determinar la capacidad de este prototipo de lagunas, fue evaluado mediante el modelo de carga desarrollado y presentado por Cubillos (1985).

$$CSM = 714,3 \text{ d } (1,085)^{T-35} \quad (1)$$

Para lagunas primarias:

$$CSR = 25,133 + 0,675 \text{ CSA} \quad (2)$$

Para lagunas secundarias:

$$CSR = -3,8179 + 0,8167 \text{ CSA} \quad (3)$$

En las cuales:

CSM: carga orgánica superficial máxima, KgDBO/ha.d.

d: profundidad de la laguna, m.

T: temperatura media del agua en el mes más frío, °C.

CSA: carga orgánica superficial aplicada, KgDBO/ha.d.

CSR: carga orgánica superficial removida, KgDBO/ha.d.

Para las dimensiones y la profundidad de la laguna primaria, asumiendo un aporte per cápita de 30gDBO/persona.d, una dotación de 0,20 m³/persona.d y un reintegro del 80%, el sistema está en capacidad de depurar aguas residuales domésticas para una población estimada en 873 personas o unas 175 viviendas. Con base a estas asunciones y a los criterios del modelo de carga de Cubillos (1985), se ha elaborado un resumen del desempeño del sistema de lagunas (Tabla 5.1).

Tabla 5.1. Desempeño del sistema de lagunas con base en el modelo de carga de Cubillos (1985).

Laguna	Facultativa Primaria	Facultativa Secundaria
Tiempo teórico de retención (d)	6,44	6,44
CSM (KgDBO/ha.d)	436,76	
CSA (KgDBO/ha.d)	436,76	116,814
CSR (KgDBO/ha.d)	319,946	91,5841
Carga Remanente (KgDBO/ha.d)	116,814	25,2299
Concentración DBO efluente (gDBO/m ³)	50,18	10,84

Fuente: Elaboración Propia.

5.4 Aspectos ambientales.

5.4.1 Identificación de impactos ambientales y medidas de mitigación.

Las Tablas 5.2 y 5.3 presentan el personal y los equipos requeridos para la implementación de las medidas de mitigación de los impactos identificados durante las fases de construcción y operación de las lagunas respectivamente.

Tabla 5.2. Aspectos ambientales. Personal y equipos requeridos para implementar las medidas de mitigación durante la fase de construcción.

Fase	Identificación de Impactos	Medidas de Mitigación	Personal y/o Equipo
Construcción	Incremento del tráfico de vehículos pesados como camiones de acarreo de materiales construcción y maquinaria para excavación y movimiento de tierras como tractores, motoniveladoras y excavadoras de porte mediano.	Con personal obrero entrenado o inducido ordenar el tráfico de los vehículos pesados de acarreo de materiales hacia ó desde la obra. Controlar la velocidad máxima de circulación de los vehículos de acarreo de materiales.	Dos (2) obreros con inducción previa, durante la fase de construcción y el período de tránsito de maquinaria y vehículos de acarreo de materiales
	Generación de ruido.	No permitir la circulación permanente en la zona de acceso y construcción de vehículos de acarreo de materiales y maquinaria para movimiento de tierra, con escapes libres ó sin silenciadores.	El personal anterior implementará esta medida de mitigación.
	Generación de polvo.	Controlar la velocidad máxima de circulación de los vehículos de acarreo de materiales en los accesos no pavimentados. Mantener húmedos ó rociar con agua regularmente los accesos no pavimentados.	Tener en la zona un (1) camión cisterna de pequeño porte, contratado a todo costo por día, en el período de tránsito de maquinaria y vehículos de acarreo de materiales.
	Derrame involuntario ó accidental de productos refinados de hidrocarburos, como combustibles, aceites y lubricantes para vehículos de combustión interna.	Tener en la zona durante la construcción un equipo capacitado ó inducido para detectar los derrames de hidrocarburos refinados y retirar el suelo afectado por el derrame, entregando el material de suelo contaminado a una empresa prestadora de servicios ambientales especializada en manejo y disposición final de desechos contaminados. La zona afectada por la extracción del material contaminado será restaurada con material adecuado y debidamente compactado, de ser posible con material proveniente de la excavación de las lagunas.	Un (1) Técnico y dos (2) obreros con inducción previa. Un (1) vehículo tipo camioneta.
	Movimiento de capa vegetal para fundar las obras civiles sanitarias	La remoción de la capa vegetal para fundar las obras civiles sanitarias está compuesta por vegetación menor y suelo orgánico. Separar la vegetación menor y aprovechar el suelo orgánico en tierras agrícolas cercanas	Herramientas menores como picos, palas y bolsas plásticas.

Tabla 5.3. Aspectos ambientales. Personal y equipos requeridos para implementar las medidas de mitigación durante la fase de operación.

Fase	Identificación de Impactos	Medidas de Mitigación	Personal y/o Equipo
Operación	Malos olores.	Respetar los criterios y reglamentos de ubicación de sistemas lagunares tales como distanciamiento a centros poblados y la dirección predominante del viento en la zona del emplazamiento. Construir barreras vivas con árboles adaptados a la zona.	Plantar unos 40 árboles adaptados a la zona, para conformar las barreras vivas.
	Generación y extracción periódica de los lodos anaerobios del fondo de las lagunas.	Construir en sitio lechos de secado de los lodos biológicos para su deshidratación, estabilización y posterior reúso como mejoradores de suelos agrícolas en la zona.	Construcción de los lechos de secado.
	Generación y extracción diaria del material flotante en el espejo de agua de las lagunas.	El material retirado diariamente del espejo de agua son básicamente lodos biológicos, algas y restos vegetales como hojas. Se recomienda deshidratar este material en los lechos de secado y una vez estabilizados utilizarlos como mejoradores de suelos agrícolas en la zona.	Esta actividad es realizada por el operador de la planta.
	Generación y extracción diaria del material retenido en las rejillas de guarda del sistema lagunar (cribado), que básicamente son desechos sólidos (basuras).	El material retenido en el cribado es fundamentalmente basura (compuesto de materia orgánica e inorgánica). Lo más conveniente es disponer de este material en el vertedero de basura de la mancomunidad.	Esta actividad es realizada por el operador de la planta.

Fuente: Elaboración Propia.

5.4.2. Reúso del efluente y los subproductos.

Espinosa y col (2021)¹ presentan un sistema integrado para las lagunas de estabilización ubicadas en el medio rural de la Zona Panamericana del estado Mérida, el cual está basado en el reúso del efluente y los subproductos.

La Figura 5.2 muestra el sistema integrado propuesto:

La comunidad rural se abastece de agua potable de un acueducto y genera aguas residuales eminentemente domésticas. Estas aguas residuales domésticas son recolectadas por un alcantarillado sanitario que las lleva hasta los sistemas lagunares para su depuración.

Las lagunas generan un efluente que contiene cantidades necesarias y suficientes de nutrientes nitrógeno (N) y fósforo (P) y que puede ser usado en ferti-irrigación en predios agropecuarios. Los predios agropecuarios a su vez producen cultivos y productos que abastecen la comunidad rural y otros mercados.

Las lagunas además generan lodos anaerobios que previamente deshidratados pueden ser usados en los predios agrícolas como mejoradores de suelos.

El material retenido en el cribado (rejas de guarda del sistema de lagunas) debe ser incorporado al sistema de recolección de desechos sólidos local y dispuesto en el vertedero de basura de la mancomunidad (Espinosa y col, 2021)¹.

La potencialidad de nutrientes en las aguas residuales crudas, para diferentes fases de incorporación de la población al sistema de alcantarillado rural, se presenta en la Tabla 5.4.

Se estima que cuando toda la población esté incorporada al alcantarillado rural las aguas residuales crudas que ingresan al sistema de lagunas contendrán nutrientes (N y P) equivalentes a 4,85 T de Úrea/año (46% de pureza) y 4,34 T de SFT/año (Super Fosfato Triple).

En lagunas facultativas los principales mecanismos de remoción del nitrógeno (N) son volatilización del ión amonio (NH_4^+), deposición, adsorción y nitrificación-desnitrificación. Por otra parte, el fósforo (P) es removido mediante sedimentación, precipitación e incorporación a biomasa por las algas (uptake).

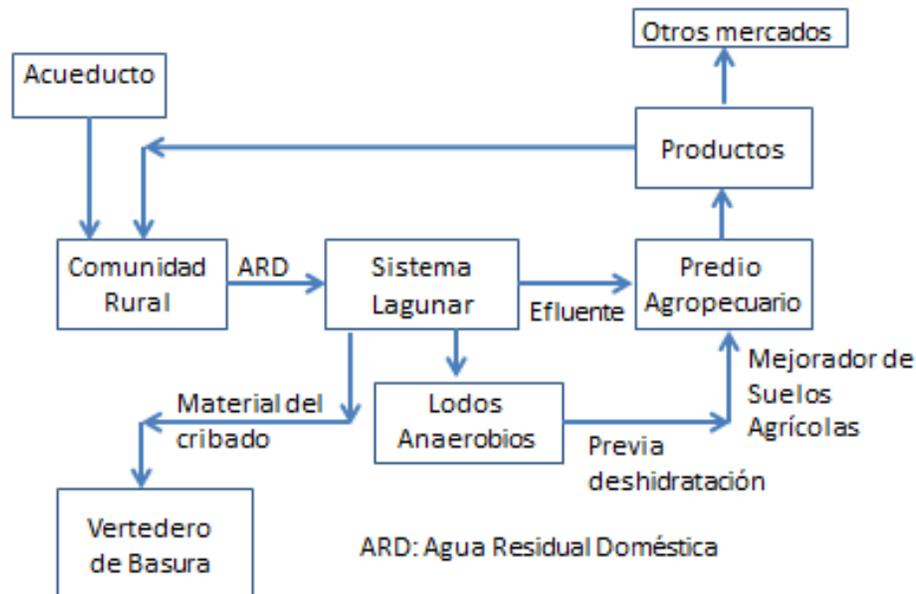


Figura 5.2. Sistema integrado propuesto para el manejo del efluente y los subproductos en los sistemas lagunares emplazados en la Zona Panamericana del estado Mérida. Tomado de Espinosa y col (2021)¹.

En general se considera que las lagunas facultativas no son efectivas para remover nutrientes (N y P) (Arceivala, 1999 y Crites et al., 2000). El uso de lodos biológicos en suelos agrícolas ha ganado popularidad en los últimos años. Este método tiene la ventaja de reciclar nutrientes en tierras agrícolas a bajos costos. Antes de su aplicación en los suelos los lodos biológicos deben ser digeridos de forma anaerobia. La estabilización por digestión anaerobia de los lodos biológicos mejora notablemente su olor y disminuye la proliferación de insectos voladores. Los lodos digeridos contienen alto contenido de humus, lo cual favorece el crecimiento de los cultivos y sus frutos. Se estima que cada persona genera de 25 a 40 Kg de lodos secos por año o unos 800 Kg de lodos húmedos (con 95% de contenido de agua) por año (Polprasert, 1996).

Entre las limitaciones del uso de los lodos como fertilizante, está la fluctuación del contenido de nutrientes. Por ejemplo, el contenido de nutrientes en lodos de plantas de tratamiento municipales, varía considerablemente y los niveles de N, P y Potasio (K), son cercanos a 1 a 5 veces de los niveles propios de fertilizantes comerciales, Polprasert (1996). La Tabla 5.5 presenta la potencialidad de nutrientes en los lodos anaerobios de las lagunas, la cual ha sido elaborada a partir de Polprasert (1996) y de US EPA (1983). Se estima con base a estos cálculos que cuando toda la población esté incorporada al alcantarillado rural los lodos del sistema de lagunas contendrán nutrientes (N y P) equivalentes a 1,99 T de úrea/año (46% de pureza) y 2,98 T de SFT/año (super fosfato

triple). Para fines prácticos se asume que la potencialidad de nutrientes en el efluente de las lagunas es la diferencia entre la potencialidad de nutrientes de las aguas residuales crudas (Tabla 5.4) menos la potencialidad de nutrientes de los lodos de las lagunas (Tabla 5.5).

Tabla 5.4. Potencialidad de nutrientes en las aguas residuales crudas.

Población habitantes	Caudal Aguas Residuales (m ³ /d)	Masa Nitrógeno (Kg N/d)	Masa Fósforo (Kg P/d)	Kg Urea/año 46% Pureza	Kg SFT/año Super Fosfato Triple
150	937,50	1,05	0,45	833,15	746,60
300	1875,00	2,1	0,9	1666,29	1493,20
450	2812,50	3,15	1,35	2499,44	2239,80
600	3750,00	4,2	1,8	3332,59	2986,39
750	4687,50	5,25	2,25	4165,74	3732,99
873	5456,25	6,111	2,619	4848,92	4345,20

Cálculos realizados para una dotación de 0,200 m³/d, un reingreso de 80% y aportes de 7gN/persona.d y 3gP/persona.d.

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 5.5. Potencialidad de nutrientes en los lodos de las lagunas. Fuente: Elaboración Propia a partir de Polprasert (1996) y US EPA(1983) .

Población Hab	Kg de Lodos Secos/año (1)	Masa Nitrógeno Kg N/año	Masa Fósforo Kg P/año	Kg Urea/año 46% Pureza	Kg SFT/año (2)
150	3750	157,5	112,5	342,39	511,37
300	7500	315	225	684,78	1022,74
450	11250	472,5	337,5	1027,17	1534,11
600	15000	630	450	1369,56	2045,48
750	18750	787,5	562,5	1711,95	2556,84
873	21825	916,65	654,75	1992,71	2976,17

(1) Considerando 25 Kg de lodos secos por habitante/año.

(2) (2): SFT, Super Fosfato Triple.

Fuente: Elaboración Propia.

5.5 Aspectos Sociales

5.5.1. Indicador de equidad social ambiental de cobertura del servicio de agua potable.

Conforme a la información procesada en la Tabla 4.3, el 93,18% de las viviendas de la parroquia Florencio Ramírez, donde se localiza El Pinar, estaban conectadas y recibían agua potable de un acueducto; además el 97,3% de las viviendas recibían el agua del acueducto con una frecuencia diaria, conforme se observa en la Tabla 5.6. Tanto el indicador como su complemento reportan una excelente cobertura y frecuencia del servicio.

Tabla 5.6. Frecuencia del servicio de agua en las viviendas, para la parroquia Florencio Ramírez del municipio Caracciolo Parra y Olmedo de la Zona Panamericana del estado Mérida, Venezuela.

Municipio	Parroquia	Total Viviendas (unidades)	Porcentaje del Total de viviendas que recibe el servicio de agua (%)			
			Todos los días	Cada dos o tres días	Una vez por semana (Cada 8 días)	Una vez cada quince días
Caracciolo Parra y Olmedo	Florencio Ramírez, El Pinar	1.777	97,30	2,03	0,68	0,00

Fuente: Tomado de Espinosa y col (2021).

5.5.2. Indicador de equidad social ambiental de cobertura del servicio de alcantarillado

De la Tabla 5.7 se deduce que el 35,15% de las viviendas de El Pinar poseen pocetas conectadas a una cloaca sanitaria, y el 52,22% tienen pocetas conectadas a Pozo Séptico. Lo anterior implica que el 87,37% de las viviendas poseen sistema de disposición de aguas residuales, que es una muy buena cobertura como indicador.

Tabla 5.7. Indicador de equidad social ambiental de cobertura del servicio de alcantarillado, para la parroquia Florencio Ramírez del municipio Caracciolo Parra y Olmedo de la Zona Panamericana del estado Mérida, Venezuela. Fuente: Tomado de Espinosa y col (2021).

Municipio	Parroquia	Total Viviendas (unidades)	Disposición de excretas como porcentaje del total de viviendas (%)				
			Poceta Conectada a Cloaca	Poceta Conectada a Pozo Séptico	Poceta s/ Conexión a Cloaca o a Pozo Séptico	Excusado de Hoyo o Letrina	No Tiene Poceta o Excusado
Caracciolo Parra y Olmedo	Florencio Ramírez, El Pinar	1.892	35,15	52,22	3,91	1,22	7,51

Ambos indicadores de equidad social ambiental, que son a su vez indicadores de género, se pueden considerar muy buenos y sin dudas facilitan en gran medida las labores y el desempeño de la mujer en el hogar y en su comunidad. Además, la magnitud de estos indicadores, sin dudas, tiene una favorable repercusión sobre la salud pública en la comunidad de El Pinar.

5.6 Aspectos Técnico-Económicos

5.6.1 Evaluación hidrodinámica

Espinosa y col (2020) y Ramírez y col (2021) realizaron y presentan el estudio hidrodinámico del prototipo de laguna de estabilización considerado, mediante la implementación de un Modelo basado en Dinámica Computacional de Fluidos (MIKE 21 Flow Model del Instituto Danés de Hidráulica). Los autores estudiaron la configuración de dos lagunas facultativas en serie de dimensiones de 20 m X 30 m y 1,50 m de profundidad, dos entradas que se ubican en el primer tercio y una salida localizada en el tercer tercio, en la dirección del flujo. Una vez configurado el modelo hidrodinámico (MIKE 21) se simuló la dinámica del flujo considerando las variables elevación de la superficie del agua, dirección del flujo y velocidad.

5.6.1.1 Elevación de la superficie del Agua.

La simulación se inicia con la creación de ondas radiales alrededor de los puntos de entrada, hasta conformar una sola circunferencia, la cual va avanzando en el tiempo, toma forma de elipse y luego alcanza el borde aguas arriba de la laguna, logrando

equilibrar linealmente la propagación de la onda hasta alcanzar el borde aguas abajo. En esta secuencia se puede observar el comportamiento de la onda de perturbación superficial, y la implicación de la misma en la elevación de la superficie. Este comportamiento se considera el esperado. En la última fase de la simulación se aprecian zonas de menores niveles de agua, localizadas simétricamente en las esquinas aguas arriba y en la zona próxima a salida, Espinosa y col, (2020) y Ramírez y col, (2021).

5.6.1.2 Dirección de Flujo.

Las observaciones de la simulación de dirección de la corriente, evidencian la formación de zonas de recirculación, y zonas de estancamiento. En las mismas se aprecian vectores de dirección de la corriente en el primer y cuarto cuadrantes en dirección aguas abajo y vectores en el segundo y tercer cuadrantes del plano cartesiano, en dirección aguas arriba, Espinosa y col, (2020) y Ramírez y col, (2021).

5.6.1.3 Velocidad.

Durante la simulación se puede observar el inicio de la onda de propagación y la ubicación de los primeros vectores de velocidad, dichos vectores tienen una magnitud de 0.008 hasta 0.020 m/s. Es importante señalar que en la misma se observa la existencia de vectores en ambas direcciones con las mismas magnitudes, unos que buscan llenar el frente de la laguna aguas abajo y otros que buscan el extremo aguas arriba. Se puede observar en la salida de laguna, la creación de zonas locales de recirculación, y por tanto de perturbación del campo de dirección. Esta recirculación de flujo facilita la formación de puntos de estancamiento, con una velocidad alrededor de 0.0002 m/s, considerándose prácticamente nulo su movimiento. Es importante resaltar que las zonas de estancamiento, se observan con mayor frecuencia en las esquinas de la laguna y se ha podido constatar en campo que en dichas zonas ocurre este fenómeno que genera crecimiento de maleza, lo cual afecta el funcionamiento de la laguna de estabilización, Espinosa y col, (2020) y Ramírez y col, (2021).

5.6.1.4 Análisis y propuesta para mejorar la hidrodinámica del prototipo.

Se evidencia de las simulaciones hidrodinámicas de Espinosa y col, (2020) y Ramírez y col, (2021), que, para las condiciones de entrada y salida del prototipo analizado, el volumen útil de la laguna se reduce prácticamente al tercio central. Por lo tanto, tal como se explica en el estudio hidrodinámico de esta investigación, se propone modificar las condiciones de entrada y salida en el prototipo estudiado, lo cual implica colocar las dos entradas justo en el borde del talud aguas arriba de la laguna, y de igual manera reubicar la salida centrada en todo el talud aguas abajo.

5.6.2 Modelo organizacional.

Espinosa y col (2021)¹ hace referencia al modelo organizacional desarrollado por Mejías (2008), el cual está basado en la percepción que los actores involucrados tienen sobre el problema, y representa un novedoso y eficaz método participativo. La propuesta organizacional de Mejías (2008) se presenta en la Figura 5.3.

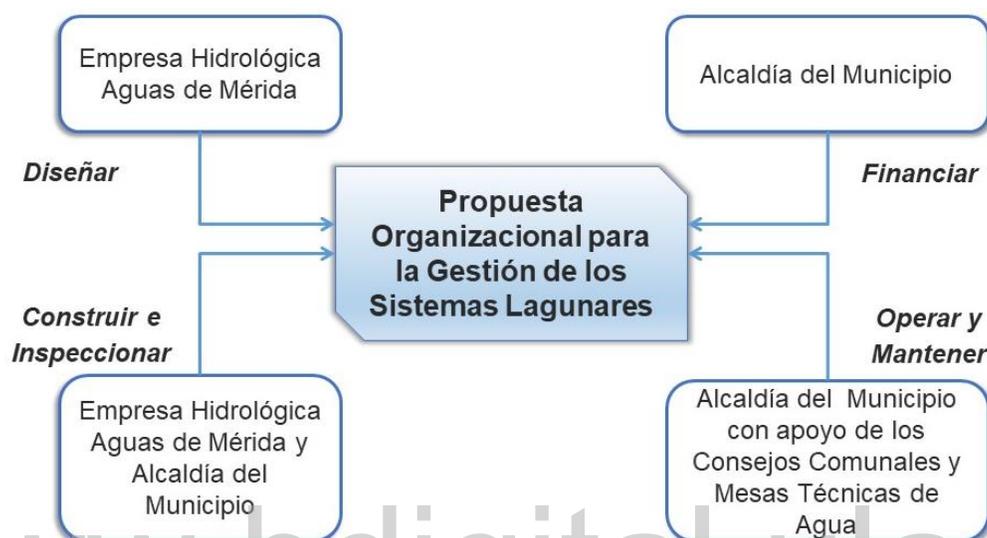


Figura 5.3 Esquema de la propuesta organizacional para la gestión de los sistemas lagunares, tomando en cuenta las etapas de un proyecto.

Fuente: Tomado de Mejías (2008) y modificado por Espinosa y col (2021)¹ conforme a las nuevas competencias de los actores involucrados

En la misma los actores involucrados perciben que la alcaldía del municipio Florencio Ramírez debe encargarse de financiar la construcción de los sistemas de lagunas, así como encargarse de operarlos y mantenerlos apoyándose en los consejos comunales y las mesas técnicas de agua. De igual manera la empresa hidrológica Aguas de Mérida debe diseñar los sistemas y junto con la alcaldía del municipio debe construir e inspeccionar los mismos.

5.6.3 Evaluación Financiera.

Seleccionado el prototipo de laguna a implementar en El Pinar, se procede a definir las distintas partidas para conformar el presupuesto para su construcción, las cuales se presenta en la Tabla 5.8, obteniéndose así el costo para la construcción del sistema de

lagunas de estabilización. Se han incluido en el presupuesto los costos de mitigación de los impactos ambientales identificados en la fase de construcción del sistema de lagunas.

La Tabla 5.9 presenta el cálculo de los ingresos y egresos generados en la operación de las lagunas de estabilización, en un horizonte de 25 años. Para la evaluación financiera se contemplan los beneficios económicos potenciales del efluente y los subproductos durante la fase de operación del sistema de lagunas. Se ha considerado el cobro de una tarifa por el servicio de alcantarillado y tratamiento de las aguas residuales, que al menos cubra los costos de operar y mantener el sistema lagunar.

“La TIR representa la tasa de interés más alta que un inversionista podría pagar sin perder dinero, si todos los fondos para el financiamiento de la inversión se tomaran prestados y el préstamo (principal e interés acumulado) se pagara con las entradas en efectivo de la inversión a medida que se fuesen produciendo” (Bierman & Smidt, 1977).

Para analizar la viabilidad, la tasa interna de retorno debe ser comparada con una tasa mínima de corte, que representa el costo de oportunidad de inversión y se trata de dos porcentajes que pueden ser comparados directamente (Torres, 2020). Según Vázquez (2015), se decide si el proyecto se rechaza o se acepta según la siguiente clasificación:

- $TIR > k$ aceptar inversión
- $TIR = k$ indiferente
- $TIR < k$ rechazar inversión

Entendiéndose k como la tasa de descuento, el cual es un valor que es muy utilizado para evaluar proyectos de inversión y que hace referencia al coste de capital que se aplica para determinar el valor presente de un pago futuro (Vásquez, 2015). Según la Gaceta Oficial de la RBV N°41.824 de fecha 18/02/2020, el Banco Central de Venezuela fija en 5,50% la tasa de descuento para el sector construcción.

Tabla 5.8 Presupuesto para la Construcción de Lagunas de Estabilización. Costos en dólares americanos.

PRESUPUESTO					
Obra: Construcción de Lagunas de Estabilización					Fecha
Ubicación: Zona Panamericana					03/03/2021
Contratista:				Contrato N°:	Hoja:
Contratante:					1
N° Partida	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unitario (\$)	Total en \$
Estructuras					
Obras Preparatorias para Estructuras					
1	EXCAVACION EN TIERRA CON MAQUINARIA PARA ASIEN TO DE FUNDACIONES, ZANJAS, U OTROS, HASTA PROFUNDIDADES COMPRENDIDAS ENTRE 0.00 Y 1.50 m.	m3	3,907.50	3.26	12,738.45
2	EXCAVACION EN TIERRA CON MAQUINARIA PARA ASIEN TO DEFUNDACIONES, ZANJAS, ETC. HASTA PROFUNDIDADES COMPRENDIDAS ENTRE 1,50 Y 3,00 METROS	m3	1,950.20	3.30	6,435.66
3	COMPACTACION DE RELLENOS CON APISIONADORES DE PERCUSION CORRESPONDIENTES A LOS ASIEN TOS DE FUNDACIONES, ZANJAS, U OTROS.	m3	5,800.00	3.00	17,400.00
4	CONSTRUCCION DE BASE DE PIEDRA PICADA CORRESPONDIENTE A OBRAS PREPARATIVAS. INCLUYE EL SUMINISTRO Y TRANSPORTE DEL MATERIAL HASTA UNA DISTANCIA DE 50 km.	m3	657.00	7.33	4,815.81
Total de Obras Preparatorias					41,389.92
Superestructura de Concreto					
5	CONCRETO DE Fc 250 kgf/cm2 A LOS 28 DIAS, ACABADO CORRIEN TE, PARA LA CONSTRUCCION DE MACHONES, VIGAS DE CORONA, DINTELES, ARRIOSTRAMIENTO DE PAREDES. INCLUYE TRANSPORTE DE CEMENTO Y AGREGADOS HASTA 50 Km Y EXCLUYE EL REFUERXO METALICO Y EL ENCOFRADO	m3	211.00	128.16	27,041.76
Superestructura de Concreto					27,041.76
Encofrados					
6	ENCOFRADO DE MADERA, TIPO RECTO, ACABADO CORRIEN TE, EN MACHONES, VIGAS DE CORONA, DINTELES Y VIGAS DE RIOSTRA.	m2	29.64	9.87	292.55
Encofrados					292.55
Armadura de Refuerzo					
7	SUMINISTRO, TRANSPORTE Y COLOCACION DE MALLA SOLDADA DE ACERO, PARA INFRAESTRUCTURA.	kgf	491.92	7.81	3,841.90
Total Armadura de Refuerzo					3,841.90
Impermeabilización					
8	CAPA IMPERMEABILIZANTE EN LOSAS O PLACASHORIZONTALES CON EMBRANA ASFALTICA (MANTO) DE ESPESOR 2 mm REFORZADA CON VELO DE FIBRA DE VIDRIO.	m2	29.64	13.65	404.59
Total Impermeabilización					404.59

Tabla 5.8 Presupuesto para la Construcción de Lagunas de Estabilización. Costos en dólares americanos (*Continuación*)

N° Partida	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unitario (\$)	Total en \$
Obras Arquitectónicas					
Albañilería					
9	CONSTRUCCION DE PAREDES DE BLOQUES DE CONCRETO, ACABADO CORRIENTE e=15 cm NO INCLUYE MACHONES, DINTELES Y BROCALES. INCLUYE TRANSPORTE DE LOS BLOQUES HASTA 50 Km.	m2	60.00	11.54	692.40
10	CONSTRUCCION DE REVESTIMIENTO INTERIOR EN PAREDES CON MORTERO, A BASE DE CAL, ACABADO LISO. INCLUYE FRISO BASE	m2	58.24	13.40	780.42
11	CONSTRUCCION DE REVESTIMIENTO EXTERIOR EN PAREDES CON MORTERO, A BASE DE CAL, ACABADO RUSTICO. INCLUYE FRISO BASE	m2	58.24	14.11	821.77
12	CONSTRUCCION DE REVESTIMIENTO DE PISOS CON BALDOSAS DE CERAMICA NACIONAL, ACABADO NATURAL. INCLUYE MORTERO BASE.	m2	50.00	11.03	551.50
Total Albañilería					2,846.09
Herrería					
13	SUMINISTRO, TRANSPORTE Y COLOCACION DE VENTANAS, CORREDERAS DE PERFILES DE ALUMINIO Y VIDRIO. INCLUYENDO VIDRIO CON PAÑO FIJO.	m2	0.24	12.45	2.99
Total Herrería					2.99
Carpintería					
14	SUMINISTRO, TRANSPORTE Y COLOCACION DE PUERTAS DE METAL	m2	1.52	17.31	26.31
Total de Carpintería					26.31

Tabla 5.8. Presupuesto para la construcción de lagunas de estabilización. Costos en dólares americanos (*Continuación*)

N° Partida	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unitario (\$)	Total en \$
Cerrajería					
15	CERRADURA DE POMO, ACABADO CROMO BRILLANTE, SIN CILINDRO, SIN CERROJO, PESTILLO DE SEGURIDAD. POMO EXTERIOR LIBRE, POMO INTERIOR CON BOTON	Pza	1.00	8.62	8.62
Total de Carpintería					8.62
Instalaciones Sanitarias y Especiales					
16	TUBERIA DE AGUAS NEGRAS, HIERRO FUNDIDO, DIAMETRO 8 plg (203 mm), AMBIENTE EXTERIOR. INCLUYE CONEXIONES	M	17.00	41.22	700.74
17	TUBERIA DE AGUAS NEGRAS, HIERRO FUNDIDO, DIAMETRO 12 plg (304.8 mm), AMBIENTE EXTERIOR. INCLUYE CONEXIONES	M	8.90	42.49	378.16
Total tuberías					1,078.90
Mitigación de Impactos En la Construcción					
18	MEDIDAS DE MITIGACIÓN EN LA CONSTRUCCIÓN	Día	20.00	577.42	11,548.40
Total de Impacto en la Const					11,548.40
Mitigación de Impactos En la Operación					
19	PLANTAR ARBOLES	Árbol	40.00	5.73	229.20
20	CONSTRUCCIÓN DE LECHOS DE SECADO				311.17
Total de Impacto en la Operación					540.37
Total					89,022.40
Variación de Precios					
22	VARIACIÓN DE PRECIOS (3%)	SG	1.00	2,670.67	2,670.67
Total Variación de Precios					2,670.67
Impuesto al Valor Agregado					
23	IMPUESTO AL VALOR AGREGADO (12%)	SG	1.00	11,003.17	11,003.17
Total Impuesto al Valor Agregado					11,003.17
Subtotal					91,693.07
Total Presupuesto \$					102,696.24

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 5.9. Ingresos y egresos generados en la operación de las lagunas de estabilización, para un horizonte de 25 años. Costos en dólares americanos.

Año	Hab	Ingreso por SubProductos Urea 45% de Pureza	Ingreso por SubProductos Super Fosfato Triple	Ingreso por Tarifa	Gastos de Operación	Flujo de Efectivo Neto
						-102.696,24
1	300	6665,16	17918,4	3000	7200	20383,56
2	300	6665,16	17918,4	3000	7200	20383,56
3	600	13330,36	35836,68	6000	7200	47967,04
4	600	13330,36	35836,68	6000	7200	47967,04
5	873	19395,68	52142,4	8730	7200	73068,08
6	873	19395,68	52142,4	8730	7200	73068,08
7	873	19395,68	52142,4	8730	7200	73068,08
8	873	19395,68	52142,4	8730	7200	73068,08
9	873	19395,68	52142,4	8730	7200	73068,08
10	873	19395,68	52142,4	8730	7200	73068,08
11	873	19395,68	52142,4	8730	7200	73068,08
12	873	19395,68	52142,4	8730	7200	73068,08
13	873	19395,68	52142,4	8730	7200	73068,08
14	873	19395,68	52142,4	8730	7200	73068,08
15	873	19395,68	52142,4	8730	7200	73068,08
16	873	19395,68	52142,4	8730	7200	73068,08
17	873	19395,68	52142,4	8730	7200	73068,08
18	873	19395,68	52142,4	8730	7200	73068,08
19	873	19395,68	52142,4	8730	7200	73068,08
20	873	19395,68	52142,4	8730	7200	73068,08
21	873	19395,68	52142,4	8730	7200	73068,08
22	873	19395,68	52142,4	8730	7200	73068,08
23	873	19395,68	52142,4	8730	7200	73068,08
24	873	19395,68	52142,4	8730	7200	73068,08
25	873	19395,68	52142,4	8730	7200	73068,08

Fuente: Elaboración Propia.

El cálculo de la TIR implicó los siguientes pasos:

1. Se calcularon los ingresos generados por el efluente y los subproductos de las lagunas. Una vez estimados los subproductos que se adquieren por año según la población conectada al servicio de saneamiento, se multiplica los kilos de subproductos por los costos internacionales que tienen los mismos en el mercado, lo cual permite obtener unos ingresos anuales que se ven reflejados en la Tabla 5.10.
2. Se calcularon los ingresos generados por la tarifa del servicio, la cual se fija en US \$10 anuales por persona conectada al sistema de alcantarillado. Esta tarifa es un valor referencial de costos internacionales de este servicio en similares condiciones.
3. Se calcularon los costos asociados a la operación y al mantenimiento de las lagunas. Lo cual implica la mano de obra y las herramientas utilizadas.
4. Una vez obtenidos los valores anteriormente mencionados, se calculó el flujo efectivo neto como la suma de los ingresos menos los costos asociados a la operación y al mantenimiento de las lagunas.

Se programó el proceso en una hoja de cálculo (Excel), y se procedió a calcular la TIR con la fórmula financiera que lleva su nombre, seleccionando los valores, de flujo efectivo neto cuyo primer valor es el presupuesto con signo negativo y así se obtuvo el valor de la TIR.

Tabla 5.10. Valor resultante del TIR y el índice de rentabilidad. Fuente: Elaboración Propia

Tarifa Urea (kg) en \$	4
Tarifa SFT (Kg) en \$	12
Tarifa en \$ anual	10.00
N (años)	25
i (Tasa de descuento)	5.50%
Inversión Inicial en \$	102,696.24
TIR	40%
Índice de rentabilidad o Razón Beneficio/costo	8.19

5.7 Conclusiones y recomendaciones

El modelo conceptual de gestión de lagunas de estabilización para el medio rural presentado por Espinosa y col (2021)¹ es una herramienta factible de ser implementada, tal como se ha ilustrado. Es un modelo basado en el triángulo de la sostenibilidad, que contempla aspectos ambientales, sociales y técnico-económicos.

Los aspectos ambientales considerados mitigan los impactos negativos durante las fases de construcción y operación de los sistemas lagunares. El planteamiento de un sistema integrado para el manejo del efluente y los subproductos es válido y acertado, contribuyendo a un buen balance del procesamiento de los nutrientes en el medio rural. El uso de sólidos biológicos (lodos biológicos de las lagunas) debidamente procesados y dispuestos en predios agrícolas como mejoradores de suelos, puede aportar fertilidad a los suelos agrícolas y mejorar su estructura. Los efluentes depurados pueden ser reusados en “ferti-irrigación” en predios agrícolas, mejorando el balance hídrico local, especialmente en épocas de estiaje. Espinosa y col (2021)¹.

Los indicadores sociales contemplados son además indicadores ambientales sociales de género, y se vinculan con el tercer principio de la Gestión Integral de los Recursos Hídricos. A la mujer en su rol de promover y cuidar de la salud de los miembros de la familia y la higiene general del hogar, se le favorecen y facilitan sus roles en la medida que tiene acceso al agua potable en su propia vivienda; y más aún si su vivienda posee adicionalmente conexión a un sistema de alcantarillado o de disposición de aguas servidas. Es conveniente además resaltar la importancia y la estrecha relación entre el abastecimiento de agua potable, el manejo adecuado de las aguas servidas y la salud pública, a nivel de hogar y comunitario, donde la mujer desempeña un papel protagónico.

Los aspectos técnicos fueron abordados mediante novedosas herramientas y técnicas. El estudio hidrodinámico fue basado en dinámica computacional de fluidos mediante la implementación del modelo MIKE21 Flow Model; en el mismo se analizaron las condiciones de entrada y salida en los prototipos implementados de lagunas y se sugieren modificaciones para mejorar su hidrodinámica, conforme a Espinosa y col (2020) y Ramírez y col (2021). El modelo organizacional propuesto está basado en la percepción que los actores involucrados tienen sobre el problema, aportando así un novedoso y eficaz método participativo y de interacción con las comunidades, conforme a Mejías (2008). La viabilidad financiera se plantea mediante la tasa interna de retorno (TIR), un método clásico que resume los méritos del proyecto en una cifra, la cual es independiente de las tasas de interés del mercado de capitales. Por medio de esta metodología, y en base a los ingresos y egresos que se obtienen de la operación de la Lagunas, se calculó la TIR, la cual da un porcentaje de 40%; como dicho valor es mayor que la tasa de descuento (5.50%), se concluye que la obra es rentable. Aunado a esto,

el índice de rentabilidad beneficio costo es superior a uno, como se puede observar en la Tabla 5.10.

Todo lo anterior implica que existen múltiples ventajas y beneficios al implementar un Modelo de Gestión de Lagunas de Estabilización conceptualizado y basado en el triángulo de la sostenibilidad.

5.8 Bibliografía

Arceivala, S, 1999. Wastewater treatment for pollution control. Second Edition. Tata Mac Graw-Hill. ISBN 0-07-463002-4. New Delhi, India.

Bierman, H., & Smidt, S. 1977. El presupuesto de bienes de capital.

Crites, R. y Tchobanogluos, G., 2000. Sistemas de manejo de aguas residuales para núcleos pequeños y descentralizados. ISBN 958-41-0043-2. MacGraw Hill Interamericana, S.A. Santa Fé de Bogotá, Colombia.

Cubillos, A., 1985. Lagunas de estabilización. Casa Editora CIDIAT. Mérida, Venezuela.

Espinosa, C., 2020. Lagunas de estabilización en el medio rural venezolano. Caso: Zona Panamericana de los Estados Mérida y Trujillo. Trabajo de Ingreso a la Ilustre Academia Nacional de la Ingeniería y el Hábitat de Venezuela. Resolución de la Junta de Individuos de Número No. 272/20 del 10/11/20. Palacio de las Academias, Caracas, Venezuela.

Espinosa, C., Ramírez, S., Jégat, H y Barreto, W., 2020. Estudio hidrodinámico de las condiciones de entrada y salida de lagunas de estabilización implementadas en el medio rural venezolano. Caso Zona Panamericana del estado Mérida, Venezuela. Revista de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Central de Venezuela. N° 1, Vol.35, 2020. Caracas, Venezuela.

Espinosa, C., Ramírez, S., Mejías, M., Jegat, H. y Bachá, M., 2021¹. Conceptualización de un Modelo de Gestión para Lagunas de Estabilización en el Medio Rural Venezolano. Caso: Zona Panamericana del estado Mérida, Venezuela. Revista Ciencia e Ingeniería. Vol. 42, No. 2, pp.179-190, abril-julio, 2021. Universidad de los Andes (ULA). Mérida, Venezuela.

Espinosa, C., Ramírez, S., Mejías, M., Jégat. H. y Barreto, W., 2021². Implementación de un Modelo de Gestión de Lagunas de Estabilización en el Medio Rural Venezolano. Caso: El Pinar, Zona Panamericana del estado Mérida, Venezuela. Revista Ciencia e Ingeniería. Vol 42, N°3 pp.263-274, agosto-noviembre. Universidad de los Andes, Venezuela.

- Mejías, M., 2008. Propuesta de un modelo de gestión para lagunas de estabilización. Caso: Zona Panamericana del estado Mérida. Trabajo de grado para optar al título de Magíster Scientiae en Gestión de los Recursos Naturales y Medio Ambiente con énfasis en Impacto Ambiental. Centro Interamericano de Desarrollo e Investigación Ambiental y Territorial. Universidad de los Andes. CIDIAT-ULA. Mérida. Venezuela.
- Polprasert, K., 1996. Organic Waste Recycling: Technology and Management. Second Edition. John Wiley and Sons Ltd. Baffins Lane, Chichester, West Sussex PO19 1UD, England.
- Ramírez, S., Espinosa, C., Jégat, H. y Barreto, W., 2021, Estudio hidrodinámico de lagunas de estabilización implementadas en el medio rural de la Zona Panamericana del estado Mérida, Venezuela. Revista Ciencia e Ingeniería. Vol. 42, No. 1 pp. 113-126, diciembre-marzo, 2021. Universidad de los Andes (ULA), Mérida, Venezuela.
- República Bolivariana de Venezuela, 2020. Gaceta Oficial N° 41.824” del 18-02-20. Caracas. Venezuela.
- Torres, M. (13 de Mayo de 2020). Rankia. Recuperado el 01 de Marzo de 2021, de Tasa Interna de Retorno (TIR): definición, cálculo y ejemplos: <https://www.rankia.cl/blog/mejores-opiniones-chile/3391122-tasa-interna-retorno-tir-definicion-calculo-ejem-plos#f%C3%B3rmula-van-o-valor-actual-neto>.
- US EPA, 1983. Process design manual for land application of municipal sludge. EPA-625/1-83-016, United States Environmental Protection Agency. Cincinnati, Ohio.
- Vásquez, R. (26 de Noviembre de 2015). Economipedia. Recuperado el 01 de Marzo de 2021, de Tasa de descuento: <https://economipedia.com/definiciones/tasa-descuento.html>

CAPÍTULO VI.

REFLEXIONES, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES⁵

Realizada la investigación se formulan las siguientes reflexiones, conclusiones y recomendaciones:

6.1 Reflexiones

En Venezuela el saneamiento es un derecho constitucional y se reconoce además como un derecho humano consagrado en resoluciones de las Naciones Unidas. En el país el concepto de saneamiento no sólo implica abastecimiento de agua segura y manejo adecuado de las aguas residuales; implica además control de vectores endémicos y dotación de vivienda adecuada y salubre.

El saneamiento del medio rural venezolano se inicia en 1923 con el “Decreto sobre el Saneamiento de Los Llanos de Venezuela” y se consolida a partir de 1946 con la creación

⁵ Este capítulo se basa en las siguientes publicaciones:

a. Espinosa, C., 2020. Lagunas de estabilización en el medio rural venezolano. Caso: Zona Panamericana de los Estados Mérida y Trujillo. Trabajo de Ingreso a la Ilustre Academia Nacional de la Ingeniería y el Hábitat de Venezuela. Resolución de la Junta de Individuos de Número No. 272/20 del 10/11/20. Palacio de las Academias, Caracas, Venezuela. https://www.acading.org.ve/info/publicaciones/TRABAJOS_INCORPORACION/TI_CARLOS_ESPINOSA.pdf

b. Espinosa, C., Ramírez, S., Jégat, H y Barreto, W., 2020. Estudio hidrodinámico de las condiciones de entrada y salida de lagunas de estabilización implementadas en el medio rural venezolano. Caso Zona Panamericana del Estado Mérida, Venezuela. Revista de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Central de Venezuela. N° 1, Vol. 35, 2020. Caracas, Venezuela.

c. Ramírez, S., Espinosa, C., Jégat, H. y Barreto, W., 2021. Estudio hidrodinámico de lagunas de estabilización implementadas en el medio rural de la Zona Panamericana del Estado Mérida, Venezuela. Revista Ciencia e Ingeniería. Vol. 42, No. 1 pp. 113-126, diciembre-marzo, 2021. Universidad de los Andes, Venezuela.

d. Espinosa, C., Ramírez, S., Mejías, M., Jegat, H. y Bachá, M. 2021. Conceptualización de un modelo de gestión para lagunas de estabilización en el medio rural venezolano. Caso: Zona Panamericana del Estado Mérida, Venezuela. Revista Ciencia e Ingeniería. Vol. 42, N° 2 pp. 179-190, abril-julio, 2021. Universidad de los Andes, Venezuela.

e. Espinosa, C., Ramírez, S., Mejías, M., Jégat, H. y Barreto, W. 2021. Implementación de un Modelo de Gestión de Lagunas de Estabilización en el Medio Rural Venezolano. Caso: El Pinar, Zona Panamericana del Estado Mérida, Venezuela. Revista Ciencia e Ingeniería. Vol 42, N°3 pp.263-274, agosto-noviembre, 2021. Universidad de los Andes, Venezuela.

f. Espinosa Jiménez, Carlos Francisco Abel 2021. Lagunas de estabilización en el medio rural de la zona Panamericana de los estados Mérida y Trujillo, Venezuela. Editorial de la Academia Nacional de la Ingeniería y el Hábitat. ISBN 978-980-18-2130-4. Caracas. Venezuela.

del Programa Nacional de Acueductos Rurales, asesorado por la Oficina Cooperativa Interamericana de Salud Pública (OCISP), establecida en el Ministerio de Sanidad y Asistencia Social. En 1975 mediante Decretos N° 1245 y N°1247 se responsabiliza a la Dirección de Malariología y Saneamiento Ambiental las funciones de: "Acueductos y disposición de excretas en beneficio de la población rural dispersa con el objeto de lograr su concentración en centros organizados". A 100 años del inicio del saneamiento en el medio rural venezolano, se han invertido muchos recursos en infraestructura hidrosanitaria, pero seguimos cabalgando sobre los mismos problemas.

El sector agua y saneamiento en Venezuela, históricamente centralista, en la década 1990-1999 trató con cierto éxito, de migrar a un modelo mixto descentralizado. A partir del año 2000 este proceso fue revertido al modelo centralista, conservando la misma estructura del modelo mixto descentralizado implementado en la década anterior. Bajo la óptica socialista se percibe que el agua tiene un sesgo social, ignorando que el agua es además un bien económico, conforme al cuarto principio de la gestión integral de los recursos hídricos.

En la Zona Sur del Lago de Maracaibo se localiza el 10% de las mejores tierras del país. La Zona Panamericana del estado Mérida (ZPEM) se ubica en este territorio. La ZPEM es una región rica en recursos agua y tierra, con importantes extensiones de tierras con vocación agrícola pero en uso agropecuario y surcada por numerosos ríos y caños provenientes del piedemonte andino. Este divorcio entre uso y vocación de la tierra ha generado conflictos entre el gobierno nacional y los actores socioeconómicos locales. A lo anterior hay que añadir la no equitativa distribución de la tierra entre sus habitantes. La ZPEM se convirtió en receptora de desplazados colombianos por la violencia, desde hace unos 30 años, quienes constituyen hoy la mayor parte de la mano de obra agropecuaria en la zona. Los índices socioeconómicos reportados por IIES (1999) hace a la fecha unos 20 años, a juicio del autor representan la mejor aproximación a la realidad actual. No se conoce otro estudio más reciente de la rigurosidad del anteriormente citado. Resumiendo, la ZPEM es un territorio con alto potencial de desarrollo agropecuario y agroindustrial, pero también de alto potencial de conflictividad social por la poca equidad en la distribución de la tierra y la riqueza.

Existe una importante infraestructura de obras hidrosanitarias construida por el estado venezolano en la ZPEM, constituida por acueductos rurales, alcantarillados sanitarios rurales (cloacas rurales) y sistemas individuales de disposición de aguas residuales domésticas tipo tanque séptico y sumideros o campos de infiltración. A lo anterior hay que añadir nueve sistemas de lagunas de estabilización, descritos en la Tabla 1.1 y geográficamente ubicados en la Figura 1.1. Las estadísticas básicas de los servicios de abastecimiento de agua, así como la cobertura de los sistemas de cloacas sanitarias, elaboradas con base en la información del censo nacional de 2011, corrobora la

cobertura de los programas de saneamiento ambiental del medio rural implementados por el MSAS.

Dado el grado de crispación política del país, la información epidemiológica reciente sobre morbilidad de enfermedades de origen hídrico no se publica. El Autor no tuvo acceso a esta información básica de estadística médica.

Los prototipos de lagunas de estabilización construidos en la ZPEM por la calidad de los materiales, los buenos métodos constructivos implementados y la adecuada inspección durante su construcción, conservan en buen estado sus obras civiles. No obstante, se observa que algunos sistemas están sobrecargados por incorporación de nuevos sectores y de aguas pluviales, no contemplados en sus proyectos originales. Caso típico es el sistema de lagunas de estabilización de Guayabones en el municipio Obispo Ramos de Lora, el cual con cierta frecuencia se desborda afectando a la comunidad aledaña. Es importante decir que los sistemas de cloración implementados, que garantizan la desinfección del efluente, han sido hurtados y/o desmantelados.

Se percibe que la Dirección de Malariología y Saneamiento Ambiental del MSAS no sólo fue desmantelada a partir del año 2000, sino que desaparecieron en “archivos muertos” todos sus documentos básicos de estudios y proyectos. No fue posible conseguir una memoria descriptiva de alguno de los sistemas lagunares de la Zona Panamericana de Mérida, en la antigua sede de la Dirección de Malariología en Campo Claro, Mérida, donde el autor las gestionó personalmente. Las pocas memorias descriptivas a las que se tuvo acceso fueron gentilmente suministradas por ex funcionarios de esta dirección, hoy jubilados. Es una desgracia que información tan valiosa de estudios y proyectos de obras hidrosanitarias realizados y construidos por la Dirección de Malariología se pierda en “archivos muertos”, ubicados en depósitos donde no se garantizan las condiciones para su conservación ni el acceso al público.

El incremento de la capacidad de procesamiento de las computadoras en los últimos años, ha permitido el desarrollo e implementación de sofisticados modelos basados en dinámica computacional de fluidos (DCF) para el diseño de sistemas depuradores de aguas residuales. El uso de modelos bien calibrados, con interfaces versátiles para la preparación de la información requerida, hace posible la evaluación de diferentes configuraciones y escenarios operativos, en mucho menos tiempo que el requerido por modelos físicos -plantas piloto-. Los Modelos de simulación basados en DCF ofrecen la oportunidad de integrar la hidráulica, los controles y los procesos de tratamiento, en orden de mejorar la coordinación de diseño, identificar soluciones más eficientes, mejorar conocimiento sobre los diferentes sistemas y optimizar sus operaciones (Findikakis, 2016).

Los distintos modelos de gestión implementados para la administración y/o gerencia de los sistemas de saneamiento en el medio rural no disperso en Venezuela, no fueron exitosos. Un denominador común a este fracaso parece ser la poca capacidad técnica local de los actores en las regiones.

La propuesta organizacional para la gestión de los sistemas lagunares presentada es metodológicamente válida, novedosa y posible de implementar. Se basa en la percepción y actitudes que tienen los involucrados sobre el problema.

Las lagunas de estabilización como tecnología de tratamiento son consideradas de bajos costos de implementación, operación y mantenimiento. Son sistemas simples de operar y mantener. Además, son compatibles con la implementación de sistemas integrados, bajo la óptica de reúso de efluentes y subproductos. La Zona Panamericana del estado Mérida, representa un territorio con idóneas condiciones físico-naturales para su implementación.

Este documento tiene como finalidad formular y desarrollar un modelo de gestión que garantice la sostenibilidad de las lagunas de estabilización, además de reconocer y hacer visible el gran esfuerzo realizado por el Estado Venezolano -a través de sus Instituciones- en la depuración de los efluentes domésticos e industriales en el medio rural no disperso del país y en particular en la Zona Panamericana del estado Mérida. Es el primer paso de un arduo trabajo por hacer para rescatar infraestructura hidrosanitaria básica, a fin de lograr más salubridad en esta estratégica zona e impulsar el desarrollo regional desde adentro. Crear mejores condiciones de vida en el medio rural, permitirá arraigar y empoderar a sus habitantes del medio que le pertenece y en el cual son los actores fundamentales.

La implementación del modelo de gestión propuesto es compatible con políticas explícitas promovidas por el estado venezolano a través de su gobierno en la última década, como son la participación comunitaria, el poder popular, el estado comunal, y documentos como el plan de la patria. En estas políticas y directrices se resalta y promueve el papel protagónico de las instancias sociales fundamentales en la gestión de los territorios que habitan y les pertenecen, y donde son los actores fundamentales. El modelo propuesto es una herramienta, un instrumento, que para su implementación requiere de cierta capacidad de organización, soporte técnico y capacidad para gestionar recursos, como lo establece el modelo organizacional planteado. Por estas razones se considera factible en el escenario planteado la implementación del modelo propuesto.

6.2 Conclusiones

6.2.1 Estudio hidrodinámico de los prototipos de lagunas implementados.

El estudio hidrodinámico, basado en dinámica computacional de fluidos mediante la implementación del modelo MIKE21 Flow Model, se focalizó en estudiar las condiciones de entrada y salida en los prototipos implementados de lagunas y proponer modificaciones para mejorar su hidrodinámica.

En el estudio hidrodinámico realizado el patrón de dirección de la corriente para la configuración típica de las lagunas de Caño Seco, se corresponde con una dinámica de flujo que facilita la mezcla, observándose zonas de recirculación y de flujos encontrados. Al analizar la simulación de los campos de velocidades, su dirección y magnitud, se concluye que en las esquinas en los tercios aguas arriba y aguas abajo, se generan velocidades muy próximas a cero, lo cual conforma zonas de estancamiento que son para fines prácticos zonas muertas. Es conocido que en la medida que se generan zonas muertas, se disminuye el volumen útil de la laguna. Lo anterior se corroboró con observaciones de campo. Las simulaciones de velocidades (magnitud y dirección del campo de vectores), guardan mucha relación con los patrones de dirección de la corriente ya descritos.

Al comparar las distintas alternativas de mejoras simuladas, se observa que el comportamiento de las variables estudiadas es similar, en especial cuando se aumenta el número de entradas y salidas. En todos los casos simulados se observó, disminución de zonas de bajas velocidades y recirculación, en la medida que aumenta el número de entradas y salidas. Este comportamiento contrasta con los fenómenos de recirculación y zonas de bajas velocidades observadas en el prototipo, especialmente en el primer tercio aguas arriba y el tercer tercio aguas abajo.

Con base a las alternativas de mejoras simuladas, se escogió como la solución más práctica para mejorar la hidrodinámica, la configuración de dos (2) entradas simétricas en el borde aguas arriba y una (1) salida centrada en el borde aguas abajo. Esta configuración implica menores costos ya que sólo requiere cortar al prototipo, las dos tuberías de entrada y la tubería de salida en los bordes aguas arriba y aguas abajo de la laguna.

El patrón de dirección de la corriente para la alternativa seleccionada de mejora hidrodinámica, permite observar menores zonas de recirculación y de flujos encontrados. Al analizar la simulación de los campos de velocidades, su dirección y magnitud, se concluye que en las esquinas se generan velocidades muy próximas a cero, en menor proporción que en el prototipo original estudiado. Al alcanzar el extremo de la laguna, se observan patrones de flujo en el segundo y tercer cuadrante lo cual indica dirección de flujo aguas arriba; dicho fenómeno está localizado en el último cuarto de la laguna y en

el resto de la misma se mantienen flujos en el primer y cuarto cuadrante, verificándose que la propagación del flujo choca en el extremo aguas abajo generando un remanso. También se evidencia mayores velocidades desde la entrada hasta la mitad de la laguna, y menores velocidades en la mitad aguas abajo, esquinas aguas arriba y zona entre las dos entradas.

La simulación de la hidrodinámica de lagunas de estabilización, con base en dinámica computacional de fluidos, representa una poderosa herramienta que puede ser utilizada para el diseño de lagunas de estabilización. Esta herramienta permite predecir el comportamiento hidráulico de los prototipos, para corroborar o corregir, antes de su implementación en campo. Es además útil, como en este caso, para estudiar lagunas ya construidas y en operación.

6.2.2 Modelo de gestión.

El modelo planteado para gestionar lagunas de estabilización e ilustrado en la Zona Panamericana del estado Mérida, basado en el triángulo de la sostenibilidad, tiene plena vigencia, ya que resolvería un problema histórico y común en el medio rural venezolano, de ser adaptado e implementado. Durante años el Estado Venezolano ha invertido recursos económicos en la construcción de obras hidrosanitarias básicas para sanear el medio rural no disperso y en el momento de su puesta en marcha no hay lineamientos claros para su gestión sostenible en el tiempo. El saneamiento del medio rural implica mayor calidad de vida para sus habitantes.

Los aspectos ambientales considerados mitigan los impactos negativos durante las fases de construcción y operación de los sistemas lagunares. El planteamiento de un sistema integrado para el manejo del efluente y los subproductos es válido y acertado, contribuyendo a un buen balance del procesamiento de los nutrientes en el medio rural. El uso de sólidos biológicos (lodos biológicos de las lagunas) debidamente procesados y dispuestos en predios agrícolas como mejoradores de suelos, puede aportar fertilidad a los suelos agrícolas y mejorar su estructura. Los efluentes depurados pueden ser reusados en “ferti-irrigación” en predios agrícolas, mejorando el balance hídrico local, especialmente en épocas de estiaje.

Los indicadores sociales contemplados son además indicadores sociales de género, y se identifican con el tercer enunciado de la gestión integral de los recursos hídricos. A la mujer en su rol de promover y cuidar de la salud de los miembros de la familia y la higiene general del hogar, se le favorecen y facilitan sus roles en la medida que tiene acceso al agua potable en su propia vivienda y esta posee además conexión a un sistema de alcantarillado o de disposición de aguas servidas. Es importante además resaltar la estrecha relación entre el abastecimiento de agua potable, el manejo adecuado de las aguas servidas y la salud pública, a nivel de hogar y comunitario.

Los aspectos técnico-económicos vinculados con la hidrodinámica fueron abordados en el punto 6.2.1 de estas conclusiones y permitieron estudiar y proponer las modificaciones requeridas para mejorar la hidrodinámica de las lagunas. El modelo organizacional propuesto está basado en la percepción que los actores involucrados tienen sobre el problema, aportando así un novedoso y eficaz método participativo. La viabilidad financiera está propuesta mediante la tasa interna de retorno, un método clásico que resume los méritos del proyecto en una cifra, la cual es independiente de las tasas de interés del mercado de capitales.

La ilustración del modelo de gestión de lagunas de estabilización, fue realizada en la población de El Pinar, parroquia Florencio Ramírez, municipio Caracciolo Parra y Olmedo del estado Mérida. Por medio de esta metodología, y en base a los ingresos y egresos que se obtienen de la construcción y operación de las lagunas, se calculó la tasa interna de retorno (TIR), la cual da un porcentaje de 40%. Como dicho valor es mayor que la tasa de descuento (5.50%), se concluye que la obra hidrosanitaria es rentable. Aunado a esto, el índice de rentabilidad beneficio costo es superior a uno.

Todo lo anterior implica que existen múltiples ventajas y beneficios al implementar un modelo de gestión de lagunas de estabilización conceptualizado y basado en el triángulo de la sostenibilidad.

www.bdigital.ula.ve

6.3 Recomendaciones.

La curva de aprendizaje del modelaje basado en dinámica computacional de fluidos (DCF) contempla un amplio espectro de disciplinas como mecánica de fluidos, procesos físicos y químicos, métodos numéricos y computación, entre otras. En vista de la potencialidad de la DCF, se propone implementarla para simular los procesos de depuración que ocurren en lagunas de estabilización y la influencia de otros fenómenos relacionados como el viento y la profundidad. En este sentido se recomienda realizar los siguientes estudios:

- Desempeño de sistemas de lagunas en la remoción de materia orgánica y nutrientes (N y P).
- Efectos del viento en la hidrodinámica de las lagunas, especialmente en lagunas de dimensiones considerables emplazadas en zonas geográficas con vientos sostenidos.
- Efectos de la profundidad en la hidrodinámica de las lagunas, especialmente en lagunas con profundidades donde se esperen gradientes térmicos.

El estudio hidrodinámico para verificar el diseño de los prototipos, puede realizarse con otros modelos similares al MIKE21 FM, ya mencionados en el texto. Estos modelos son comerciales y herramientas muy poderosas y complejas, y por lo general implican, en el mejor de los casos, solicitud de licencias especiales a quienes los han desarrollado y los comercializan. Con base a lo anterior se recomienda desarrollar un modelo hidrodinámico propio y más sencillo que permita hacer las simulaciones hidrodinámicas requeridas, para verificar los diseños y los prototipos implementados de lagunas.

Se recomienda aplicar e implementar el modelo de gestión desarrollado en otros centros poblados de la Zona Panamericana del estado Mérida, para ir ganando experticia. Cumplida esta fase, es conveniente contemplar su implementación y adaptación en otras zonas del país, previa validación del modelo organizacional propuesto localmente.

www.bdigital.ula.ve