Artículo de Investigación. Revista Ciencia e Ingeniería. Vol. 42, No. 3 pp. 263-274, agosto-noviembre, 2021.
ISSN 1316-7081. ISSN Elect. 2244-8780 Universidad de los Andes (ULA)

Implementación de un modelo de gestión de lagunas de estabilización en el medio rural Venezolano. Caso: El Pinar, Zona Panamericana del Estado Mérida, Venezuela

Implementation of a waste stabilization pond management model in the Venezuelan rural environment. Case: El Pinar, Pan American Zone, Merida State, Venezuela

Espinosa-Jiménez, Carlos[1*]; Ramirez-Rodriguez,Stefanny[2]; Mejias-Monsalve,Mabel[3]; Jégat-Nicolo,Hervé[1]; Barreto-Cordero,Wilmer[4]

[1]Centro Interamericano de Desarrollo e Investigación Ambiental y Territorial (CIDIAT), Vicerrectorado Académico Universidad de los Andes. Mérida, Venezuela.
[2]Departamento de Hidráulica y Sanitaria, Escuela de Civil, Facultad de Ingeniería, Universidad de los Andes. Mérida, Venezuela.
[3]Universidad Nacional Experimental Sur del Lago Manuel María Semprún. Santa Bárbara, Estado Zulia. Venezuela.
[4] Universidad Católica de Temuco, Escuela de Geología. Temuco, Chile.
caesji1958@gmail.com caesji@ula.ve

Resumen

Se presenta la implementación e ilustración de un Modelo de Gestión para Lagunas de Estabilización en el medio rural, en la población de El Pinar, Zona Panamericana del Estado Mérida, Venezuela. El Modelo de Gestión, contempla aspectos ambientales, sociales y técnico-económicos para lograr la sostenibilidad. 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 conclusiones y recomendaciones destacan 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: lagunas de estabilización, modelo de gestión, sostenibilidad, saneamiento del medio rural, ventajas y beneficios.

Abstract

This paper presents the implementation and illustration of a Waste Stabilization Pond Management Model in the rural environment, in the town of El Pinar, Pan American Zone, Merida State, Venezuela. The Management Model contemplates environmental, social and technical-economic aspects to achieve sustainability. The environmental aspects considered the identification and mitigation of environmental impacts, in the construction and operation phases, as well as the use of effluent and by-products of ponds systems. For social aspects, the indicators of Environmental Social Equity of Drinking Water and Sewerage Services Coverage are provided. The technical-economic aspects involve the Hydrodynamic Study of the implemented pond prototype, the Organizational Model and the Economic Viability. Among the conclusions and recommendations, there are the multiple advantages and benefits when implementing a Conceptualized Stabilization Pond Management Model based on the sustainability triangle.

Keywords: stabilization ponds, management model, sustainability, rural sanitation, advantages and benefits.

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) 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 1.

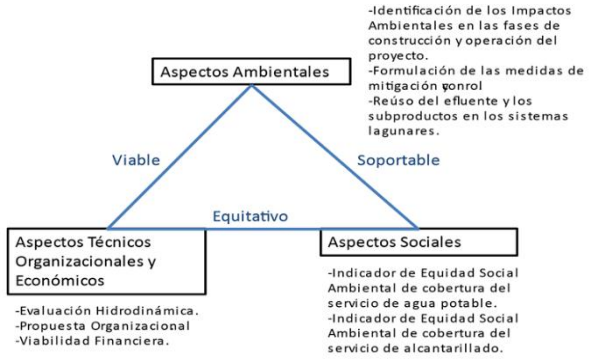

Fig. 1. Conceptualización del Modelo propuesto por Espinosa y col (2021) para la gestión de los Sistemas Lagunares ubicados en el medio rural de la Zona Panamericana del Estado Mérida, Venezuela.

Para ilustrar la implementación del modelo conceptual de gestión desarrollado por Espinosa y col (2021), 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, (Espinosa 2020, Ramírez y col., 2021).

1.1 El Pinar, Parroquia Florencio Ramírez, Municipio Caracciolo Parra y Olmedo, de la Zona Panamericana del Estado Mérida.

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 los 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).

1.2 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 m^2) espejo de agua y profundidad de 1,50m. El prototipo además fue estudiado hidrodinámicamente. Para determinar la capacidad de este prototipo de lagunas, fue evaluado mediante el modelo de carga desarrollado y presentado por Cubillos (1985).

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

Para lagunas primarias:

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

Para lagunas secundarias:

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

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 m^3/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 la Tabla 1, la cual resume el desempeño del sistema de lagunas.

2 Aspectos Ambientales.

2.1 Identificación de Impactos Ambientales y Medidas de Mitigación.

Las Tablas 2 y 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 1. Desempeño del sistema de lagunas con base en el modelo de carga de Cubillos (1985). Fuente: Elaboración propia.

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

a. Reúso del Efluente y los Subproductos.

Espinosa y col., 2021, 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 2 representa 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 (N y 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). 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 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).

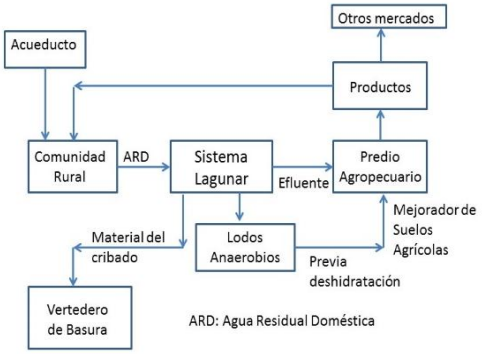

Fig. 2. Sistema Integrado propuesto para el manejo del efluente y los subproductos en los Sistemas Lagunares emplazados en la Zona Panamericana del Estado Mérida. Tomado de Espinosa y col (2021).

En general se considera que las lagunas facultativas no son efectivas para remover nutrientes (N y P), (Arceivala 1999, Crites y col., 2000). El uso de lodos 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 digestados 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 digestados 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 K, son cercanos a 1 a 5 veces de los niveles propios de fertilizantes comerciales, Polprasert (1996). La Tabla 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 4) menos la potencialidad de nutrientes de los lodos de las lagunas (Tabla 5).

Tabla 2. Aspectos Ambientales. Personal y equipos requeridos para implementar las medidas de mitigación durante la fase de construcción. Fuente: Elaboración propia.

Fase	Identificación de Impactos	Medidas de Mitigación	Personal y/o Equipo
Construcción	Incremento del tráfico de vehículos pesados como camiones de acarreo de materiales de construcción y maquinaria para excavación y movimiento de tierras como tractores, motoniveladoras y excavadoras de porte mediano.	Con personal obrero entrenado e 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. Controlar la velocidad máxima de circulación de los vehículos de acarreo de materiales en los accesos no pavimentados.	
	Generación de polvo.	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 e 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 hidrosanitarias.	La remoción de la capa vegetal para fundar las obras hidrosanitarias 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 3. Aspectos Ambientales. Personal y equipos requeridos para implementar las medidas de mitigación durante la fase de operación. Fuente: Elaboración propia.

Fase	Identificación de Impactos	Medidas de Mitigación	Personal y/o Equipo y/o Directrices
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, material algal 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 rejas de guarda del sistema lagunar (cribado), que básicamente son desechos sólidos (basuras).	El material retenido en el cribado es en esencia 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.

Tabla 4. Potencialidad de nutrientes en las aguas residuales crudas. Fuente: Elaboración propia. Cálculos realizados para una Dotación de 0,200m3/d, un Reingreso 80%. Aportes 7gN/persona.d y 3gP/persona.d

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

Tabla 5. Potencialidad de nutrientes en los lodos de las lagunas. Fuente: Elaboración propia a partir de Polprasert (1996) y US EPA(1983) . (1) Considerando 25 Kg de lodos secos por habitante/año. (2): SFT, Super Fosfato Triple.

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

3 Aspectos Sociales.

a. Indicador de Equidad Social Ambiental de cobertura del servicio de agua potable.

Conforme a la información procesada en la Tabla 6, el 93,18% de las viviendas de El Pinar estaban conectadas y recibían agua potable de un acueducto; además el 97,3% recibían el agua del acueducto con una frecuencia diaria, conforme se observa en la Tabla 7.

b. Indicador de Equidad Social Ambiental de cobertura del servicio de alcantarillado

De la Tabla 8 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. 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.

4 Aspectos Técnico-Económicos.

a. Evaluación Hidrodinámica.

Ramírez y col (2021), realizaron el estudio hidrodinámico de dos prototipos de lagunas de estabilización del medio rural de la Zona Panamericana del estado Mérida, mediante la implementación de un Modelo basado en Dinámica Computacional de Fluidos (MIKE 21 Flow Model del Instituto Danés de Hidráulica). Uno de los prototipos fue: 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.

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, 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. (Ramírez y col., 2021)

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. 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. (Ramírez y col., 2021)

4.1.3 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. (Ramírez y col., 2021)

4.1.4 Análisis y propuesta para mejorar la hidrodinámica del prototipo.

Se evidencia de las simulaciones hidrodinámicas de 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, 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.

Tabla 6. Indicador de Equidad Social Ambiental de Cobertura del Servicio de Agua Potable 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 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 %
Caracciolo Parra y Olmedo	Florencio Ramírez	1 892	93,18	0,74	0,05	1,37	0,32	0,00	2,54	0,00

4.2 Modelo Organizacional.

Espinosa y col (2021) 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 3. 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. 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.

4.3 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, el cual se presenta en la Tabla 9, 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 las fases de construcción del sistema de lagunas.

Tabla 7. 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. Fuente: Tomado de Espinosa y col (2021).

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	1 777	97,30	2,03	0,68	0,00

Tabla 8. 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	1 892	35,15	52,22	3,91	1,22	7,51

Fig. 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) conforme a las nuevas competencias de los entes involucrados.

Adicionalmente 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 y col., 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 la tasa de descuento o comisión del comercio para la construcción se ubica en 5.50%.

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 generan por año según la población conectada al servicio de saneamiento, se multiplica los kilos de subproductos por los costos internacional que tienen los mismos en el mercado, lo cual permite obtener unos ingresos anuales que se ven reflejados en la Tabla 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.
5. Se programó el proceso en una hoja de cálculo (Excel), y se procedió a calcular la TIR con la formula 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.

5. Conclusiones y recomendaciones.

El Modelo Conceptual de Gestión de Lagunas de Estabilización para el medio rural presentado por Espinosa y col., 2021, 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).

Los indicadores sociales contemplados son además indicadores ambientales sociales de género, y se vinculan con el tercer postulado 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 al 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 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, 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.

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.

Referencias.

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, Fondo de Cultura Económica, Mexico.

Crites R, 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, Venezuela, Trabajo de Incorporación a la Ilustre Academia Nacional de la Ingeniería y el Hábitat de Venezuela. Palacio de las Academias, Caracas, Venezuela. https://www.acading.org.ve/info/publicaciones/TRABAJOS_INCORPORACION/TI_CARLOS_ESPINOSA.pdf

Espinosa C, Ramírez S, Mejías M, Jegat H, 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.

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 Recicling: Technology and Management, Second Edition. John Wiley and Sons Ltd. Baffins Lane, Chichester, West Sussex PO19 1UD, England. ISBN 0 471 96434 4 (Ppc). ISBN 0 471 96482 4 (Pbk).

Ramírez S, Espinosa C, Jégat H, 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 (ULA), Mérida, Venezuela.

República Bolivariana de Venezuela, 2020, Gaceta Oficial N° 41.824 del 18-02-20. Caracas.

Torres M, 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 Desing Manual for land Application of Municipal Sludge, EPA-625/1-83-016, United States Environmental Protection Agency. Cincinnati, Ohio.

Vásquez R, 2015, Economipedia. Recuperado el 01 de Marzo de 2021, de Tasa de descuento: https://economipedia.com/definiciones/tasadescuento.html

Tabla 9. Presupuesto para la Construcción de Lagunas de Estabilización. Fuente: Elaboración propia.

Nº Partida	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unitario ($)	Total en $
Obras Preparatorias para Estructuras					
1	EXCAVACION EN TIERRA CON MAQUINARIA PARA ASIENTO 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 ASIENTO DEFUNDACIONES, ZANJAS, ETC. HASTA PROFUNDIDADESCO MPRENDIDAS ENTRE 1,50 Y 3,00 METROS	m3	1,950.20	3.3	6,435.66
3	COMPACTACION DE RELLENOS CON APISONADORES DE PERCUSION CORRESPONDIENTES A LOS ASIENTOS DE FUNDACIONES, ZANJAS, U OTROS.	m3	5,800.00	3	17,400.00
4	CONSTRUCCION DE BASE DE PIEDRA PICADA CORRESPONDIENTE A OBRAS PREPARATIVAS. INCLUYE EL SUMINISTRO Y TRANSPORTE DEL MATERIAL HASTA UNA DESTANCIA DE 50 km.	m3	657	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 CORRIENTE, PARA LA CONSTRUCCION DE MACHONES, VIGAS DE CORONA, DINTELES, ARRIOSTRAMIENTO DE PAREDES. INCLUYE TRANSPORTE DE CEMENTO Y AGREGADOS HASTA 50 Km Y EXCLUYE	m3	211	128.16	27,041.76
				Superestructura de Concreto	27,041.76
Encofrados					
6	ENCOFRADO DE MADERA, TIPO RECTO, ACABADO CORRIENTE, 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	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
	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	11.54	692.4
10	CONSTRUCCION DE REVESTIMIENTO INTERIOR EN PAREDES CON MORTERO, A BASE DE CAL, ACABADO LISO. INCLUYE FRISO BASE	m2	58.24	13.4	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	11.03	551.5
				Total Albañilería	2,846.09
Herrería					
13	SUMINISTRO, TRANSPORTE Y COLOCACION DE VENTANAS CORREDERAS DE PERFILES DE	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
Cerrajería					
15	CERRADURA DE POMO, ACABADO CROMO BRILLANTE, SIN CILINDRO, SIN CERROJO, PESTILLO DE SEGURIDAD. POMO EXTERIOR LIBRE, POMO INTERIOR CON BOTON	pza	1	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	m	17	41.22	700.74
17	TUBERIA DE AGUAS NEGRAS, HIERRO FUNDIDO, DIAMETRO 12 plg (304.8 mm), AMBIENTE	m	8.9	42.49	378.16
				Total tuberías	1,078.90
Mitigación de Impactos En la Construcción					
18	MEDIDAS DE MITIGACION EN LA CONSTRUCCION	día	20	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	5.73	229.2
20	CONSTRUCCION DE LECHOS DE SECADO				311.17
				Total de Impacto en la Operación	540.37
				Total	**89,822.40**
	Variación de Precios				
22	VARIACION DE PRECIOS (3%)	SG	1	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	11,003.17	11,003.17
				Total Impuesto al Valor Agregado	11,003.17
				Subtotal	91,693.07
				Total Presupuesto $	**102,696.24**

Tabla 10. Ingresos y Egresos generados en la operación de las Lagunas de Estabilización. Fuente Elaboración propia.

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

Tabla 11. 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	25
i (Tasa de descuento)	5.50%
Inversión Inicial	102,696.24
TIR	**40%**
Índice de rentabilidad o Razón Beneficio/costo	**8.19**

Agradecimientos.

Los Autores desean expresar su agradecimiento y reconocimiento al Instituto Danés de Hidráulica (DHI) de Dinamarca, por otorgarnos la Licencia correspondiente para el uso del modelo de simulación MIKE 21, una herramienta indispensable para el estudio hidrodinámico de las lagunas.

Recibido: *20 de marzo de 2021*

Aceptado: *30 de junio de 2021*

Espinosa-Jiménez, Carlos: *Ingeniero Civil (Intec, República Dominicana, 1981). Magister Scientiae en Obras Hidráulicas (Universidad de los Andes, Venezuela, 1985). Master of Engineering en Ingeniería Sanitaria (IHE-Delft, Holanda, 1997). Magister en Ingeniería Sanitaria y Ambiental (UNIVALLE, Colombia, 1999). Especialista en Abastecimiento de Agua Potable y Saneamiento Ambiental. Profesor Titular y Coordinador de Asistencia Técnica del Centro Interamericano de Desarrollo e Investigación Ambiental y Territorial de la Universidad de los Andes (CIDIAT-ULA). Mérida, Venezuela.*

Ramírez-Rodríguez, Stefanny Andreina: *Ingeniero Civil Cum Laude (Universidad de Los Andes, 2018). Participante de la Especialización en Sistemas de Gestión de Abastecimiento, Recolección y Tratamientos de Aguas en el Centro Interamericano de Desarrollo e Investigación Ambiental y Territorial de la Universidad de los Andes (CIDIAT-ULA). Profesora de la Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Hidráulica y Sanitaria de la Universidad de los Andes. Representante de la Escuela de Ingeniería Civil ante la Unidad de Información Institucional (UDI-OFAE) de la Universidad de los Andes. Mérida, Venezuela. Correo electrónico: Stefa19r@gmail.com.*

Mejías-Monsalve, Mabel Onedis: *Ingeniero Químico (Universidad de los Andes, 2002). Magister Scientiae en Gestión de Recursos Naturales Renovables (Universidad de Los Andes, 2008). Profesora de la Universidad Nacional Experimental Sur del Lago Jesús María Semprún. Santa Bárbara, Estado Zulia. Venezuela. Correo electrónico: mabelmejias@gmail.com*

Jégat-Nicolo, Hervé Jacques: *Ingeniero Hidráulico (Grenoble, Francia, 1972). DEA en Mecánica de Fluidos (Grenoble, Francia, 1973). Doctor (Grenoble, Francia, 1975). Especialista en Hidráulica aplicada a agua superficial y subterránea. Profesor Titular y Coordinador de Enseñanza del Centro Interamericano de Desarrollo e Investigación Ambiental y Territorial de la Universidad de los Andes (CIDIAT-ULA). Mérida, Venezuela. Correo electrónico: hjegat@gmail.com*

Barreto-Cordero, Wilmer José. *Ingeniero Civil UCLA (1992), Barquisimeto, Venezuela. Master of Science in Hydroinformatics (2001), IHE-Delft, The Netherlands. Doctor (2012), Delft University of Technology, The Netherlands. Profesor de la Escuela de Geología de la Universidad Católica de Temuco, Chile. Correo electrónico: wbarreto@uct.cl*