

# Implementación de un modelo de selección de tecnología para el tratamiento de aguas residuales en pequeñas comunidades (Parte B)

## Implementation of a technology selection model for wastewater treatment in small communities (Part B)

Espinosa-Jiménez, Carlos<sup>1\*</sup>; Ramírez-Rodríguez, Stefanny<sup>2</sup>; Rodríguez-Ayala, Jorge<sup>1</sup>; Duarte-Tavárez, Magda<sup>3</sup>.

<sup>1</sup>Centro Interamericano de Desarrollo e Investigación Ambiental y Territorial (CIDIAT), Vicerrectorado Académico Universidad de los Andes. Mérida, Venezuela.

<sup>2</sup>Departamento de Hidráulica y Sanitaria, Escuela de Civil, Facultad de Ingeniería, Universidad de los Andes. Mérida, Venezuela.

<sup>3</sup> Universidad Autónoma de Santo Domingo, Rep. Dom. Consultor Privado.

[caesji1958@gmail.com](mailto:caesji1958@gmail.com).

DOI: <https://doi.org/10.53766/CEI/2021.43.02.12>

### Resumen

*Se presenta la implementación de un modelo de selección de tecnología para tratamiento de aguas residuales en pequeñas comunidades rurales en la población de El Pinar, en la Zona Panamericana del Estado Mérida, Venezuela. En el modelo se definen criterios de selección y tecnologías de tratamiento promisorias. Los criterios de selección son ponderados en el lugar de emplazamiento y valorados con cada tecnología promisoria. Mediante una matriz multicriterio se define el orden de aptitud de las tecnologías promisorias, y se escoge la más apta. Para la opción seleccionada se formula a nivel de ingeniería conceptual el tren de tratamiento completo, bajo la óptica del reúso del efluente y los subproductos. Entre las conclusiones y recomendaciones destacan las bondades del modelo en cuanto a sus requerimientos de información y lo conveniente del enfoque del reúso del efluente y los subproductos, al formular el tren de tratamiento completo de la opción seleccionada.*

**Palabras clave:** modelo de selección de tecnología, tratamiento de aguas residuales, saneamiento, pequeñas comunidades, El Pinar, Mérida, Venezuela.

### Abstract

*The implementation of a technology selection model for wastewater treatment in small rural communities in the town of El Pinar, Pan American Zone of Mérida State, Venezuela, is presented in this paper. The model defines selection criteria and promising treatment technologies. The selection criteria are weighted at the site and assessed with each promising technology. By means of a multi-criteria matrix, the order of aptitude of the promising technologies is defined, and the most suitable one is chosen. For the selected option, the complete treatment train is formulated at the conceptual engineering level, from the perspective of the reused effluent and by-products. Among the conclusions and recommendations, the benefits of the model in terms of its information requirements and the appropriateness of the approach to the use of effluent and by-products stand out, when formulating the complete treatment train of the selected option.*

**Keywords:** technology selection model, wastewater treatment, sanitation, small communities, El Pinar, Mérida, Venezuela.

## 1 Introducción.

La selección de tecnología para el tratamiento de aguas residuales es un proceso importante y complejo, donde intervienen variables económicas, tecnológicas, sociales, políticas y del medio físico natural del lugar de emplazamiento. Por lo general los modelos disponibles y reportados en la literatura requieren mucha información, la cual no siempre está disponible, y su obtención puede requerir de un tiempo no disponible en el cronograma de ejecución de un proyecto de saneamiento.

## 2 Objetivo.

El objetivo de esta investigación es implementar e ilustrar el modelo de selección de tecnología presentado por Espinosa y col., (2021a) en la población de El Pinar, Parroquia Florencio Ramírez del Municipio Caracciolo Parra y Olmedo, de la Zona Panamericana del Estado Mérida.

## 3 Metodología.

Espinosa y col., (2021a) presentan la conceptualización de un modelo de selección de tecnología para aguas residuales en pequeñas poblaciones. El modelo propuesto se basa en una matriz multicriterio, en la cual se definen tecnologías promisorias y criterios de selección los cuales son ponderados en el lugar de emplazamiento y valorados con las tecnologías promisorias. Se consideran tecnologías promisorias para el tratamiento de aguas residuales aquellas que por sus características pueden ser implementadas en pequeñas comunidades. Esas características se refieren a su potencial de adaptación y resiliencia al medio físico-natural y socio-económico del lugar de emplazamiento. Los criterios de selección son los criterios sobre los cuales se realiza la toma de decisiones. Se refieren a características propias de las tecnologías promisorias con respecto a sus requerimientos de espacio, desempeño, costos de implementación, consumo energético y complejidad tecnológica para la operación y el mantenimiento.

Los criterios de selección son valorados para cada tecnología promisorias. La valoración implica jerarquizar en una escala numérica la aptitud de cada tecnología promisorias con relación a cada criterio de selección. Los criterios de selección son ponderados en el lugar de emplazamiento, tomando en consideración la realidad del medio físico-natural y socio-económico, disponibilidad de servicios públicos como electricidad, alcantarillado sanitario, así como la importancia político-territorial del lugar de emplazamiento. La ponderación implica jerarquizar en una escala numérica la aptitud del lugar de emplazamiento con relación a

cada criterio de selección. Para la ingeniería conceptual de la opción seleccionada serán formulada bajo la óptica del reúso del efluente y los subproductos, conforme a las recomendaciones de diversos autores como Polprasert, (1997), Espinosa y Foca, (2017), Espinosa, (2021), Espinosa y col., (2021a), Espinosa y col., (2021b), Espinosa y col., (2021c).

### 3.1 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 los ríos principales son: Tucaní, San Antonio, Río Frio 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).

## 4 Resultados de la aplicación de la matriz multicriterio de selección de tecnología.

La Tabla 1 presenta la implementación y el desarrollo de la matriz multicriterio propuesta por Espinosa y col. (2021a) en la población de El Pinar.

### 4.1 Interpretación de los resultados.

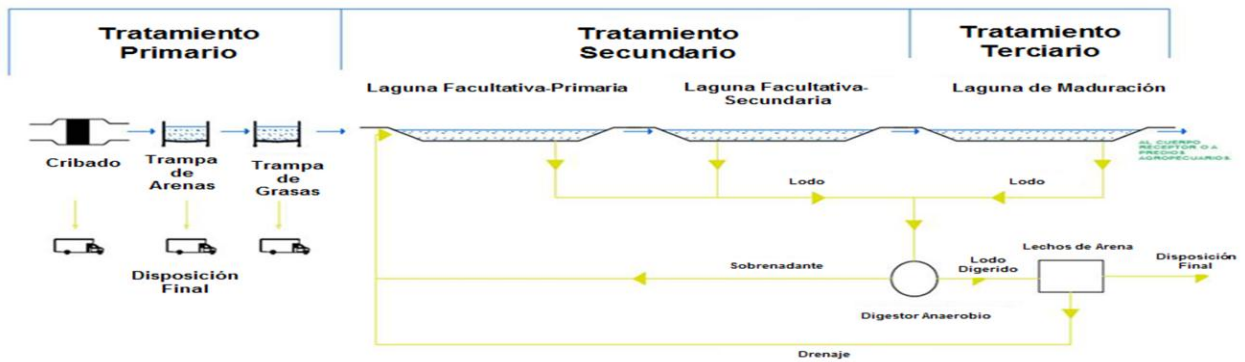
Conforme a los resultados de la matriz de selección de tecnología propuesta por Espinosa y col., (2021a), se deduce de la Tabla 1, que para el caso de El Pinar las opciones tecnológicas más aptas son Laguna de Estabilización y Reactor Anaerobio UASB. En ese mismo orden les siguieron Filtro Percolador y Lodo Activado. La secuencia de aptitudes, resultado de la matriz multicriterio, tiene sentido para las tecnologías promisorias comparadas y para las restricciones y bondades que ofrece la zona de emplazamiento.

### 4.2 Ingeniería Conceptual de las dos opciones más aptas bajo la óptica del reúso del efluente y los subproductos.

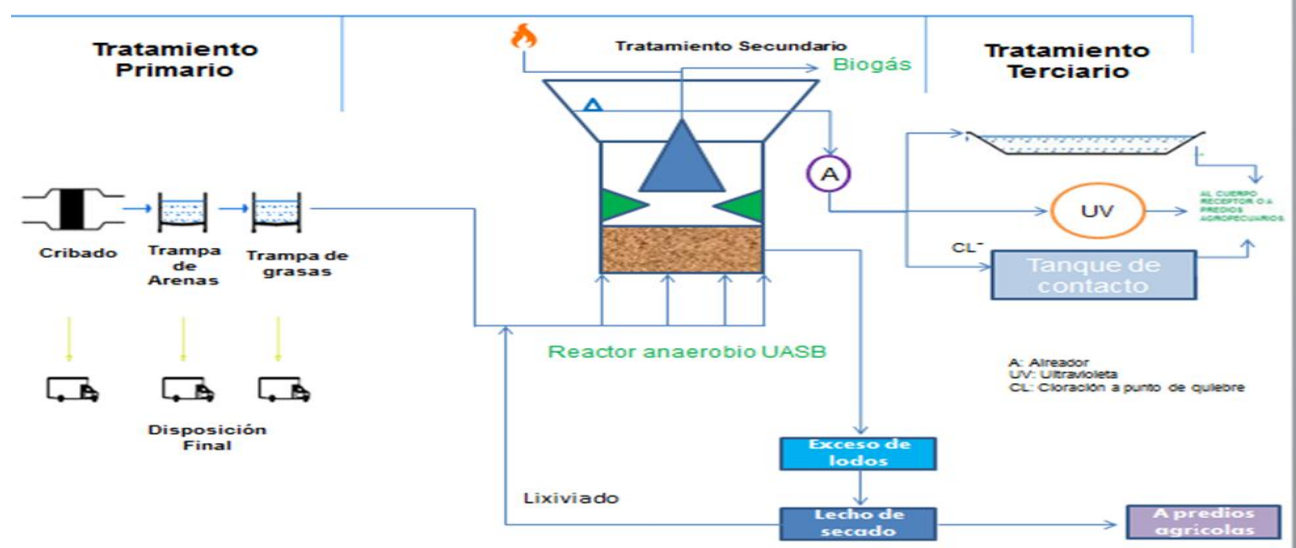
Las Figuras 1 y 2 presentan la ingeniería conceptual de las dos tecnologías promisorias más aptas para ser implementadas en la población de El Pinar, a saber Lagunas de Estabilización y Reactor tipo USAB respectivamente.

**Tabla 1.** Resultados de la matriz multicriterio para seleccionar tecnología de tratamiento de aguas residuales propuesta por Espinosa y col. (2021a), implementada en la población de El Pinar, Parroquia Florencio Ramírez, Municipio Caracciolo Parra, Zona Panamericana del Estado Mérida.

CRITERIOS DE SELECCIÓN (CS)	Ponderación	TECNOLOGÍAS PROMISORIAS							
		Laguna de Estabilización		Reactor UASB		Filtro Percolador		Lodo Activado	
		V	VXP	V	VXP	V	VXP	V	VXP
Consumo de energía	2	4	8	4	8	2	4	1	2
Costo de implementación	2	4	8	3	6	2	4	1	2
Requerimiento de espacio	4	1	4	3	12	3	12	4	16
Complejidad Tecnológica	2	4	8	1	2	2	4	1	2
Operación y mantenimiento	2	4	8	2	4	3	6	1	2
TOTAL ( $\sum VxP_i$ )		36		32		30		24	
ORDEN DE APTITUD		1º lugar		2º lugar		3º lugar		4º lugar	



**Fig. 1.** Ingeniería conceptual de la opción laguna de estabilización para ser implementada en la población de El Pinar, Parroquia Florencio Ramírez, Municipio Caracciolo Parra, Zona Panamericana del Estado Mérida. Fuente: Elaboración propia.



**Fig. 2.** Ingeniería conceptual de la opción reactor anaerobio UASB para ser implementado en la población de El Pinar, Parroquia Florencio Ramírez, Municipio Caracciolo Parra, Zona panamericana del Estado Mérida. Fuente: Elaboración propia.

#### 4.2.1 Primera opción: Laguna de Estabilización.

Las Lagunas de Estabilización, son obras sanitarias sencillas de fácil construcción, abiertas al sol y al aire. Son el método más simple de tratamiento de aguas residuales. Están constituidas por excavaciones poco profundas cercadas por taludes de tierra. Generalmente tienen forma rectangular o cuadrada. Cuando el agua residual es descargada en una laguna de estabilización se realiza en forma espontánea un proceso de auto purificación o estabilización natural, en el que tienen lugar fenómenos de tipo físico, químico y biológico. (Hernández, 2014)

En tratamiento primario contempla cribado, trampa de arenas y trampa de grasas. El cribado genera desechos sólidos (basuras) que deben ser dispuestos convenientemente, de ser posible incorporarlos al sistema de recolección y disposición de desechos sólidos de la mancomunidad local. La trampa de arenas producirá arenas, a las cuales se incorporarán biopelículas y materia orgánica particulada. Este material puede ser llevado a lechos de sacado y luego usarse en jardinería local o en predios agrícolas. La trampa de aceites y grasas retienen el exceso de estas sustancias de las aguas residuales crudas. Es importante su remoción, especialmente en aquellos casos donde se detecten concentraciones fuera de norma y se sospeche de incorporación de grasas y aceites minerales (derivados del petróleo) al alcantarillado sanitario, ya que este material no orgánico es de difícil degradación biológica. En todos los casos el manejo y la disposición final de estos subproductos deben regirse por la normativa legal vigente en el país.

El tratamiento secundario consiste en una o dos lagunas facultativas, cuya función es remover materia orgánica soluble. Los lodos, especialmente de la laguna primaria, deben ser digeridos en forma anaerobia para estabilizarlos, y luego secados en lechos de arena para ser usados como mejoradores de suelos agrícolas.

El tratamiento terciario contempla una laguna de maduración, para garantizar la remoción requerida de coliformes como indicador de patógenos, para así garantizar la desinfección del efluente y su reúso en predios agropecuarios.

#### 4.2.2 Segunda opción: Reactor anaerobio UASB (Reactor anaerobio de mano de lodo y flujo ascendente)

Lorenzo y col. (2006), definen el reactor UASB, como el proceso anaeróbico de flujo ascendente que consiste básicamente de un tanque Imhoff "al revés", presentando cámaras de digestión anaeróbica y de decantación superpuestas. En este digestor existen tres

zonas bien definidas, una primera zona de lecho de lodos en la cual se concentran los microorganismos que van a biodegradar el material orgánico presente, una segunda zona donde se encuentran los dispersos microorganismos a lo largo del UASB y una tercera zona que es aquella donde ocurre la separación de gas-líquido-sólido.

El tratamiento primario es similar a la primera opción.

El tratamiento secundario contempla un reactor anaerobio de alta tasa tipo UASB. Este reactor tiene la ventaja de generar biogás con un contenido de metano (CH<sub>4</sub>) de aproximadamente 70%. Este biogás puede ser utilizado como fuente de energía para el provecho de la comunidad y en actividades agroindustriales. El exceso de lodo anaerobio del reactor puede ser deshidratado en lechos de secado y ser dispuesto en predios agrícolas como mejorador de suelos.

En tratamiento terciario, y para garantizar la desinfección del efluente, se proponen tres alternativas: una laguna de maduración, un punto de aplicación de radiación ultravioleta (UV) y un tanque de contacto con aplicación de cloro a punto de quiebre.

La Figura 3 ilustra, para los dos casos anteriores, el sistema integrado propuesto para el manejo de aguas residuales en pequeñas comunidades bajo la óptica del reúso del efluente y los subproductos.

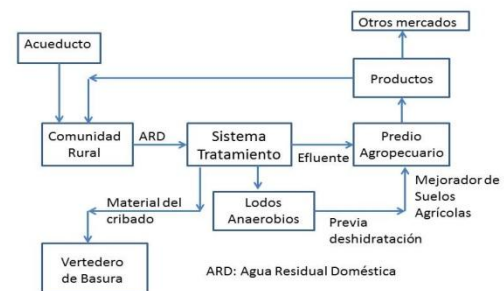


Fig. 3. Sistema Integrado propuesto para el manejo del efluente y los subproductos en los Sistemas de Tratamiento emplazados en pequeñas comunidades. Fuente: Elaboración propia.

## 5 Conclusiones y recomendaciones.

El modelo de selección de tecnología propuesto representa una herramienta útil y de fácil implementación, en el momento de comparar opciones tecnológicas promisorias para el manejo de las aguas residuales, en el contexto del saneamiento del medio rural no disperso. Es muy importante la definición con fundamento de las tecnologías promisorias y los criterios de selección. Las bondades y restricciones del

lugar de emplazamiento deben conocerse e identificarse también. Esas son las claves del modelo y requieren del juicio de expertos.

En pequeñas poblaciones en el medio rural, los llamados sistemas integrados tienen la facilidad de ser implementados, mediante el uso del efluente en fertirrigación con restricciones de ciertos cultivos y frutales, forraje animal y plantaciones forestales, entre otros. Además el uso de subproductos, como los lodos biológicos, permiten el reciclaje de los nutrientes que contienen, disminuyendo así la aplicación y el uso de fertilizantes en los predios agrícolas próximos al emplazamiento de estas obras hidrosanitarias.

En el caso particular de El Pinar, ubicado en una zona agropecuaria y agroindustrial, con centros de consumo importantes en su área de influencia (Maracaibo, Ciudad Ojeda, Cabimas, Valera, El Vigía y Mérida), el reúso del efluente y los subproductos del sistema de tratamiento se pueden implementar con evidentes beneficios económicos y ambientales.

## Referencias.

- Espinosa C, 2021, Lagunas de estabilización en el medio rural venezolano. Caso: Zona panamericana de los Estados Mérida y Trujillo, Venezuela. Ediciones de la Academia Nacional de la Ingeniería y el Hábitat de Venezuela, Caracas, Venezuela.
- Espinosa C, Focá V, 2018, Sistemas Integrados para el manejo de Aguas Residuales en el Medio Rural. En Avances, desarrollo y sustentabilidad agroambiental en el Ecuador y Venezuela, Universidad de Los Andes de Venezuela y Pontificia Universidad Católica de Ecuador.
- Espinosa C, Ramírez S, Mejías M, Jégat H, Bachá M, 2021b, "Conceptualización de un modelo de gestión para lagunas de estabilización en el medio rural venezolano. Caso: Zona Panamericana del Estado Mérida, Venezuela", "Ciencia e Ingeniería" Revista de la Facultad de Ingeniería de la ULA. Volumen 42, N°2, 113-116.
- Espinosa C, Ramírez S, Mejías M, Jégat H, Barreto W, 2021c, "Implementación de un modelo de gestión de lagunas de estabilización en el medio rural Venezolano. Caso: El Pinar, Zona Panamericana del Estado Mérida, Venezuela", "Ciencia e Ingeniería" Revista de la Facultad de Ingeniería de la ULA Vol. 42, N° 3, 113-126.
- Hernández I, 2014, Bioingeniería. Recuperado el 26 de Noviembre de 2019, de Sistemas de depuración de Agua: <https://sites.google.com/site/bioingenieriauv15/op-eracion-del-programa>.
- Lorenzo Y, Obaya M, 2006, La digestión anaerobia y los reactores UASB, generalidades. "ICIDCA. Sobre los derivados de la caña de azúcar", Instituto Cubano de os derivados de la Caña de Azúcar, Vol XL, N° 1.
- 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 Magister 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 C, 1996, Organic Waste Recycling, John Wiley and Sons, UK.

**Recibido:** 28 de enero de 2022


**Aceptado:** 15 de marzo de 2022

**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.

 <https://orcid.org/0000-0003-0861-5918>

**Ramírez-Rodríguez, Stefanny Andreina:** Ingeniero Civil Cum Laude (Universidad de Los Andes, 2018). Especialista 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, 2021). Profesora de la Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Hidráulica y Sanitaria de la Universidad de los Andes. Jefe del área de Ingeniería Sanitaria, Escuela de Civil, Facultad de Ingeniería 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](mailto:Stefa19r@gmail.com).

 <https://orcid.org/0000-0002-4148-1774>

**Rodríguez-Ayala, Jorge Luis:** Ingeniero Civil (Universidad de Los Andes, Venezuela, 1987). Especialista en Recursos Hidráulicos (Universidad de Los Andes, Venezuela, 2008). Investigador en Ciencias Básicas Naturales y Aplicadas, de la Universidad de Los Andes adscrito al Centro Interamericano de Desarrollo e Investigación Ambiental y Territorial de la Universidad de los Andes (CIDIAT-ULA). Mérida, Venezuela. Correo electrónico: [jorgerodriguezayala@gmail.com](mailto:jorgerodriguezayala@gmail.com)  
[rjorge@ula.ve](mailto:rjorge@ula.ve)

 <https://orcid.org/0000-0002-5019-7628>

**Duarte-Tavárez, Magda:** Ingeniero Civil (Universidad Autónoma de Santo Domingo, UASD, 1970). Especialista en Ingeniería Sanitaria (1971) y Maestro en Ingeniería Sanitaria (1972) en la Universidad Nacional Autónoma de México. Profesora de Ingeniería Sanitaria de la UASD y del Instituto Tecnológico de Santo Domingo (Intec). Consultor en Ingeniería Sanitaria y Ambiental en la República Dominicana. Correo electrónico: [m.duartevda@claro.net.do](mailto:m.duartevda@claro.net.do)

 <https://orcid.org/0000-0001-6601-8746>