

Propuesta comparativa de dos sistemas de tratamiento anaeróbicos de aguas residuales para mercados públicos en Panamá en sitios donde no cuenten con una red de alcantarillado

Comparative proposal of two anaerobic wastewater treatment systems for public markets in Panama in sites where they do not have a sewerage network

Irving Isaac Isaza Santos

Universidad de Panamá, Facultad de Ingeniería, Panamá
irving.isaza@up.ac.pa, <https://orcid.org/0000-0002-4029-0992>

José Herrera

Universidad de Panamá, Facultad de Ingeniería, Panamá
jose.herrerac@up.ac.pa, <https://orcid.org/0000-0002-7944-0126>

Meily Valencia

Universidad de Panamá, Facultad de Ingeniería, Panamá
meily.valencia@up.ac.pa, <https://orcid.org/0000-0003-3753-6848>

Mariangi Marysel Cortes Gutiérrez

Universidad de Panamá, Facultad de Ingeniería, Panamá
mariangi.cortes@up.ac.pa, <https://orcid.org/0009-0009-7088-807X>

Recibido: 06-01-24, Aceptado: 30-05-25

DOI <https://doi.org/10.48204/j.saber.es.v8n2.a7824>

Resumen

En áreas que se tienen destinadas para la construcción de mercados públicos en sitios urbanos y suburbanos de la República de Panamá que requieren de tratamientos de las características de sus aguas residuales con o sin sistemas de alcantarillado, deseamos proponer este artículo con el objetivo de comparar sistemas anaeróbicos, como medida en las áreas de construcción y mantenimiento. Al realizar esta comparación entre el sistema de Tanque Séptico y un Reactor UASB; deseamos presentar la diferencia como sistema de tratamiento incluyendo la posible propuesta económica.

Palabras clave: ambientalista, mantenimiento, alcantarillado.

Abstract

In areas that have been earmarked for the construction of public markets in urban and suburban sites in urban and suburban sites in the Republic of Panama, which require wastewater treatment the treatment of the characteristics of their wastewater with or without sewage systems, we wish to propose this sewerage systems, we wish to propose this article with the objective of comparing anaerobic systems, as a measure in the areas of construction and maintenance. By making this comparison between the Septic Tank system and a UASB Reactor, we wish to present the UASB Reactor; we wish to present the difference as a treatment system including the possible economic the possible economic proposal.

Keywords: environmentalist, maintenance, sewage.

Introducción

La necesidad de sistemas de tratamiento anaeróbicos más rentables para las áreas comerciales específicamente los mercados públicos (Municipio de Panamá 27 de agosto de 2023), fue la motivación que nos permitió el diseño de los sistemas de tratamiento primario anaeróbicos. Dicho proceso de digestión anaerobia se realiza normalmente en tanques cerrados denominados reactores y presenta beneficios económicos y ambientales como consecuencia de la producción de energía. (Valdez Enrique y Vázquez Alba 2003, p. 17)

En nuestra propuesta comparativa deseamos presentar en la etapa de tratamiento de los sistemas primarios la reducción del contenido de sólidos en suspensión de las aguas residuales estos procesos anaeróbicos se producen en ausencia de oxígeno, dando un significado a nuestros dos sistemas de tratamientos.

Un tanque séptico es un recipiente rectangular bajo la tierra para las aguas domesticas con características homogéneas, siendo el mismo impermeable, con materiales constructivos de bloques y de hormigón armado. (Organización Panamericana de la Salud 2005, p.9).

Los reactores UASB (Upflow Anaerobic Sludge Blanket/ reactor anaerobio de flujo ascendente) o RAFA son un tipo de biorreactor tubular que operan en régimen continuo

y en flujo ascendente, es decir, el afluente entra por la parte inferior del reactor, atraviesa todo el perfil, la cual transforma las sustancias contaminantes en amoníaco, dióxido de carbono, agua y sulfuro de hidrógeno (M. en. C. Marjorie Márquez Vázquez y M. en C. Sergio A. Martínez González. 2011, p. 20) Tabla 1.

Tabla 1

Ventajas y Desventajas del Tanque séptico y Reactor UASB:

| Tanque séptico | Reactor UASB |
|--|---|
| Ventajas | Ventajas |
| <ul style="list-style-type: none"> • Apropiado para comunidades rurales, edificaciones, parques. • Limpieza no frecuente. • Tiene un bajo costo de construcción y operación (En caso de hacer un diseño para una población menor a 350 habitantes). • Mínimo grado de dificultad en operación y mantenimiento si se cuenta con infraestructura de remoción de lodos. | <ul style="list-style-type: none"> • La producción de lodos estabilizados en exceso es mínima y fácilmente drenable hasta de 30 a 40 % y, por tanto, los costos de tratamiento del lodo y su transportación posterior son relativamente bajos. • Se pueden aplicar altas cargas hidráulicas y orgánicas con eficiencias aceptables. • El reactor necesita poco espacio. • Los lodos anaerobios adaptados pueden mantenerse sin alimentación por largos períodos de tiempo, por lo que el proceso resulta muy adecuado |

| | |
|--|---|
| | <p>para las industrias que trabajan de forma cíclica.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Su construcción no es compleja y los costos de operación y mantenimiento son relativamente bajos. • El consumo de potencia es bajo, puesto que el sistema no requiere ninguna agitación mecánica. • La retención de biomasa es muy buena y por eso no es necesario reciclar el lodo. • Producción de metano aprovechable. • La fermentación ácida y metánica, así como la sedimentación tienen lugar en el mismo tanque, por lo cual las plantas son muy compactas. |
| <p>Desventaja</p> | <p>Desventaja</p> |
| <ul style="list-style-type: none"> • Uso limitado para un máximo de 350 habitantes. | <ul style="list-style-type: none"> • El comienzo del proceso es lento y requiere de un período de 8 a 12 semanas. |

- | | |
|---|---|
| <ul style="list-style-type: none">• De ser un diseño para una alta demanda de habitantes ocupara mucho más espacio.• También de uso limitado a la capacidad de infiltración del terreno que permita disponer adecuadamente los efluentes en el suelo.• Requiere facilidades para la remoción de lodos (bombas, camiones con bombas de vacío). | <ul style="list-style-type: none">• El proceso es sensible a la presencia de compuestos tóxicos.• La reducción de bacterias patógenas es relativamente baja. |
|---|---|

Fuentes: Lorenzo y Obaya, 2006. / Vázquez y González, 2011.

Materiales y métodos

Hemos realizado en este artículo un análisis comparativo para mercados públicos (Fábrega José Luis 22 de noviembre de 2022); entre el sistema del Tanque Séptico y el Reactor UASB para el diseño (dimensionamiento), con una población aproximada de 1000 habitantes.

Para que el tanque séptico tenga una mejor sedimentación se obtuvo una proporción con una relación de ancho de 14.90 m. Para la construcción se colocarán materiales de diferentes tamaños menores sobre la grava. El drenaje cuenta con procesos microbiológicos por lo que las bacterias transpiran.

Al momento de calcular las principales variables de diseño, se recomienda un consumo per cápita 100 galones/persona por día para zonas urbanas, un valor del 80%

que es la contribución de las aguas servidas, con un cálculo del factor de Máxima F ($F = 6.46 \text{ hab}^{-0.152}$). (Instituto de Acueductos y Alcantarillados 2006)

Una vez obtenidas las variables se procedió al cálculo del caudal medio, con este dato y un tiempo de retención de 2 días, se calculó el volumen del sedimentador, volumen de digestión y almacenamiento de lodos con mantenimiento de limpieza de 8 años. Luego se procedió a verificar que el volumen de lodos producidos sea de menor espacio que su proceso requerido de digestión.

La metodología para el diseño del paralelepípedo del tanque séptico, se considera una profundidad de 1.75m y una relación de largo/ancho de 3.1.

Con estas mismas variables que se obtuvieron se procede con el diseño del reactor UASB: población, consumo per cápita, contribución de aguas servidas y cálculo de factor de máxima. Para este caso se consideraron las siguientes variables de demanda química de oxígeno y la relación de la demanda bioquímica de oxígeno, como lo describe la norma DGNTI-COPANIT 39-2000 Ministerio de Comercio e Industrias Dirección General de Normas y Tecnología Industrial. Tabla 2.

Tabla 2

Comparación entre Diseño del Tanque Séptico y el Reactor UASB

| Variables | Valores del Tanque Séptico | Valores del reactor UASB |
|--------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------|
| Población | 1000 personas | 1000 personas |
| Tiempo de retención | 2 días | 9 horas |
| Consumo per cápita | 100 gal/persona/día | 100 gal/persona/día |
| Contribución de aguas servidas | 80 % | 80% |
| Factor de máxima | 2.26 | 2.26 |
| Profundidad del tanque | 1.75 metros | 5.4 metros |
| Tiempo de limpieza del tanque | 8 años | |
| Lodos producidos | 40 l/persona/año | |
| DQO afluente | | 373.33 mg/l |
| Relación DQO/DBO5 | | 1.875 |

Dichas variables el caudal medio del Tanque Séptico es lo mismo al del reactor, se realiza el cálculo de los caudales Máximo Diario y Horario para regiones rurales, después se calcula la carga del afluente medio.

Una vez elaborado esto con el caudal medio y el tiempo de retención se procedió a calcular el volumen total solicitado para el reactor, en el mismo se hicieron las comparaciones de las cambiantes hidráulicas como son las velocidades con las

permisibles, después de obtener la elevación que se utilizara se lleva a cabo a decidir el sector del reactor, para el cálculo de los tubos difusores y la zona del separador gas-sólido-líquido que es el dispositivo más relevante en el reactor.

Los reactores UASB han demostrado en el proceso de su realización, que constituyen una alternativa confiable y económica al pensar en tratamiento de aguas residuales de mediana y alta carga (Tilley, et.al, 2018), ya que el reactor UASB es un sistema compacto y por ende los costos de construcción y operación generalmente son bajos, debemos de tener en cuenta que la producción de lodo será pequeña por lo tanto la disposición de este tratamiento se va a simplificar; ellos tienen bajo consumo de energía, se debe tener mucho cuidado con la alcalinidad disponible para prevenir posibles procesos de alcalinización. (Conil, 2001).

Resultados

En el presente cuadro de diseño del Tanque Séptico y Reactor UASB. Para el tanque séptico se observa el caudal medio de $28.51 \text{ m}^3/\text{día}$ con este valor se obtuvo el volumen de sedimentador de 605.6 m^3 , volumen de digestión y almacenamiento de lodos de 560 m^3 ; lo cual nos arroja un volumen total de 1166.3 m^3 .

Utilizando la relación 3:1 para el largo sobre ancho, para este sistema primario se obtuvo un largo de 44.7 m, ancho de 14.90 m y una profundidad de 1.75 m. Tabla 3, 4.

Tabla 3.

Resultados del dimensionamiento entre el Tanque Séptico y el Reactor UASB:

| Variables | Valores del Tanque Séptico | Valores del reactor UASB |
|--|-----------------------------------|---|
| Caudal medio | 28.51 m ³ /día | 28.51 m ³ /h |
| Largo | 44.7 m | 7.00 m |
| Ancho | 14.90 m | 7.00 m |
| Profundidad | 1.75 m | 5.4 m |
| Volumen total | 1166.3 m ³ | 256.59 m ³ |
| Volumen del sedimentador | 605.6 m ³ | |
| Volumen de digestión y almacenamiento de lodos | 560 m ³ | |
| Volumen de lodos generados | 320 m ³ | |
| Caudal máximo diario | | 71.27 m ³ /hora |
| Caudal máximo específico | | 114.04 m ³ /hora |
| Carga del afluente medio | | 479.029 kg DQO/día |
| Cálculo de COV | | 1.87 kg DQO/m ³ – día |
| Cálculo de CHV | | 2.67 m ³ /m ³ – día |

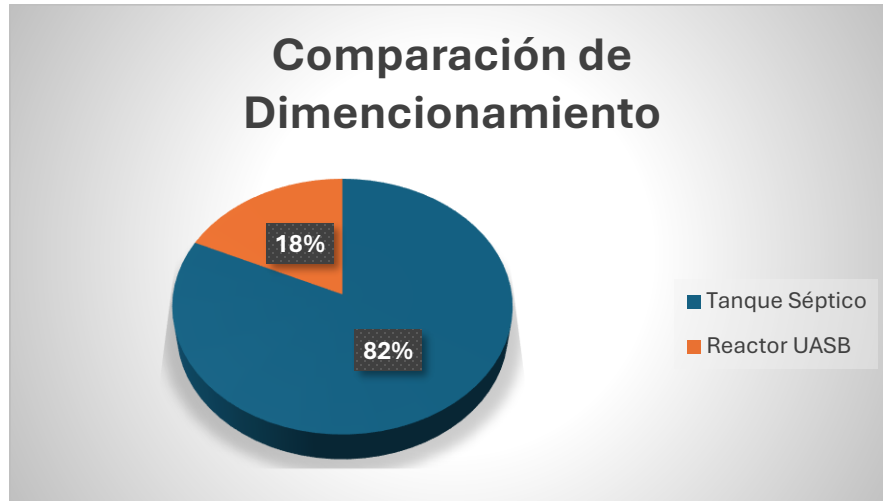
| | | |
|-----------------------------|--|----------------------|
| Velocidad media | | 0.60 m/hora |
| Velocidad máxima específica | | 1.41 m/hora |
| Cantidad de difusores | | 24 |
| Área del reactor | | 47.52 m ² |

Para el reactor UASB usando el mismo valor de caudal medio de 28.51 m³/día con demanda química de oxígeno (DQO) de 380 mg/l y tiempo de retención de 9 horas se obtuvo un volumen de 256.59 m³ para un ara de reactor de 47.52 m² lo que puede representar en medidas constructiva un largo de 7 m y ancho de 7 con altura de 5.4 m. Fig. 1,2,3

Con esto para una misma población comparamos los valores de dimensiones de ambos sistemas y se logra observar en la tabla que el tanque séptico requiere de un volumen de 1166.3 m³ y el reactor UASB de un volumen de 256.59 m³ obteniendo de que el tanque séptico resulte 4.55 veces más grande. Fig. 4,5,6,7

Figura 1.

Dimensiones entre sistema de tanque séptico y reactor UASB.



Nota: El porcentaje presentado es la proporción en Dimensión de un Tanque Séptico (Requiere 82%) y el reactor UASB (solo necesita el 18% del Tamaño del Tanque Séptico)

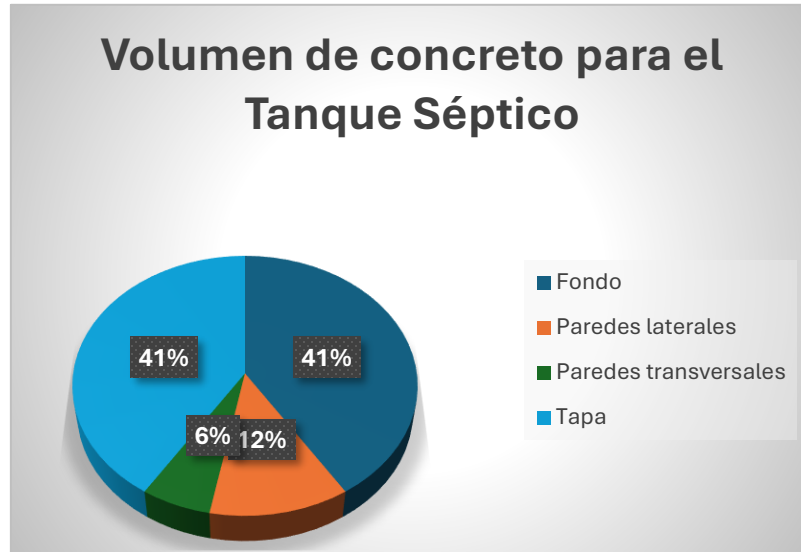
Tabla 4.

Comparación de volumen de concreto entre el sistema de Tanque Séptico y el Reactor UASB.

| Volumen de concreto | Tanque Séptico | Reactor UASB |
|-----------------------|-----------------------------|---------------------------|
| Fondo | 133.20 m ³ | 9.8 m ³ |
| Paredes laterales | 39.11 m ³ | 18.9 m ³ |
| Paredes transversales | 19.57 m ³ | 18.9 m ³ |
| Tapa | 133.20 m ³ | 9.8 m ³ |
| Total: | 325.10 m³ | 57.4 m³ |

Figura 2.

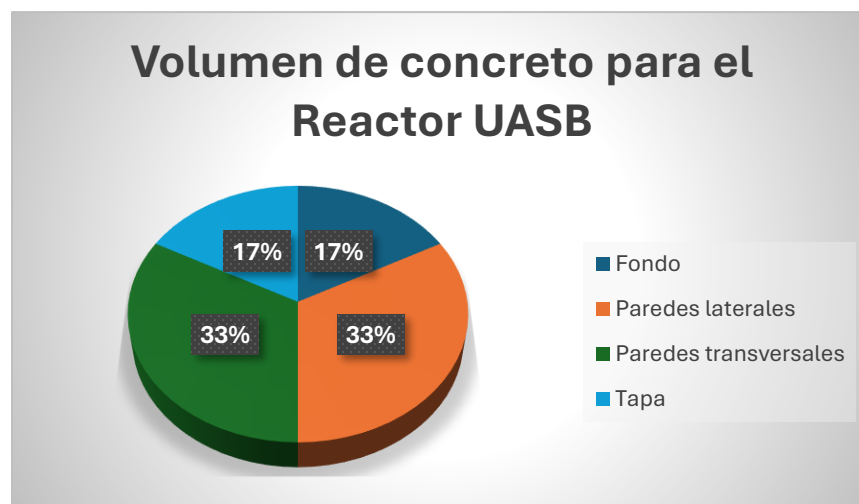
Porcentajes de volumen de concreto en las partes del Tanque Séptico.



Nota. El Fondo necesita el 41% de la dimensión total al igual que la losa de concreto (Tapa), las paredes laterales el 12% y las paredes laterales 6%

Figura 3.

Porcentajes de volumen de concreto en las partes del Reactor UASB



Nota. El Fondo necesita el 17% de la dimensión total al igual que la losa de concreto (Tapa), las paredes laterales el 33% y las paredes laterales 33%

Figura 4.

Volumen de concreto en los sistemas de Tanque Séptico y Reactor UASB.

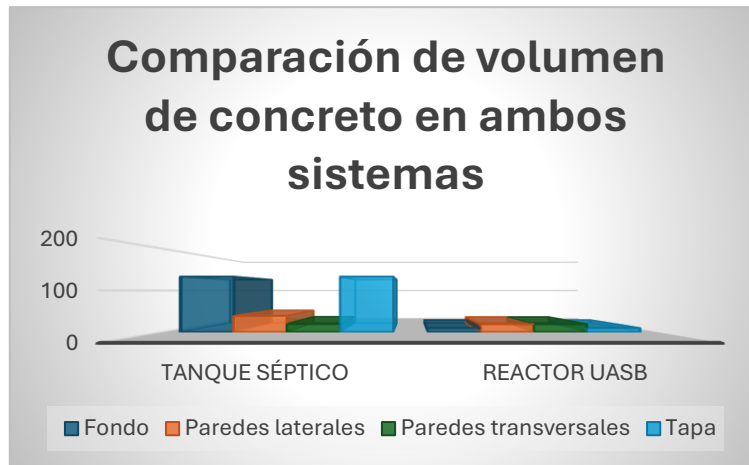


Tabla 5.

Comparación de cantidad de acero entre el sistema de Tanque Séptico y el Reactor UASB.

| Cantidades | |
|------------------|--------------|
| Tanque Séptico | Reactor UASB |
| 48191 kg | 3542 kg |
| Relación: 13.606 | |

Figura 5.

Cantidad de acero entre el sistema de Tanque Séptico y Reactor UASB.

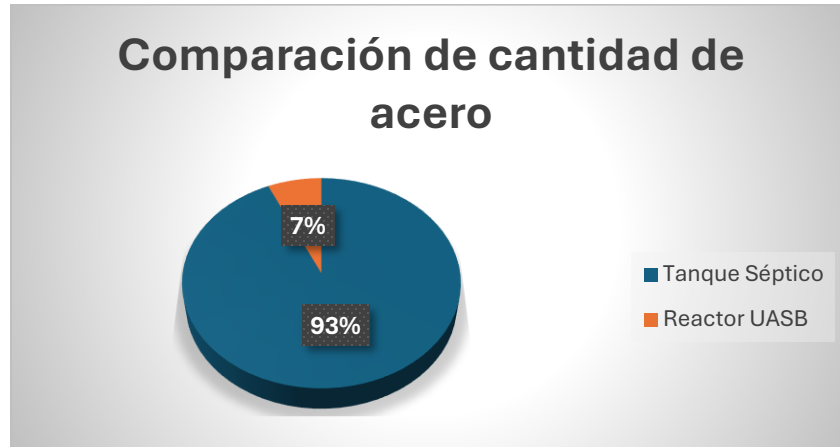


Tabla 6.

Comparaciones en costos totales entre sistema de Tanque Séptico y Reactor UASB

| Costos totales | |
|-----------------------|---------------------|
| Tanque Séptico | Reactor UASB |
| B/. 311,245.44 | B/. 39,189.12 |
| Relación: 7.942 | |

Figura 6.

Costos totales entre el sistema de Tanque Séptico y Reactor UASB.

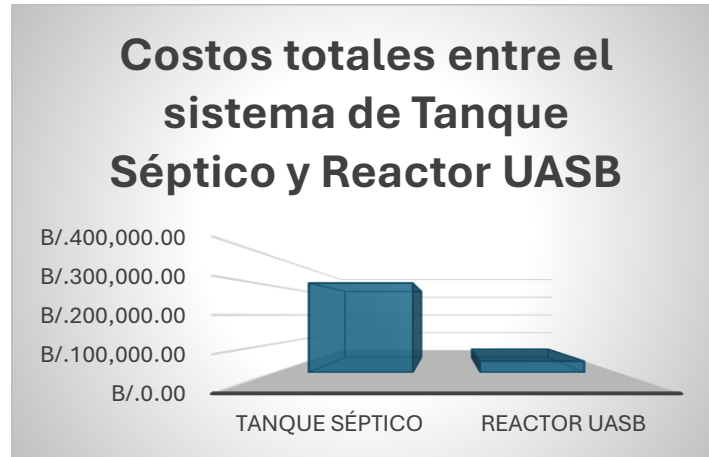


Tabla 7.

Comparaciones en costos por m2 entre sistema de Tanque Séptico y Reactor UASB.

| Costos por m2 | |
|-----------------|--------------|
| Tanque Séptico | Reactor UASB |
| B/. 467.31 | B/. 799.78 |
| Relación: 1.711 | |

Figura 7.

Costos por m² entre el sistema de Tanque Séptico y Reactor UASB.



Conclusión

Dados los resultados con una población de 1000 habitantes y para la misma calidad de agua se obtuvo de que el dimensionamiento el tanque séptico resulta ser menos eficiente debido a que es 4.55 veces más enorme que un reactor UASB referente a tamaño y requiere de un volumen de concreto 13.606 veces más que el reactor UASB.

Para poblaciones regiones rurales de alta densidad donde no cuentan con un sistema de alcantarillado, el tanque séptico no resulta ser la solución más eficiente referente a dimensiones, añadiendo el estudio de costo del reactor UASB que da más ventajas para su construcción y/o utilización.

Referencias Bibliográficas

- Conil, P. (2001). La tecnología anaerobia UASB en el tratamiento de las aguas residuales domésticas: 10 años de desarrollo y maduración en América Latina. Waterloo Bélgica: Biotec.
- Fábrega José Luis 22 de noviembre de 2022 “Beneficios inmediatos de Construir un Mercado Público. La Estrella de Panamá. <https://www.laestrella.com.pa/opinion/columnistas/beneficios-inmediatos-construir-mercado-publico-EFLE481555>
- Industrias, M. d. (2000). Reglamento Técnico DGNTI-COPANIT 39-2000: Descarga de Efluentes Líquidos Directamente a Sistemas de Recolección de Aguas Residuales. Ministerio de Comercio e Industrias Dirección General de Normas y Tecnología Industrial, MICI. .
- Instituto de Acueductos y Alcantarillados (2006). Normas Técnicas para Aprobación de Planos de los Sistemas de Acueductos y Alcantarillados Sanitarios. IDAAN, Dirección de Ingeniería, Departamento de Estudio y Diseño. Panamá.
- Lorenzo, Y., & Obaya, M. C. (2006). La digestión anaerobia y los reactores UASB. Generalidades. ICIDCA. Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar, 40 (1), 13-21. Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar Ciudad de La Habana, Cuba.
- M. en. C. Marjorie Márquez Vázquez y M. en C. Sergio A. Martínez González. (2011) Centro Tecnológico Aragón, Laboratorio de Ingeniería Ambiental. Reactores Anaerobios de Flujo Ascendente (RAFA's o UASB) Antología. México.
- Municipio de Panamá 27 de agosto de 2023 “Mercados y ferias municipales impactan positivamente en la economía de compradores y vendedores. Nota de prensa. <https://mupa.gob.pa/mercados-y-ferias-municipales-impactan-positivamente-en-la-economia-de-compradores-y-vendedores/>
- Tilley, E., Ulrich, I., Lüthi, C., Reymond, P., Schertenleib, R., y Zurbrügg, C. (2018): Compendio de sistemas y tecnologías de saneamiento. Dübendorf (Suiza): Instituto Federal Suizo para la Ciencia y la Tecnología Acuática (Eawag), 2da. edición revisada.
- Valdez Enrique y Vázquez Alba (2003) Ingeniería de los Sistemas de Tratamiento y disposición de aguas Residuales, Fundación ICA. https://sinia.minam.gob.pe/sites/default/files/siar-puno/archivos/public/docs/ingenieria_de_los_sistemas_de_tratamiento_y_disposicion_de_aguas_residuales_civilgeeks.pdf