

ESCENARIO PARA EL ANÁLISIS DE RIESGO DE UN HUMEDAL CONSTRUIDO DE FLUJO HORIZONTAL SUBSUPERFICIAL PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS

Y.A. Pérez^{1,2}, U. J. Jáuregui-Haza^{1*}, D. A. García-Cortes², A. Torres-Valle²

¹Instituto Tecnológico de Santo Domingo, Ave. de los Próceres, Santo Domingo, República Dominicana

²Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales, República Dominicana

³Instituto Superior de Tecnologías y Ciencias Aplicadas (InSTEC), Universidad de La Habana, La Habana, CP 10600, Cuba

*Corresponding author email: ulises.jauregui@intec.edu.do

Fuente de financiamiento: FONDOCYT Y Fondos Propios INTEC
Duración del proyecto: 2 años
Coinvestigador: Yvelisse Pérez
ODS: 6, 11, y 15

Resumen

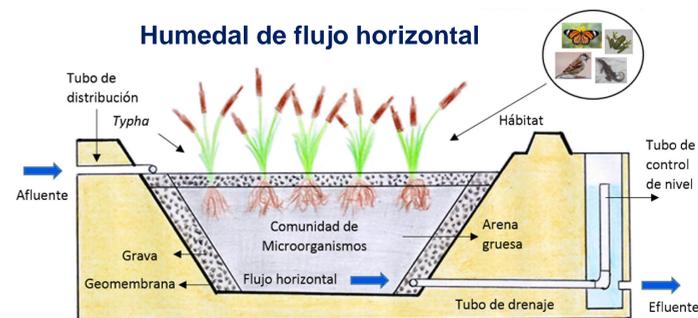
Entre las tendencias actuales para el tratamiento de aguas residuales están los sistemas que simulan la naturaleza, como los humedales construidos. Como cualquier sistema, estos no están exentos de presentar dificultades por la acción de elementos externos. Por ello, el análisis de riesgo es vital para, desde su diseño, tener en cuenta los elementos que garanticen una adecuada respuesta ante adversidades. Existen legislaciones que regulan la realización de estas evaluaciones. Aunque con efectos menos inmediatos, los humedales empleados en el tratamiento de aguas residuales están enmarcados en la ISO 14000, y quedan incluidos entre las instalaciones con riesgo ambiental señaladas como procesos e instalaciones auxiliares destinados al tratamiento de la contaminación. La ISO 14000 establece métodos matriciales de evaluación del riesgo en los que se manejan los datos de frecuencias de peligros y sus consecuencias. La presente investigación presenta las bases para efectuar un análisis de confiabilidad y riesgo para un sistema de tratamiento de residuales domésticos basados en un humedal construido de flujo horizontal subsuperficial. En el estudio se identificaron los sucesos iniciadores que pueden provocar diferentes secuencias accidentales, así como las barreras, los reductores de frecuencia y los reductores de consecuencia por cada una de las etapas que componen el sistema de tratamiento. Este tipo de estudio tiene la ventaja de incorporar los fallos de las defensas a las secuencias de los sucesos iniciadores por los que pueden evolucionar las fallas del sistema. Además que tiene en cuenta la robustez de cada una de las defensas implementadas. El trabajo permitió identificar en los 3 subprocesos en los que se distribuyen 53 secuencias accidentales. El riesgo de la instalación se modeló a través del código informático SECURE-MR-FMEA, que automatiza la evaluación del riesgo del sistema de tratamiento de aguas residuales utilizando la matriz tridimensional que incorpora la frecuencia del suceso iniciador, la probabilidad de fallo de las barreras y la magnitud de las consecuencias

Palabras claves: humedal construido, aguas residuales domésticas, análisis de riesgo
Keywords: constructed wetlands, domestic wastewater, risk analysis

Introducción

Los sistemas de tratamiento de residuales domésticos basados en humedales construidos constan de tres etapas fundamentalmente: el sistema hidráulico de recolección de las aguas usadas en las viviendas, los tanques sépticos de las viviendas y del humedal, y el humedal propiamente dicho. Existen diferentes tipos de humedales, pero los más usados son los humedales de flujo horizontal subsuperficial. Como todo sistema de tratamiento, estos sistemas pueden tener fallas tecnológicas y de operación (humanas). En estos casos, se podría producir una contaminación del medio ambiente de diferente gravedad dependiendo de la extensión espacial de la dispersión de los contaminantes y el tiempo de duración del vertimiento de los contaminantes al medio ambiente.

Para realizar las evaluaciones de confiabilidad y riesgos de las instalaciones tecnológicas existen diferentes métodos, entre los que se destacan en orden de complejidad, las listas de chequeo, los estudios What if?, los análisis preliminares de riesgo (PRA), los análisis de daño – operabilidad (HAZOP), los análisis de modos y efectos de fallo (FMEA) y las evaluaciones probabilísticas de seguridad (PSA). De todas las mencionadas, las más completas son las PSA, aunque a ellas se asocian necesidades de modelación compleja de secuencias accidentales. Una secuencia accidental es la combinación de un suceso iniciador y todas las defensas que existen para evitar que la evolución de dicho iniciador termine en consecuencias indeseadas.

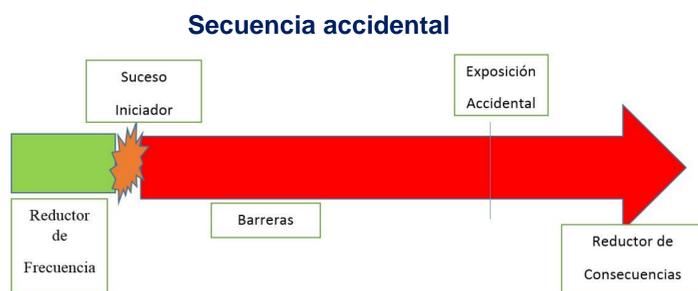


Objetivo

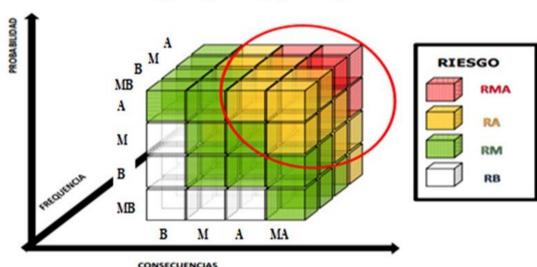
Realizar el análisis de riesgo de un sistema de tratamiento de aguas residuales domésticas basado en un humedal construido de flujo horizontal subsuperficial para el tratamiento de aguas residuales domésticas.

Metodología

El método de matriz de riesgo tridimensional aplicado en este trabajo es una simplificación importante del PSA que vincula tridimensionalmente los parámetros que caracterizan al riesgo de contaminación. Ellos son: frecuencia del suceso iniciador (F), probabilidad de fallo de barreras (P) y magnitud de las consecuencias (C). Cada parámetro se caracteriza con una escala cualitativa, la cual aparece representada en la Figura



$$R = F * P_b * C$$



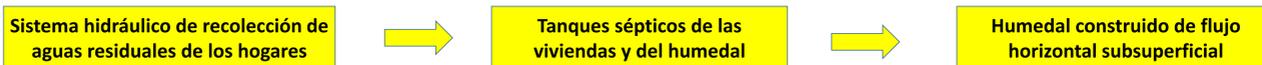
La metodología empleada para realizar el trabajo fue la siguiente:



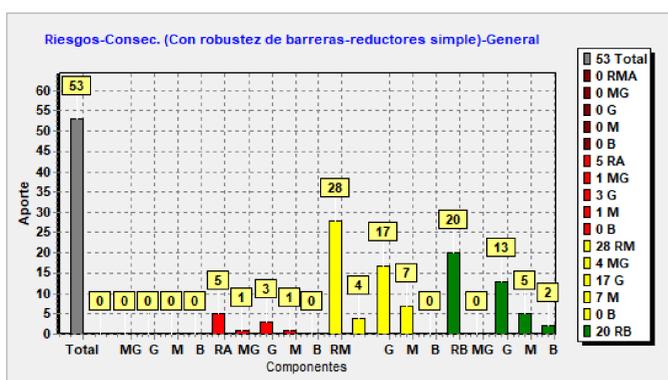
Para evaluar el riesgo de que se produzca el suceso indeseado (contaminación del medio ambiente) en el sistema de tratamiento de aguas residuales domésticas basado en un humedal construido de flujo horizontal subsuperficial se utilizó el código SECURE-MR-FMEA

Resultados

Mapa de procesos elaborado



Estos tres subprocesos contienen, respectivamente, dos, tres y 48 secuencias accidentales o escenarios, totalizando 53 escenarios representativos del sistema de tratamiento de aguas residuales domésticas basado en un humedal de flujo horizontal subsuperficial. Además, cuenta con 21 barreras, 19 reductores de frecuencia y 30 reductores de consecuencia, así como 4 tipos de consecuencias



Como se aprecia en la figura, son cinco los riesgos altos del total de 53 contenidos en el modelo del humedal. También se ilustran 28 riesgos medios y 20 bajos. En el histograma se aprecia también la distribución de gravedad de consecuencias para cada nivel de riesgo.

No	Sec{SI}	Riesgo	Consec.	Proceso	Descripción
1	SEC24{SI-HC019(M)}	A	C-CON(MA)	HUC	Insuficiencias en el mantenimiento de la capa vegetal del humedal
2	SEC3{SI-TS001(M)}	A	C-CON(A)	STS	Entrada al sistema de sustancias químicas desinfectantes que provocan la muerte de los microorganismos responsables de la degradación de las sustancias orgánicas
3	SEC26{SI-HC021(M)}	A	C-CON(A)	HUC	Baja carga orgánica en el afluente del humedal
4	SEC28{SI-HC023(A)}	A	C-CON(A)	HUC	Pobre desarrollo de los rizomas
5	SEC9{SI-HC004(A)}	A	C-CON(M)	HUC	Fuertes lluvias o lluvias por un período prolongado

Perfil de riesgo para el sistema de tratamiento

Conclusiones

Se demostró la factibilidad de aplicar la matriz de riesgos a un sistema de tratamiento de residuales basado en humedales construidos de flujo horizontal subsuperficial para evaluar el riesgo de contaminación del medio ambiente por fallas tecnológicas o de operación utilizando la herramienta informática SECURE-MR-FMEA, lo cual abre muchas posibilidades para realizar el monitoreo del riesgo en apoyo a la toma de decisiones para la explotación de este tipo de instalación de forma segura para el medio ambiente.

Bibliografía

- Y. A. Pérez, D. García-Cortes, U. J. Jáuregui-Haza. Ecosistemas, 2022; 31(1):2279
- Torres A., Montes de Oca, J. Revista Nucleus 2015, 58:39-46
- Torres A., et al.. Revista Nucleus. 2017; 61:21-5
- Sierra K y Torres A. Revista Cubana de Salud y Trabajo, 2020; 21 (1): 13-21

Agradecimientos

Los autores desean agradecer el soporte financiero para este trabajo dado por el Proyecto "Evaluación de sistemas de tratamiento de aguas residuales domésticas basados en humedales construidos en zonas urbanas de República Dominicana" financiado por INTEC-República Dominicana.