



Diseño e implementación de un Biorreactor Secuencial por Lotes (SBR) automatizado, a pequeña escala, para el tratamiento de aguas residuales

Design and implementation of an automated, small-scale Sequencing Batch Reactor (SBR) for wastewater treatment.

Isaías Negra Jiménez ¹ , Abril Munro Rojas ² , Julio César Orantes Ávalos ³

¹ Licenciatura en Biotecnología, UTM.

² FITECMA, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.

³ Facultad de Biología, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.

Resumen

En el presente trabajo se analizó el desempeño de un biorreactor secuencial por lotes (SBR, por sus siglas en inglés: Sequencing Batch Reactor), con instrumentación y automatización clave, como sensor de oxígeno disuelto, presión de aire y nivel de agua residual, así como el control automático de bombas para completar el proceso de tratamiento biológico, usando tecnologías de bajo costo para el tratamiento de aguas residuales a pequeña escala. Se empleó un microcontrolador ATmega 328 programado en LabVIEW para controlar las fases del proceso, con transmisión de datos de operación remota vía wifi. Se realizaron ensayos con aguas residuales de un restaurante tipo campestre con importantes variaciones de flujo, evaluando parámetros como demanda química de oxígeno (DQO), índice volumétrico de lodos (IVL), tiempo de retención celular (TRC) y relación Alimento/Microorganismos (A/M). Se obtuvo hasta un 90% de remoción de DQO, manteniendo estabilidad en la ejecución de los ciclos de tratamiento. El estudio demuestra que es viable implementar esta tecnología con instrumentación que permita su monitoreo y control remoto en contextos descentralizados con variabilidad en los caudales y concentraciones.

Palabras clave: SBR, automatización, tratamiento de aguas, biorreactor, DQO.

Abstract

This study analyzes the performance of a low-cost automated Sequencing Batch Reactor (SBR) developed for small-scale wastewater treatment. An ATmega 328 microcontroller programmed in LabVIEW was used to control reactor operations. Trials with commercial wastewater were conducted for 35 days, evaluating parameters such as chemical oxygen demand (COD), sludge volume index (SVI), solids retention time (SRT) and food-to-microorganism ratio (F/M). Up to 90% COD removal was achieved with stable process control. The study confirms the viability of this technology for decentralized applications with variable inflow characteristics.

Keywords: SBR, automation, wastewater treatment, bioreactor, COD

Historial

Manuscrito recibido: 31 de octubre de 2025

Manuscrito aceptado: 4 de mayo de 2026

Manuscrito publicado: agosto de 2026

✉ Autor para correspondencia

Julio Cesar Orantes Ávalos

julio.orantes@umich.mx

Como citar

Negra Jiménez I, Munro Rojas A, Orantes-Ávalos JC (2026). Diseño e implementación de un Biorreactor Secuencial por Lotes (SBR) automatizado, a pequeña escala, para el tratamiento de aguas residuales. *Ciencia Nicolaita* 97:251-258. doi:[10.35830/cn.vi97.968](https://doi.org/10.35830/cn.vi97.968)

Introducción

Las descargas de aguas residuales sin tratar a océanos, ríos, arroyos y lagos producen efectos adversos al medio ambiente, además de la posible generación de diversas enfermedades en las personas que entran en contacto con el medio sin las medidas de prevención y protección adecuadas, incrementando los problemas de salud pública (Montero-Vega *et al.*, 2020). Ante esta problemática, es crucial que se tomen medidas para el tratamiento de

descargas de aguas residuales. El agua tratada se puede utilizar para una variedad de propósitos y debe tratarse adecuadamente antes de liberarse para minimizar los impactos negativos sobre el ambiente y la salud humana (Nancy Grace *et al.*, 2024).

Las instalaciones para el tratamiento de aguas residuales convencionales tienen algunos inconvenientes y limitaciones significativas. Factores como el espacio, costos

de inversión, la mano de obra y el uso de energía deben ser meticulosamente considerados para su implementación y operación (Padilla-Rivera *et al.*, 2016). Normalmente en un proceso de lodos activados convencional, además del pretratamiento y el tratamiento primario, generalmente se requieren hasta tres tanques para completar el proceso biológico y de sedimentación (Nancy Grace *et al.*, 2024). Asimismo, la operación eficiente de estas instalaciones requiere personal capacitado para las tareas diarias con el objetivo de evitar la pérdida de control en el proceso y garantizar la calidad del efluente tratado. En términos de consumo energético, los aireadores utilizan el 70% de la demanda de energía de la planta (Tchobanoglous *et al.*, 2014). Si bien existen beneficios en el uso de instalaciones de tratamiento por medio de lodos activados convencionales, su operación requiere una infraestructura compleja con reactores de gran volumen. Esta situación representa un desafío particular en instalaciones de menor escala, donde la presencia de un operador presente las 24 horas del día puede resultar inviable. En este sentido, el uso de microcontroladores de código abierto se ha consolidado como una alternativa costo-efectiva y flexible para instrumentación, adquisición de datos y control de bioprocesos (Pearce, 2020; Pearce, 2012). Para monitoreo de variables en agua, existen desarrollos robustos y de bajo costo basados en Arduino (Lockridge *et al.*, 2016), también se han propuesto plataformas embebidas de bajo costo “tipo PLC” basadas en Arduino/Raspberry Pi para instrumentación (Minchala *et al.*, 2020).

El SBR es un tipo de reactor que representa una alternativa viable para mitigar dichas limitaciones. Esta tecnología, acompañada de una automatización, permite tener las fases de llenado, aireación y sedimentación en un solo tanque, logrando así optimizar el uso del espacio y reduciendo los costos de inversión y mantenimiento en comparación con los sistemas convencionales (Tchobanoglous *et al.*, 2014), además de ser una tecnología flexible, que permite adaptarse adecuadamente a las variaciones de flujo y composición de aguas residuales (Alagha *et al.*, 2020). El SBR ha demostrado ser altamente eficiente en la eliminación de fósforo, materia orgánica (DQO) y nitrógeno (Showkat y Najjar, 2019). Otro beneficio clave del SBR es su adaptabilidad a diferentes condiciones de operación, incluidas las anóxicas y aeróbicas (Singh y Srivastava, 2011).

Independientemente del tipo de agua residual, incluidas las domésticas, municipales e industriales a pequeña escala, el SBR ha demostrado ser eficaz en su tratamiento (Chan *et al.*, 2009). En el caso de los reactores de pequeña escala, los costos de implementación y mantenimiento de los sistemas de control pueden generar proyectos invia-

bles (Nancy Grace *et al.*, 2024). Para optimizar y mejorar la operatividad del proceso de tratamiento en un reactor SBR, es recomendable integrarse con un sistema de control automático y a distancia, como lo es el Control Lógico Programable (PLC) (Perdomo *et al.*, 2018), o bien el Sistema de Control y Adquisición de Datos (SCADA) (Rönnner-Holm y Holm, 2009).

Sin embargo, nos hemos encontrado que hasta hace 10 años o un poco más, el acceso y desarrollo de este tipo de sistemas era bastante costoso, haciendo inviables los proyectos de tratamiento de aguas residuales cuando se considera el SBR a pequeña escala. Afortunadamente en la actualidad, la disponibilidad de componentes electrónicos a un precio accesible y la popularidad de la programación y el desarrollo de electrónica de código abierto han permitido que ingenieros especializados en bioprocesos diseñen y personalicen desarrollos tecnológicos de SBR a costos reducidos, incluso para flujos pequeños.

En este estudio se evalúa el paquete tecnológico de un biorreactor automatizado en Batch, utilizando tecnologías de bajo costo, básicas y de programación accesible enfocado al tratamiento de aguas residuales a pequeña escala. Se desarrolla un SBR con sistema de automatización y control completos mediante un microcontrolador Atmel y también se evalúa la eficacia del reactor en términos de factores de calidad del agua tratada.

Materiales y métodos

Configuración del biorreactor SBR

La primera etapa del proceso de la micro planta de tratamiento consta de 3 tanques de polietileno de 5000 L de capacidad cada uno, intercomunicados entre sí para proveer un volumen de amortiguamiento de agua residual cruda. Desde este punto, el agua se bombea automáticamente mediante una bomba sumergible de 1 HP, 127 V marca ALTAMIRA hasta el biorreactor que opera en modalidad Batch (SBR), el cual consta de un tanque de polietileno de 5000 L con 2.5 m de diámetro (**Figura 1**). Este reactor está equipado con sistema de aireación de burbuja fina y un soplador regenerativo de 1 HP, 127 V marca BONORA 3crb90lf/2, lo cual garantiza una adecuada transferencia de oxígeno para el desarrollo del proceso biológico.

En el interior del tanque biorreactor se encuentra una bomba sumergible de 1 HP marca ALTAMIRA, colocada a la altura media del tanque para extracción del agua tratada después del periodo de sedimentación. Se cuenta con electroniveles Switch Flotador en el tanque de amortiguamiento de agua cruda y en el tanque biorreactor los cuales están conectados al microcontrolador. El

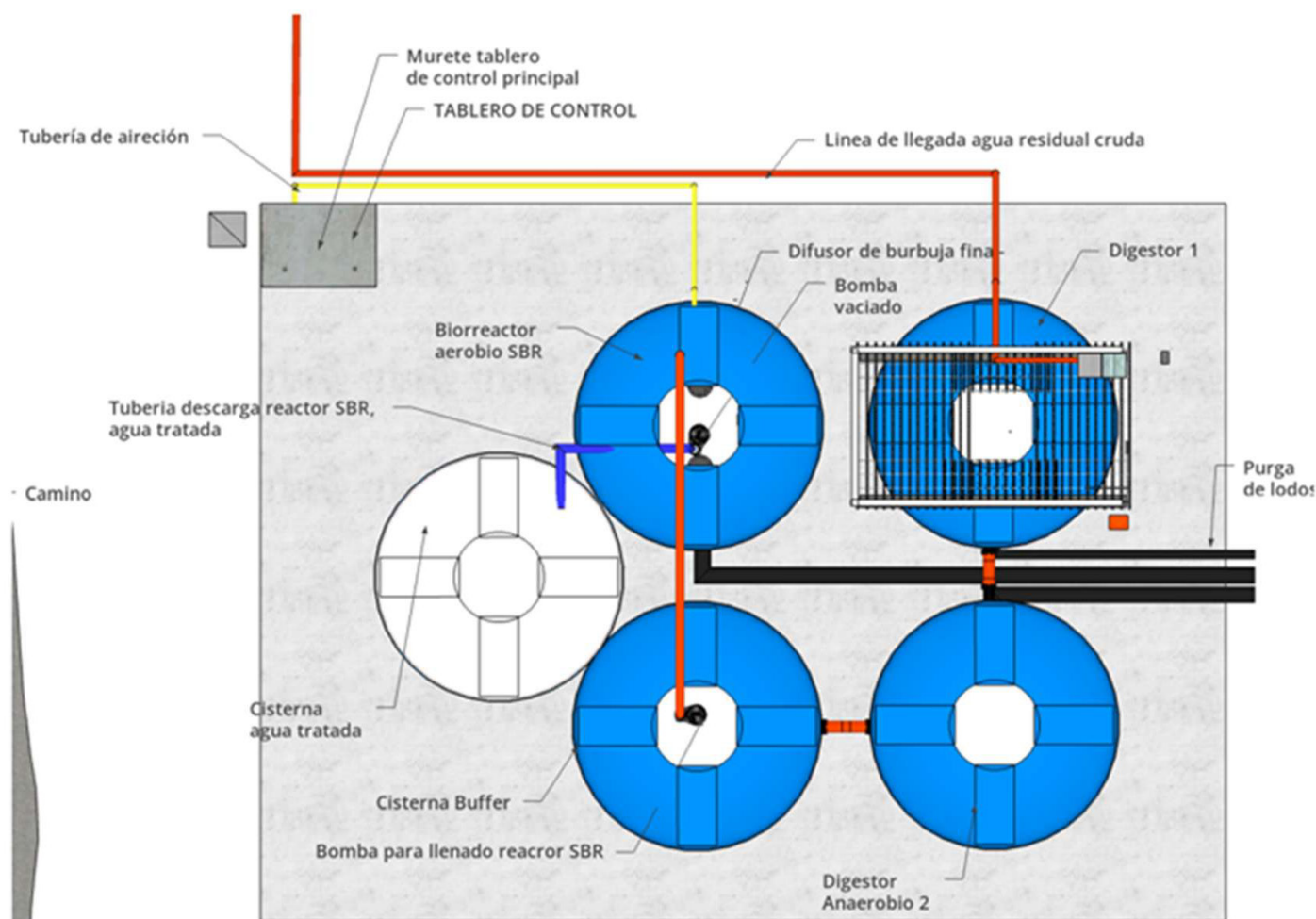


Figura 1. Representación de los diferentes componentes del tren de tratamiento.

bioreactor cuenta con un sensor de oxígeno disuelto en línea, REMOND Modelo RMD-ISDT105; un sensor de presión analógico 0 a 10 PSI, salida 4 a 20 mA, colocado en la línea de descarga de aire del soplador (**Figura 2**).

Sistema de control automático y operación del bioreactor

Para procesar los datos generados por los diferentes sensores y controlar automáticamente los motores de las bombas y soplador, en la unidad de control se utilizó un Microcontrolador ATmega 328, conectado a una Mini Pc Gigabyte Gb-blce-4105c 8gb Ddr4 2.50ghz. Se desarrolló la programación de las fases del SBR en la plataforma LabView Community, se programó una interfaz gráfica (**Figura 3**), donde se pueden visualizar las lecturas de los diferentes sensores e introducir los tiempos de operación de cada motor según las necesidades del bioreactor.

Para lograr el control automático de los equipos, las salidas digitales del microcontrolador están conectadas a un módulo de 4 relés AR-4RELAY, que a su vez están integrados al bloque de carga con 3 interruptores termomag-

néticos de 15 A y 3 contactores de 110 V y 20 A, uno para cada motor. Todos los componentes están colocados en un gabinete metálico.

En el panel de control virtual se introdujeron los tiempos de cada etapa, en la presente corrida experimental el bioreactor se estuvo operando con 5 minutos de llenado, 180 minutos de aireación, 90 minutos de sedimentación y 10 minutos de vaciado. Esto permitía al bioreactor procesar 5 m³/d de agua residual, habiendo pasado previamente por un pretratamiento para retención de sólidos y grasas.

El agua residual se amortigua para mantener una DQO de entre 1100 y 1600 mg/L durante toda la corrida experimental, la cual fue de 35 d contados a partir de que el bioreactor estuvo estabilizado en los diferentes parámetros operacionales, de este periodo la mitad del tiempo el sistema se operó en condiciones de alta carga y la otra mitad del tiempo (15 d) en condiciones de baja carga considerando como referencia los parámetros de diseño de este tipo de bioreactores (Tchobanoglous *et al.*, 2014).

Con los resultados de los ensayos realizados se determinaron parámetros operacionales para proceso de

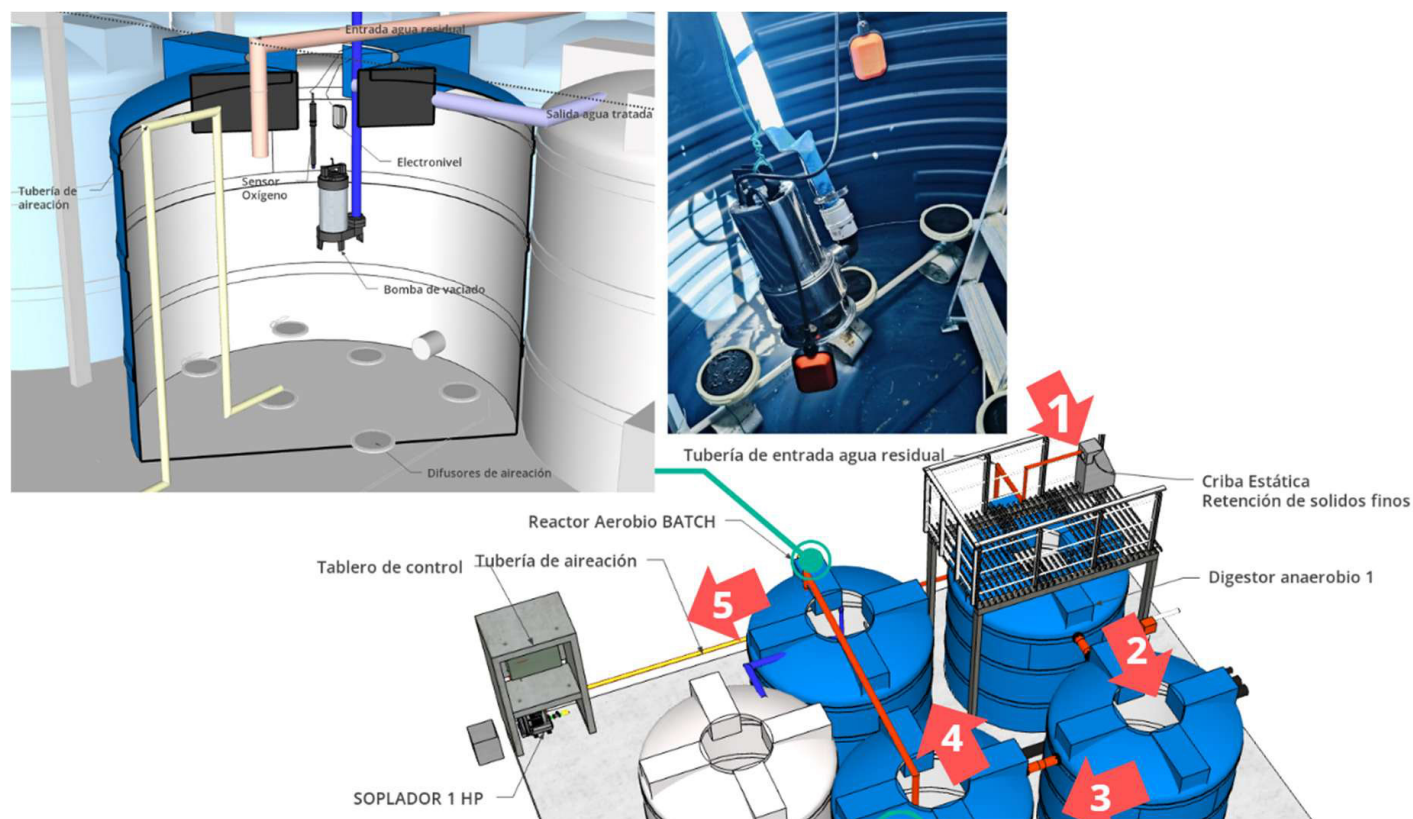


Figura 2. Componentes del biorreactor para control del proceso.

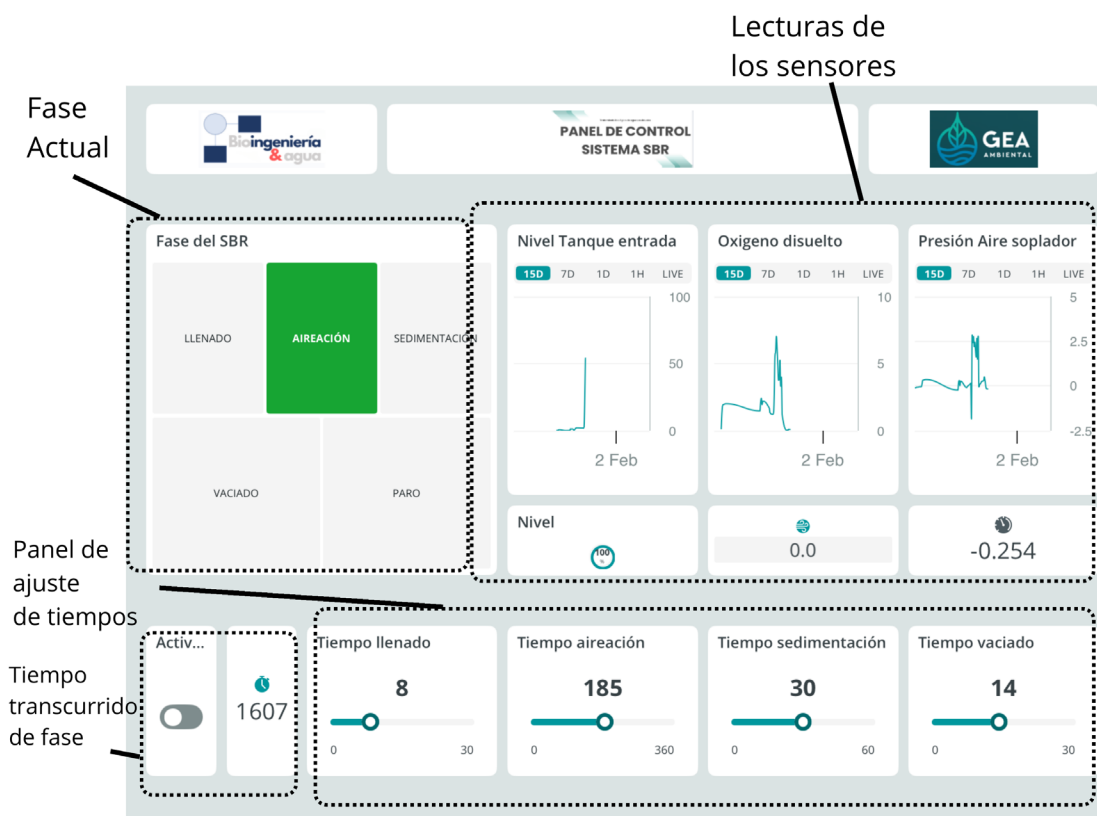


Figura 3. Interfaz gráfica para interacción con el operador del proceso. Se pueden ver las lecturas de los sensores de presión y oxígeno disuelto, así como el estado de los electroniveles.

lodos activados, como son: Tiempo de Retención Celular (TRC), Relación Alimento/Microorganismo (A/M) y Tiempo de Retención Hidráulico (TRH) de acuerdo con (Tchobanoglous *et al.*, 2014).

Análisis de muestras

Durante el periodo de operación del sistema se realizaron muestreos simples del agua residual tres veces por semana, tanto del influente como del efluente. En estas muestras se determinó la DQO mediante el método colorimétrico Hanna C99, asimismo, se determinaron los Sólidos Suspendidos Totales del Licor Mezclado (SSTLM) mediante el método fotométrico 8006 Hach Co; Además, con el objetivo de evaluar cantidad de biomasa del sistema, se determinó la abundancia relativa de protozoarios y metazoarios a través de observación microscópica utilizando el objetivo 10x (CEAC, 2013).

Diariamente se verificó que el oxígeno disuelto se mantuviera en los niveles adecuados entre 1 y 2 mg/L, durante la etapa de aireación, midiendo directamente en el tanque biorreactor con la sonda REMOND Modelo RMD-ISDT105, conectado a la tarjeta de adquisición de datos del sistema de control.

Resultados

Una vez completados todos los componentes del sistema, se mantuvo el reactor en operación por un periodo de poco más de un mes, para evaluar su eficiencia y estabilidad de los componentes electrónicos y eléctricos, así como del proceso biológico (**Tabla 1**).

Los valores de la DQO del agua residual de entrada al biorreactor se encuentran por arriba de la concentración de un agua residual municipal típica, encontrándose en el rango de establecimientos comerciales y de servicios de pequeño tamaño (menos de 150 personas de ocupación) (CONAGUA, 2016). Cabe mencionar que la DQO que sale directamente del restaurante presenta valores promedio de 2450 mg/L, pero como en los digestores anaerobios se sedimenta y degrada parte de esa carga contaminante por eso la DQO que en realidad llega al biorreactor es la que se muestra como influente en la **Tabla 1**.

No obstante que en el periodo experimental el sistema presenta una concentración de DQO en el efluente por encima del límite de la NOM-001-SEMARNAT-2021 (100 mg/L), el proceso sí presenta una remoción de la DQO de alrededor del 90%, lo cual está dentro de las capacidades de este tipo de biorreactores (Mucha y Kułakowski, 2016).

Los parámetros operacionales determinados durante el periodo de operación se mantuvieron en general, dentro

del rango de diseño recomendado para este tipo de biorreactores (**Tabla 2**), con excepción del TRH que estuvo por arriba del valor recomendado y no obstante se logró mantener una buena eficiencia de remoción de DQO, ya que esto podrían haber permitido una mayor hidrólisis de la materia orgánica coloidal y particulada. Por otro lado, a pesar de que la relación A/M en el segundo periodo se mantuvo por debajo del parámetro recomendado de dise-

Tabla 1. Resultados de la DQO del agua residual de entrada y salida en el biorreactor, así como de parámetros de concentración de biomasa (SSTLM) del biorreactor durante el periodo de experimentación.

Día de operación	Influente		Biorreactor	Agua Tratada
	DQO (mg/L)	Gasto Q (m ³ /d)	SSTLM (mg/L)	DQO (mg/L)
1	850	5	8300	128
2	1290	5	4020	194
4	1070	5	2367	161
5	1290	5	2367	194
6	1070	8.5	2200	161
7	1143	4	1715	172
8	910	4	2240	91
16	900	3.5	2722	90
21	1103	2	3900	110
27	1025	2.8	3412	103
30	1010	2.1	3258	101
35	1023	2.1	2966	102

Tabla 2. Parámetros operacionales determinados durante el periodo de operación.

Día	TMRC (d) (3 a 15)	Relación A/M (kg DQO/kgSSVLM) (0.2 a 0.6) DQO	TRH (h) 20 a 30	Eficiencia de Remoción de DQO (%)
2	5	0.110	26	84.96
4	7	0.187	26	84.95
6	8	0.393	16	84.95
7	7	0.233	33	84.95
8	14	0.152	33	90.00
16	14	0.112	38	90.00
21	12	0.052	66	90.03
27	12	0.078	47	89.95
30	10	0.061	63	90.00
35	11	0.068	63	90.03

ño, la DQO en el efluente se mantiene todavía por arriba del límite establecido por la normatividad: NOM-001-SEMARNAT-2021 (**Figura 4**), consideramos que esto puede deberse a que el periodo de reacción que se trabajo fue de sólo tres horas, con un tiempo de reacción mayor (e.g. ≥ 5 h) se podría aumentar la degradación de contaminantes lentamente biodegradables.

Un aspecto importante es el hecho de que, tal como se describe en diversos manuales (CONAGUA, 2016; Nancy Grace *et al.*, 2024), se encontró que la abundancia relativa de protozoarios del grupo de los llamados ciliados fijos y rotíferos, guarda una relación positiva con la eficiencia en la remoción de DQO, y también se correlaciona con el comportamiento de los parámetros operacionales de TRC y relación A/M (**Tabla 3**), por lo que el ensayo de análisis al microscopio puede ser utilizado como una prueba rápida para aproximar el estado operacional del biorreactor, reduciendo significativamente los tiempos y costos de análisis de laboratorio, lo cual es crucial para la eficiente implementación de micro plantas de tratamiento (Rahmalia *et al.*, 2021).

A manera de ilustrar la gran ventaja de tener un sistema de control computarizado y la visualización en la interfaz gráfica de las principales variables del proceso, se muestran

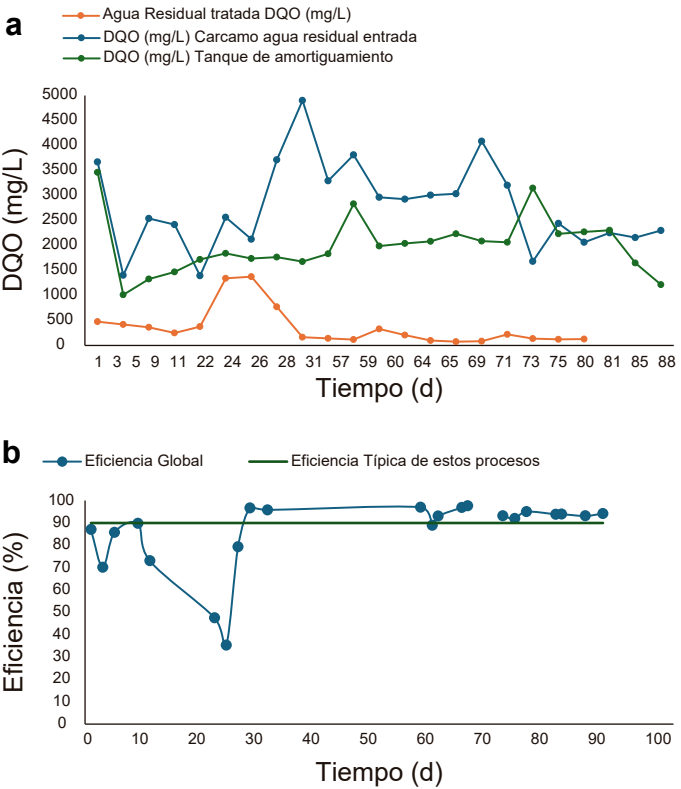


Figura 4. Seguimiento de la estabilidad del proceso por hasta un periodo de 90 días. **a)** DQO de entrada, en tanques de amortiguamiento y en el agua tratada; **b)** Eficiencia global del proceso en términos de la DQO.

en la **Figura 5** un ejemplo al observar el comportamiento de las lecturas del sensor de OD para una ventana de 8 horas. Se alcanza a observar que el sistema completa sus ciclos de operación adecuadamente al identificar los valles y crestas de la concentración que corresponden con el arranque y paro programado del soplador, además de que se alcanza a identificar un comportamiento a la alza en la concentración de OD, lo que se validó con el hecho de que en ese periodo no entro agua residual cruda o lo hizo con una concentración baja de DQO, al bajar progresivamente la concentración de materia orgánica, ocurre un menor requerimiento de oxígeno para el proceso de degradación de la materia orgánica.

Adicionalmente se puede señalar que los datos de monitoreo de la planta de tratamiento se pueden enviar vía remota a través de Wi-Fi, lo que podría permitir que un solo operador debidamente capacitado pueda supervisar varias de estas micro plantas de tratamiento, reduciendo significativamente los costos de operación, lo cual resulta muy importante para la implementación de este tipo de reactores, a pequeña escala, ya sea en efluentes urbanos, de servicios comerciales o industriales.

Discusión

Los resultados obtenidos demuestran que un SBR automatizado de pequeña escala puede alcanzar eficiencias de remoción de DQO comparables a las obtenidas en siste-

Tabla 3. Cantidad relativa de cada grupo de microorganismos en la suspensión biológica del biorreactor, para el periodo de experimentación, etiquetas de acuerdo con (CEAC, 2013).

Día de operación	Bacterias espiroquetas	Amebas	Flagelados	Ciliados Reptantes	Ciliados Libres	Ciliados Fijos	Rotíferos	Nemátodos
1				3		1	4	
2				9		4	3	
4								
6			1	21		12		
7								
8								
16	0	0	2	15	0	4	0	0
21			15	1	1	7	0	0
27			6		1	4		
30	0	1	8	4	5	35	0	0
35	0	0	0	0	5	1	9	0

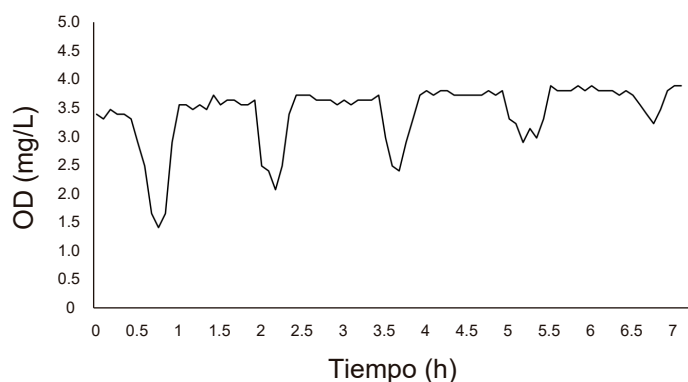


Figura 5. Representación de las lecturas de oxígeno disuelto (OD) del biorreactor para una ventana de operación de 8 horas.

mas de mayor tamaño. La automatización mediante microcontroladores de bajo costo permitió controlar las fases operativas con precisión, reduciendo el riesgo de fallas por intervención humana.

Después de un periodo de estabilización se alcanza una eficiencia estable en la remoción de materia orgánica durante todo el periodo de experimentación, lo que permite evidenciar la confiabilidad en este sistema y la importancia de la automatización. La reducción en la relación A/M a lo largo del tiempo refleja el crecimiento y adaptación de la biomasa al sustrato disponible. Estos resultados son consistentes con estudios previos que reportan eficiencias de remoción superiores al 80% en SBR que tratan aguas domésticas y comerciales. La implementación de estos sistemas en contextos descentralizados puede contribuir a mejorar la calidad del agua descargada y a cumplir con las normas ambientales vigentes resultando particularmente ventajosos cuando las restricciones de espacio disponible son importantes, o bien se necesita agua tratada de mayor calidad apta para reúso.

Conclusiones

El SBR automatizado a pequeña escala desarrollado e instrumentado con sensores de oxígeno disuelto, presión de aire y nivel, y control automático de bombas/soplador mediante un microcontrolador ATmega 328 programado en LabVIEW con transmisión Wi-Fi, demostró operar de forma estable bajo variaciones de caudal y concentraciones de materia orgánica típicas de efluentes comerciales alcanzó hasta 90% de remoción de DQO, como resultado de una buena hidrólisis y degradación de la materia orgánica; los indicadores operativos (IVL, TRC, relación A/M y TRH) evidenciaron adecuada adaptación de la biomasa y buena calidad de sedimentación, respaldando la confiabilidad del ciclo y la viabilidad de supervisión remota para redu-

cir costos de operación en esquemas descentralizados; no obstante, para cumplir plenamente con el límite de DQO de la NOM-001-SEMARNAT-2021 se recomienda optimizar las condiciones de operación, como incrementar el tiempo de reacción y ajustar la aireación, para aumentar la degradación de compuestos lentamente biodegradables y disminuir la DQO del efluente.

El sistema propuesto representa una alternativa viable para el tratamiento descentralizado de aguas residuales en comunidades o establecimientos pequeños con caudales y concentraciones de contaminantes variables.

Referencias

- Alagha O, Allazem A, Bukhari AA, Anil I, Mu'azu ND (2020). Suitability of SBR for wastewater treatment and reuse: pilot-scale reactor operated in different anoxic conditions. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 17(5):1617. doi:10.3390/ijerph17051617
- CEAC (2013). Tomo I. Operación y Mantenimiento de Plantas de Tratamiento por el proceso de Lodos Activados.
- Chan YJ, Chong MF, Law CL, Hassell DG (2009). A review on anaerobic-aerobic treatment of industrial and municipal wastewater. *Chemical Engineering Journal* 155(1):1–18. doi:10.1016/j.cej.2009.06.041
- CONAGUA (2016). Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento Datos Básicos Para Proyectos de www.conagua.gob.mx
- Engstler E, Kerschbaumer DJ, Langergraber G (2022). Evaluating the performance of small wastewater treatment plants. *Frontiers in Environmental Science* 10:948366. doi:10.3389/fenvs.2022.948366
- Hamza R, Hamoda MF, Elassar M (2022). Energy and reliability analysis of wastewater treatment plants in small communities in Ontario. *Water Science and Technology* 85 (6):1824–1839. doi:10.2166/wst.2022.093
- Minchala LI, Peralta J, Mata-Quevedo P, Rojas J (2020). An approach to industrial automation based on low-cost embedded platforms and open software. *Applied Sciences* 10(14):4696. doi:10.3390/app10144696
- Mucha Z, Kulakowski P (2016). Turbidity measurements as a tool of monitoring and control of the SBR effluent at the small wastewater treatment plant-preliminary study. *Archives of Environmental Protection* 42(3):33–36. doi:10.1515/aep-2016-0030
- Nancy Grace PX, Vasanthi D, Amal Raj S (2024). Small-scale instrumented sequential batch reactor: performance evaluation. *Polish Journal of Environmental Studies* 33(1):647–657. doi:10.15244/pjoes/171670
- Lockridge G, Dzwonkowski B, Nelson R, Powers S (2016). Development of a low-cost arduino-based sonde for coastal applications. *Sensors* 16(4):528. doi:10.3390/s16040528.
- Padilla-Rivera A, Morgan-Sagastume JM, Noyola A, Güereca LP

- (2016). Addressing social aspects associated with wastewater treatment facilities. *Environmental Impact Assessment Review* 57:101–113. doi:[10.1016/j.eiar.2015.11.007](https://doi.org/10.1016/j.eiar.2015.11.007)
- Pearce JM (2012). Building research equipment with free, open-source hardware. *Science* 337(6100):1303–1304. doi:[10.1126/science.1228183](https://doi.org/10.1126/science.1228183)
- Pearce JM (2020). Economic savings for scientific free and open source technology: A review. *HardwareX* 8:e00139. doi:[10.1016/j.ohx.2020.e00139](https://doi.org/10.1016/j.ohx.2020.e00139)
- Perdomo EG, Tovar Cardozo MA, Fernandez MN, Serrezuela RR (2018). Application and automation of a sequential biological reactor by means of programmable logic controller using Petri networks. *Contemporary Engineering Sciences* 11(46):2283–2295. doi:[10.12988/ces.2018.84195](https://doi.org/10.12988/ces.2018.84195)
- Rahmalia I, Hilmi FM, Septiariva IY, Aryanto RTB, Handayani SD, Priutama YE, Sarwono A, Suryawan IWK (2021). Planning for small-scale business (USK) batik wastewater treatment plant X yogyakarta. *Jurnal Presipitasi: Media Komunikasi dan Pengembangan Teknik Lingkungan* 18(3):464–475. doi:[10.14710/presipitasi.v18i3.464-475](https://doi.org/10.14710/presipitasi.v18i3.464-475)
- Real A, Garcia-Martinez AM, Pidre JR, Coello MD, Aragon CA (2017). Environmental assessment of two small scale wastewater treatment systems: SBR vs CAS. *Water Practice and Technology* 12(3):549–556. doi:[10.2166/wpt.2017.066](https://doi.org/10.2166/wpt.2017.066)
- Rönnner-Holm SGE, Holm NC (2009). Special automation and regulation strategies for enhancing sequencing batch reactor (SBR) performances. *Water Science and Technology* 60(5):1161–1172. doi:[10.2166/wst.2009.466](https://doi.org/10.2166/wst.2009.466)
- Showkat U, Najar IA (2019). Study on the efficiency of sequential batch reactor (SBR)-based sewage treatment plant. *Applied Water Science* 9(1):2. doi:[10.1007/s13201-018-0882-8](https://doi.org/10.1007/s13201-018-0882-8)
- Singh M, Srivastava RK (2011). Sequencing batch reactor technology for biological wastewater treatment: a review. *Asia-Pacific Journal of Chemical Engineering* 6(1):3–13. doi:[10.1002/apj.490](https://doi.org/10.1002/apj.490)
- Tchobanoglous G, Metcalf, Eddy, Stensel HD, Tsuchihashi R, Burton FL, Abu-Orf M, Bowden G, Pfrang W (2014). Wastewater Engineering: Treatment and Resource Recovery. McGraw-Hill series in civil and environmental engineering. McGraw-Hill Education. 2018 pp.