



Ingeniería y competitividad

ISSN: 0123-3033

ISSN: 2027-8284

Facultad de Ingeniería, Universidad del Valle

Madera-Parra, Carlos A  
Landfill leachate treatment by technological coupling of High Rate Anaerobic  
Pond-BLAAT® and Subsurface horizontal flow constructed wetlands  
Ingeniería y competitividad, vol. 22, no. 2, 9740, 2020  
Facultad de Ingeniería, Universidad del Valle

DOI: <https://doi.org/10.25100/iyc.v22i2.9740>

Available in: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=291365765012>

- How to cite
- Complete issue
- More information about this article
- Journal's webpage in redalyc.org

redalyc.org

Scientific Information System Redalyc  
Network of Scientific Journals from Latin America and the Caribbean, Spain and  
Portugal

Project academic non-profit, developed under the open access initiative

# Landfill leachate treatment by technological coupling of High Rate Anaerobic Pond-BLAAT® and Subsurface horizontal flow constructed wetlands

INGENIERÍA AMBIENTAL

## Tratamiento de lixiviado de relleno sanitario mediante acople tecnológico de Biorreactor Laguna Anaerobia de Alta Tasa-BLAAT® y Humedal Construido Subsuperficial de Flujo Horizontal sembrado con policultivos

Carlos A Madera-Parra<sup>1§</sup>

<sup>1</sup>*Universidad del Valle, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería de los Recursos Naturales y del Ambiente (EIDENAR), Cali, Colombia*

<sup>§</sup>*carlos.a.madera@correounivalle.edu.co*

**Recibido:** 18 de diciembre 2019 – **Aceptado:** 07 de febrero de 2020

### Abstract

Landfill leachate is a residual liquid with a great eco-toxicological potential that is generated as a product of the mixture of rainwater that is infiltrated in the buried solid waste, of assisted water by biochemical processes inside the landfill and of water content from the waste itself. Eco-technologies (constructed wetlands, algae ponds) have been used for landfill leachate treatment due to ecological and environmental advantages with quite promising results. In this sense, the present research carried out in 2015 in Presidente Landfill, San Pedro municipality, Valle del Cauca, Colombia, was oriented to evaluate at pilot scale the coupling technology Biorreactor High Rate Anaerobic Pond-BLAAT® + constructed wetlands planted with polyculture of tropical species *Colocasia*, *esculenta-Ce*, *Heliconia psittacorum-He* y *Gynerium sagittatum-Gs*, for the treatment of landfill leachate under American tropical conditions. This work makes available a series of field data on the quality of raw leachate and effluent from each treatment technology, showing the performance of the coupling, which may contribute to the establishment of conditions and scenarios for the treatment of this in populations that have cultural and environmental conditions similar to the area of this study.

**Keywords:** BLAAT Bioreactor, Constructed wetland, Landfill leachate, Phytoremediation, Policulture.

---

## Resumen

El lixiviado de relleno sanitario (LX), es un líquido con un gran potencial eco-toxicológico que se genera como producto de la mezcla de agua lluvia que percola por el relleno y tiene contacto con el residuo sólido (RS) allí depositado, agua producida de la biodegradación de los residuos y el agua propia que contienen los residuos. El uso de eco-tecnologías (humedales construidos, lagunas algales) por las grandes ventajas ecológicas y ambientales exhibidas, han comenzado a emplearse en el tratamiento de LX con resultados bastante alentadores. En este sentido, la presente investigación desarrollada en el relleno sanitario de Presidente, municipio de San Pedro, Valle del Cauca, Colombia en el 2015, estuvo orientada a evaluar a escala piloto el uso del acople eco-tecnológico Biorreactor Laguna Anaerobia de Alta Tasa BLAAT® + humedal construido (HC) sembrado con policultivos de las especies tropicales *Colocasia esculenta*-Ce, *Heliconia psittacorum*-He y *Gynerium sagittatum*-Gs, para el tratamiento de LX bajo condiciones del trópico americano. Este trabajo coloca a disposición una serie de datos de campo sobre la calidad del lixiviado crudo y del efluente de cada unidad de tratamiento, mostrando el desempeño del acople, lo que puede contribuir al establecimiento de condiciones y escenarios para el tratamiento de este en poblaciones que dispongan condiciones cultural y ambiental similares a la zona del presente estudio.

**Palabras claves:** Biorreactor BLAAT®, Fitorremediación, Humedal construido, Lixiviado, Policultivo.

## 1. Introducción

El lixiviado (LX) de relleno sanitario es un líquido con un gran potencial eco-tóxico que se genera como producto de una mezcla del agua lluvia que percola por el relleno y tiene contacto con el residuo sólido allí depositado, del agua producida de la biodegradación de los residuos y el agua propia que contienen los residuos <sup>(1)</sup>. La presencia de agua permite una combinación de procesos físicos, químicos y microbiológicos para transferir contaminantes de la matriz sólida a líquida, resultando así la formación del LX.

La predicción exacta de la composición y poder contaminante del LX de un relleno a lo largo de su vida útil, es bastante difícil, debido a los complejos procesos químicos y biológicos que ocurren en el sistema, producto de la descomposición de los residuos sólidos <sup>(2,3,4)</sup>.

Esta condición ha llevado a establecer tres tipos de LX acorde con la edad del relleno, LX joven (<5 años) que se caracteriza por alta DBO<sub>5</sub> (> 10000 mg l<sup>-1</sup>), DQO (>30000 mg l<sup>-1</sup>), amonio (500-1000 mg l<sup>-1</sup>), DBO<sub>5</sub>/DQO (> 0.5), pH bajo (4-5) y gran contenido de ácidos grasos volátiles; LX intermedio (5-10 años), cuyas principales características son pH neutro (pH 6.5-7.5), baja

DQO (4000-10000 mg l<sup>-1</sup>), relación DBO<sub>5</sub>/DQO (<0.5), bajo contenido de metales pesados y donde del contenido de materia orgánica, el 30% es refractaria (húmicos y fúlvicos); y LX maduro (>10 años), que se caracteriza por ser alcalino (pH > 7.5), baja DQO (< 4000 mg l<sup>-1</sup>), alta concentración de amonio (1500-2000 mg l<sup>-1</sup>), DBO<sub>5</sub>/DQO baja (<0.1), presencia de metales pesados y otros compuestos refractarios y xenobióticos <sup>(4,5)</sup>, planteándose así, grandes retos para su tratamiento, por lo que es de gran utilidad poder disponer de información sobre la calidad de LX antes y después de un tratamiento en países del trópico americano que pueda ser empleada como referente o guía en otros lugares con ambientes y cultura similar para definir la opción tecnológica de mayor potencial para el tratamiento de este residuo y donde la consecución de información además de dispendiosa puede ser de alto costo.

En el caso específico de Colombia, los rellenos sanitarios además de ser el sistema de disposición final de residuos sólidos más empleado en el país, estos sitios presentan una serie de problemas, entre los cuales se destaca el bajo o nulo tratamiento de los lixiviados <sup>(6)</sup>, por lo que es de gran utilidad brindar información sobre el desempeño de sistemas de tratamiento

de LX, que puedan ser tomados como referentes en localidades donde se están tomando decisiones sobre el manejo de este residuo líquido.

## 2. Metodología

La investigación se realizó durante 29 semanas en las instalaciones del Relleno Sanitario Regional de Presidente, ubicado en la vereda Arenales, corregimiento de Presidente, municipio de San Pedro, Valle del Cauca-Colombia (3°56'01.54"N, 76°26'26.05"O). En este relleno se disponen aproximadamente 520 t.d<sup>-1</sup> de residuos sólidos principalmente domésticos, donde cerca del 77% es materia orgánica y se generan entre 2 y 5 l s<sup>-1</sup> de lixiviado <sup>(7)</sup>.

El BLAAT<sup>®</sup> (Bioreactor Laguna Anaerobia de Alta Tasa) es un reactor anaerobio de geometría rectangular y consta de una Cámara de Mezcla (CM) que es una tubería de 0.5 m de diámetro y 4.5 m de largo, por la cual el agua fluye de manera ascendente a través de un manto de lodos y una Zona de Sedimentación (ZS), donde a través de la sedimentación se busca retener el material sólido que logra escapar de la cámara de mezcla.

El reactor fue diseñado para trabajar bajo régimen continuo a gravedad, con una carga hidráulica superficial de diseño (CHS) de 11.8 m<sup>3</sup>m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup> y carga orgánica volumétrica (COV) de 2.6 kg DQO m<sup>-3</sup>d<sup>-1</sup>. El caudal de diseño del sistema fue de 1.4 l min<sup>-1</sup> (2 m<sup>3</sup> d<sup>-1</sup>), una velocidad ascensional de 0.5 m h<sup>-1</sup> y un Tiempo de Retención Hidráulico total (TRH) de 16 horas.

Cuatro humedales construidos subsuperficiales de flujo horizontal (HCSFH) a escala piloto fueron construidos en concreto (Canales rectangulares 7.8x2.3x0.7 m largo, ancho y

profundidad, respectivamente), 1% pendiente de fondo y lecho de grava de 0.6m de altura, los cuales operaron en paralelo, a gravedad a flujo continuo con un caudal de diseño ( $Q=0.5 \text{ m}^3\text{d}^{-1}$ ) y 7d de TRH teórico cada uno. Se utilizaron las especies: *Gynerium sagittatum* (Gs), *Heliconia psittacorum* (He) y *Colocasia esculenta* (Ce).

Tres HCHFS's fueron divididos en tres secciones de 5.98 m<sup>2</sup> cada una y se sembraron 36 individuos de una misma especie por sección (densidad 6 plantas m<sup>2</sup>); la otra unidad, se plantó aleatoriamente con igual número de individuos por especie. La distribución de las unidades y de las especies vegetales en los biorreactores se hizo aleatoriamente a través del software R versión 2013. La configuración final fue: HC- I (He-Ce-Gs); HC- II (al azar), HC- III (Ce-Gs-He), HC- IV (Gs-He-Ce). Los HC's recibieron el efluente del Bioreactor BLAAT<sup>®</sup> y el caudal de entrada fue controlado hidráulicamente mediante vertederos triangulares de lámina delgada y válvulas.

El diseño experimental de este estudio se estableció principalmente para los humedales construidos ya que estos fueron la tecnología central de la investigación. En el caso del BLAAT<sup>®</sup>, se hizo un trabajo observacional, tomando datos a la entrada y salida de la unidad, conformando medidas apareadas sobre las cuales se efectuó el seguimiento a través del tiempo.

De esta manera para el caso del reactor BLAAT<sup>®</sup>, que presentó mediciones de entrada y salida en la unidad, se utilizó una prueba estadística de comparación de poblaciones apareadas, tomando el tiempo como la unidad de apareamiento de los datos y comparando la entrada versus la salida a través de un test T-Student si se presenta cumplimiento de la normalidad, o un test de Wilcoxon para la no normalidad de los datos.

En el caso de los HCSFH, en primer lugar, se hizo una asignación aleatoria de los tratamientos (configuración de las especies vegetales dentro de la unidad), bajo la siguiente restricción, uno de los humedales presentó un patrón de ubicación de las especies vegetales completamente aleatorio, mientras que los tres (3) restantes presentaron una estructura sectorizada. El ejercicio de asignación del tipo de humedal a la unidad experimental se realizó mediante el procedimiento de muestreo. A cada humedal se le efectuó el seguimiento de su desempeño en el tiempo a través de la evaluación de las variables principales en cuatro puntos en cada bioreactor (entrada, punto intermedio 1, 2) y la salida, conformando de esta manera conjuntos de cuatro medidas seguidas tomadas en el mismo tiempo (día de monitoreo).

El diseño experimental en los HC's fue de bloques, dado que en esta investigación no fue posible contar con réplicas y en donde se tomó como factor principal al tipo de humedal (I, II,

III, IV) y el factor bloque correspondió al factor temporal de las mediciones.

La prueba Shapiro-Wilk fue usada para comprobar el supuesto de normalidad, ya que el número de réplicas o el tamaño del experimento se consideró pequeño y además que se puede validar la utilización de la prueba F en el Anova resultante para el diseño de bloques y garantizar así la confiabilidad de los resultados. Igualmente, se validó la homogeneidad de varianzas. Dado que los supuestos no se cumplieron, como medida alternativa se empleó el test no paramétrico de Friedman (test sobre k poblaciones relacionadas) que se basa en el contraste de igualdad de las medianas.

Para las dos tecnologías del acople, diariamente se midieron en campo los parámetros pH, CE, ORP, OD y T °C fueron medidos en sitio durante las 29 semanas del trabajo experimental, empleando medidor multiparamétrico WTW Modelo 340i. La Tabla 1, contiene los parámetros medidos en el estudio, la técnica de determinación y la frecuencia de medición.

**Tabla 1.** Medición de las variables de respuesta

| Parámetro                                         | Unidad                            | Método                   | Código APHA              | Frecuencia                        |
|---------------------------------------------------|-----------------------------------|--------------------------|--------------------------|-----------------------------------|
| Carbono Orgánico Disuelto (COD)                   | mg.l <sup>-1</sup>                | Combustión- Infrarrojo   | 5,310-B                  | 3/ Semana                         |
| Demanda Química de Oxígeno Total (DQOT)           | mgO <sub>2</sub> .l <sup>-1</sup> | Reflujo cerrado          | 5,220-D                  | 1/ Semana                         |
| Demanda Química de Oxígeno Filtrada (DQOF)        | mgO <sub>2</sub> .l <sup>-1</sup> | Reflujo cerrado          | 5,220-D                  | 1/ Semana                         |
| Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO <sub>5</sub> ) | mgO <sub>2</sub> .l <sup>-1</sup> | Oxitop (respirométricos) | 5,210-B                  | 2/ Mes                            |
| Nitrógeno Total Kjeldhal (NTK)                    | mg.l <sup>-1</sup>                | Macro-Kjeldhal           | 4,500-B                  | 1/ Semana                         |
| Nitrógeno Amoniacal                               | mg.l <sup>-1</sup>                | Titulométrico            | 4,500-C                  | 1/ Semana                         |
| Nitratos                                          | mg.l <sup>-1</sup>                | Electrodo de nitratos    | 4,500-D                  | 1/ Semana                         |
| Ácidos Grasos Volátiles (AGV)                     | meq.l <sup>-1</sup>               | Titulación               | -                        | 1/ Semana                         |
| Sulfatos                                          | mg.l <sup>-1</sup>                | Turbidimétrico           | 4,500- SO <sub>4</sub> E | 1/ Semana                         |
| Fosfatos (P-PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> )       | mg.l <sup>-1</sup>                | Cloruro estañoso         | 4,500-P                  | 1/ Semana                         |
| Hierro                                            | mg.l <sup>-1</sup>                | Fenantrolina             | 3,500-Fe B               | 1/ Semana                         |
| Sólidos Suspendidos Totales                       | mg.l <sup>-1</sup>                | Gravimétrico             | 2,540 G                  | 1/ Mes (3 al inicio y final)      |
| Sólidos Suspendidos Volátiles                     | mg.l <sup>-1</sup>                | Gravimétrico             | 2540 G                   | 1/ Mes (3 al inicio y 3 al final) |

### 3. Resultados

Las Tablas 2 a la 9 presenta los datos de la calidad del lixiviado crudo y efluentes para cada una de las tecnologías estudiadas.

**Tabla 2.** Calidad afluente Bioreactor Laguna Anaerobia de Alta Tasa-BLAAT® (mg l<sup>-1</sup>)

| Semana | COD   | DQO <sub>T</sub> | DQO <sub>F</sub> | DBO <sub>5</sub> | NTK | Amonio | N0 <sub>3</sub> <sup>-</sup> | Fosfatos | Sulfatos | Hierro | AGV's |
|--------|-------|------------------|------------------|------------------|-----|--------|------------------------------|----------|----------|--------|-------|
| 1      | 252   | 644              | 609              | 180              | 491 | 468    | 2.4                          | 4        | *        | 12.9   | 280   |
| 2      | 270   | 719              | 682              | *                | 378 | 285    | 10                           | 17.8     | *        | 4.3    | 250   |
| 3      | 513   | 845              | 701              | *                | 420 | 331    | 14                           | 2.3      | *        | 7.3    | 260   |
| 4      | 209.7 | 703              | 639              | *                | 275 | 252    | 14                           | 5        | *        | 6.6    | 230   |
| 5      | 271   | 676              | 614              | 20               | 455 | 327    | 2                            | 11.7     | 47       | 12     | 215   |
| 6      | 319   | 651              | 302              | *                | 366 | 303    | 1.9                          | 12       | 32       | 2      | 240   |
| 7      | 374   | 768              | 538              | *                | 378 | 266    | 8.6                          | 5.6      | 50       | 5.9    | 175   |
| 8      | 349   | 483              | 379              | *                | 252 | 201    | 5.6                          | 7        | 602.4    | 2.6    | 300   |
| 9      | 182   | 448              | 398              | 170              | 252 | 224    | 35                           | 5.6      | 532      | 3      | 213   |
| 10     | 242   | 389              | 379              | 270              | 434 | *      | 51                           | 8.9      | 172      | 3.8    | 311   |
| 11     | 227   | 633              | 626              | *                | 285 | 233    | 10                           | 6.8      | 319      | 5.6    | 653   |
| 12     | 400   | 951              | 909              | 200              | 220 | 215    | *                            | 12.7     | 86       | 4.3    | 223   |
| 13     | 297   | 787              | 605              | 200              | 382 | 280    | 1                            | 11.6     | 33       | 4.3    | 218   |
| 14     | 279   | 1151             | 669              | 190              | 259 | 178    | 1                            | 6.4      | 142      | 8.3    | 239   |
| 15     | 316   | 769              | 629              | 120              | 191 | 177    | 0.3                          | 3        | 50       | 12     | 236   |
| 16     | 317   | 883              | 883              | *                | 378 | 247    | 10                           | 2.9      | 37       | 3.3    | 337   |
| 17     | 253   | 851              | 649              | 190              | 201 | 168    | 11                           | 3        | 38       | 4      | 233   |
| 18     | 208   | 904              | 541              | *                | 219 | 182    | 4.4                          | 2        | 95.4     | 2.6    | 202   |
| 19     | 161   | 426              | 386              | *                | 185 | 145    | 4.9                          | 1.9      | 38       | 6      | 177   |
| 20     | 121   | 417              | 251              | *                | 177 | 159    | 2.4                          | 4.3      | 33.4     | 1      | 197   |
| 21     | 106   | 525              | 375              | 160              | 224 | 126    | 2                            | 2.7      | 32       | 7.3    | 178   |
| 22     | 148   | 566              | 492              | *                | 117 | 131    | 3.5                          | 4.4      | 211.7    | 1.8    | 583   |
| 23     | 196   | 570              | 419              | *                | 231 | 145    | 3                            | 5        | 80       | 15.4   | 470   |
| 24     | 245   | 579              | 385              | *                | 329 | 168    | 2.7                          | 6        | 154      | 19.3   | 283   |
| 25     | 186   | 571              | 319              | 90               | 322 | 308    | 7                            | 7        | 119.8    | 1.3    | 247   |
| 26     | 175   | 681              | 461              | *                | 279 | 245    | 1.8                          | 9        | 100.4    | 8.3    | 320   |
| 27     | 681   | 827              | 423              | *                | 222 | 177    | 1.5                          | 8.5      | 123      | 4.6    | *     |
| 28     | 502   | 628              | 412              | *                | 350 | 210    | 4                            | 8        | 58.4     | 2.3    | 198   |
| 29     | 744   | 599              | 328              | 500              | 265 | 186    | 2.5                          | 5.4      | 75       | 1.6    | 179   |

\*: sin dato

**Tabla 3.** Calidad efluente BLAAT<sup>®</sup> (mg l<sup>-1</sup>)

| Semana | COD | DQO <sub>T</sub> | DQO <sub>F</sub> | DBO <sub>5</sub> | NTK | Amonio | N0 <sub>3</sub> <sup>-</sup> | Fosfatos | Sulfatos | Hierro | AGV's |
|--------|-----|------------------|------------------|------------------|-----|--------|------------------------------|----------|----------|--------|-------|
| 1      | 231 | 618              | 598              | 220              | 372 | 360    | 1.3                          | 4        | *        | 3.9    | 280   |
| 2      | 361 | 805              | 620              | *                | 378 | 331    | 12                           | 6.9      | *        | 0.2    | 370   |
| 3      | 305 | 826              | 516              | *                | 413 | 191    | 11                           | 0.6      | 761      | 0.8    | 260   |
| 4      | 288 | 525              | 477              | *                | 287 | 269    | 14                           | 4.6      | *        | 0.6    | 200   |
| 5      | 249 | 598.5            | 489              | 20               | 406 | 275    | 1.7                          | 8.8      | 54       | 4.2    | 230   |
| 6      | 252 | 698              | 339              | *                | 385 | 299    | 2.4                          | 9.9      | 33       | 0.7    | 210   |
| 7      | 279 | 755              | 475              | *                | 224 | 163    | 9.6                          | 8        | 64       | 2.8    | 60    |
| 8      | 259 | 354              | 343              | *                | 294 | 247    | 11                           | 3.5      | 456      | 1.9    | 104   |
| 9      | 178 | 385              | 354              | 170              | 308 | 214    | 40                           | 6        | 238      | 2      | 115   |
| 10     | 199 | 453              | 383              | 70               | 420 | *      | 33                           | 6.6      | 35       | 2.4    | 293   |
| 11     | 333 | 761              | 689              | *                | 178 | 154    | 23                           | 9        | 470      | 3      | 191   |
| 12     | 406 | 849              | 733              | 230              | 234 | 201    | *                            | 14.3     | 71       | 2.9    | 142   |
| 13     | 267 | 699              | 504              | 200              | 378 | 303    | 1.3                          | 18.1     | 47       | 2.9    | 214   |
| 14     | 339 | 996              | 992              | 220              | 254 | 163    | 1.3                          | 8.4      | 45       | 0.8    | 340   |
| 15     | 303 | 726              | 581              | 140              | 266 | 212    | 0.7                          | 3.9      | 34       | 3.2    | 200   |
| 16     | 291 | 777              | 561              | *                | 294 | 210    | 10                           | 28       | 33       | 1      | 223   |
| 17     | 202 | 809              | 599              | 250              | 186 | 159    | 11                           | 2.9      | 38       | 1.7    | 170   |
| 18     | 242 | 761              | 463              | *                | 197 | 210    | 5.2                          | 3.7      | 48       | 2.4    | 223   |
| 19     | 163 | 663              | 451              | *                | 186 | 140    | 4.9                          | 2.8      | 38       | 1      | 229   |
| 20     | 94  | 305              | 191              | *                | 159 | 140    | 1.3                          | 3.4      | 33       | 0.4    | 206   |
| 21     | 82  | 362              | 297              | 50               | 189 | 98     | 1.8                          | 3.6      | 33       | 1.5    | 169   |
| 22     | 99  | 318              | 212              | *                | 103 | 112    | 3.2                          | 3.6      | 211      | 0.9    | 195   |
| 23     | 203 | 618              | 458              | *                | 196 | 131    | 3                            | 4.3      | 45       | 9.4    | 493   |
| 24     | 209 | 518              | 331              | *                | 252 | 149    | 2.9                          | 7.3      | 73       | 10.4   | 189   |
| 25     | 174 | 627              | 317              | 10               | 231 | 231    | 1.6                          | 7.6      | 113      | 0.9    | 161   |
| 26     | 244 | 488              | 432              | *                | 267 | 236    | 1.4                          | 6.8      | 87       | 4.6    | 330   |
| 27     | 278 | 776              | 417              | *                | 191 | 201    | 1.5                          | 5.6      | 93       | 1.7    | *     |
| 28     | 263 | 635              | 313              | *                | 266 | 185    | 1.7                          | 6.8      | 48       | 0.2    | 173   |
| 29     | 306 | 499              | 298              | 490              | 245 | 167    | 1.5                          | 5.6      | 42       | 0.9    | 145   |

\*: sin dato.

**Tabla 4.** Parámetros de Sitio en el afluente y efluente (pH, temperatura y OD) Humedal Construido Subsuperficial de Flujo Horizontal-HCSFH (No se tuvo lectura semana 29)

| Semana | pH (Unidades) |              |                   |                    |                   | Temperatura (°C) |              |                   |                    |               | Oxígeno disuelto (mg/l) |              |                   |                    |                   |
|--------|---------------|--------------|-------------------|--------------------|-------------------|------------------|--------------|-------------------|--------------------|---------------|-------------------------|--------------|-------------------|--------------------|-------------------|
|        | AFL-<br>HC    | EFL-<br>HC-I | EFL-<br>HC-<br>II | EFL-<br>HC-<br>III | EFL-<br>HC-<br>IV | AFL-<br>HC       | EFL-<br>HC-I | EFL-<br>HC-<br>II | EFL-<br>HC-<br>III | EFL-<br>HC-IV | AF<br>L-<br>HC          | EFL-<br>HC-I | EFL-<br>HC-<br>II | EFL-<br>HC-<br>III | EFL-<br>HC-<br>IV |
| 1      | 8.4           | 8            | 7.9               | 8                  | 8                 | 29.3             | 26.9         | 27.8              | 29.5               | 28.7          | 0.4                     | 4            | 0.5               | 5.3                | 5.3               |
| 2      | 8.4           | 8.4          | 7.9               | 7.8                | 8.3               | 29.9             | 30.4         | 29.1              | 28.8               | 28.8          | 0.3                     | 1.4          | 1.2               | 1.6                | 1.6               |
| 3      | *             | 7.8          | 7.8               | 8.1                | 7.8               | *                | 25.7         | 25.9              | 26.1               | 25.4          | *                       | 0.6          | 0.6               | 1.9                | 1.9               |
| 4      | 8.2           | 7.7          | 7.7               | 7.7                | 7.4               | 27               | 26           | 25.3              | 25.8               | 25.4          | *                       | 3.1          | 1.6               | 2                  | 2                 |
| 5      | 8.3           | 7.9          | 7.9               | 7.8                | 7.8               | 27.8             | 26.2         | 26.3              | 26.5               | 27.6          | *                       | *            | *                 | *                  | *                 |
| 6      | 8.2           | 7.7          | 7.7               | 7.7                | 7.6               | 30.1             | 30.1         | 28.4              | 29                 | 28.1          | *                       | *            | *                 | *                  | *                 |
| 7      | 8.3           | 8            | 7.9               | 7.9                | 7.9               | 28.5             | 26.8         | 27.5              | 27.6               | 28.2          | 0.2                     | 0.2          | 0.2               | 0.1                | 0.1               |
| 8      | 8.1           | 7.9          | 7.9               | 7.8                | 7.6               | 28.9             | 28           | 27.3              | 27.3               | 26.6          | 1.2                     | 1.7          | 0.9               | 1.2                | 0.8               |
| 9      | 8.2           | 7.5          | 7.8               | 7.8                | 7.8               | 27.5             | 26.6         | 26.6              | 26.9               | 25.9          | *                       | *            | *                 | *                  | *                 |
| 10     | 7.8           | 6.8          | 7.1               | 7.1                | 7                 | 24               | 22.8         | 22.8              | 22.8               | 22.3          | *                       | *            | *                 | *                  | *                 |
| 11     | 8.2           | 7.9          | 8                 | 7.9                | 7.9               | 27.5             | 25.9         | 25.9              | 26                 | 26            | 0.7                     | 0.4          | 0.7               | 0.9                | 0.6               |
| 12     | 8.2           | 8            | 8                 | 8                  | 7.8               | 28.9             | 26.5         | 26.9              | 27.1               | 27.1          | 0.2                     | 0.7          | 1.6               | 1.2                | 1.8               |
| 13     | 8.1           | 8            | 8                 | 7.9                | 7.9               | 27.7             | 29.8         | 30.1              | 29.7               | 28.6          | 0.3                     | 0.5          | 0.3               | 0.2                | 0.9               |
| 14     | 8.1           | 7.9          | 8                 | 7.9                | 7.8               | 29               | 27.3         | 27.5              | 27                 | 27.2          | 0.6                     | 0.9          | 2.2               | 1.6                | 0.8               |
| 15     | *             | *            | *                 | *                  | *                 | 25.4             | 25           | 25.4              | 25.5               | 25.7          | 0.6                     | 1.5          | 1.9               | 2                  | 2.7               |
| 16     | *             | 9.2          | 9.3               | 9.3                | 9.3               | 26               | 27.3         | 25.5              | 25.7               | 26.1          | 0.2                     | 2.9          | 2.4               | 2.4                | 1.8               |
| 17     | *             | *            | *                 | *                  | *                 | 28.1             | 26.9         | 27.3              | *                  | 26.8          | 0.3                     | 2.6          | 1.4               | 0.9                | 0.6               |
| 18     | *             | *            | *                 | *                  | *                 | *                | *            | *                 | *                  | *             | *                       | *            | *                 | *                  | *                 |
| 19     | *             | *            | *                 | *                  | *                 | *                | *            | *                 | *                  | *             | *                       | *            | *                 | *                  | *                 |
| 20     | 8.7           | 8.4          | 8.5               | 8.2                | 8.3               | 28.1             | 27.4         | 27.3              | 27                 | 26.7          | 0.4                     | 0.8          | 0.5               | 1.3                | 0.9               |
| 21     | 8.5           | 8.5          | 8.4               | 8.4                | 8.1               | 27.6             | 26.9         | 26.1              | 27.6               | 27.2          | 0.4                     | 3.4          | 3.5               | 1.3                | 4.3               |
| 22     | 9.5           | 9.1          | 9.2               | 9.1                | 8.8               | 27.5             | 25.7         | 25.7              | 27.3               | 25.9          | *                       | *            | *                 | *                  | *                 |
| 23     | 8.7           | 8.4          | 8.8               | 8.7                | 8.8               | 30.1             | 28           | 28.2              | 28.2               | 28.6          | 2.7                     | 2.9          | 2.1               | 2.4                | 3.2               |
| 24     | 8.3           | 8            | 8.2               | 8.1                | 8                 | 28.5             | 24.9         | 25.2              | 27.8               | 28            | *                       | *            | *                 | *                  | *                 |
| 25     | 8.7           | 8.4          | 8.4               | 8.4                | 8.1               | 25.8             | 25.8         | 26.1              | 26.4               | 26.5          | 3.8                     | 1.2          | 1.3               | 1.9                | 2.9               |
| 26     | 8.8           | 7.9          | 8.1               | 8.2                | 8.1               | 28.5             | 27           | 26.5              | 27.2               | 27.7          | 2.8                     | 1.4          | 0.3               | 0.8                | 1.5               |
| 27     | 8.6           | 8            | 7.9               | 8                  | 8.2               | 30.4             | 27.9         | 27.9              | 28.1               | 28.7          | 0.3                     | 1.1          | 0.9               | 0.6                | 0.3               |
| 28     | 8.6           | 8.3          | 8.1               | 8.2                | 8.3               | 28               | 26.1         | 26.3              | 26.1               | 26            | 0.4                     | 1.2          | 1                 | 0.6                | 0.4               |

\*: sin dato.

**Tabla 5.** Parámetros de Sitio en el afluente y efluente (Redox y CE) HCSFH

| Parámetro | Redox (mV) |         |         |         |         | Conductividad Eléctrica (mS/cm) |         |         |        |       |
|-----------|------------|---------|---------|---------|---------|---------------------------------|---------|---------|--------|-------|
|           | AFL        | EFL-HC- | EFL-HC- | EFL-HC- | EFL-HC- | AFL-                            | EFL-HC- | EFL-HC- | EFL-   | EFL-  |
| Semana    | -HC        | I       | II      | III     | IV      | HC                              | I       | II      | HC-III | HC-IV |
| 1         | -124       | 57      | 75      | 65      | 66      | 3.5                             | 2.1     | 1.7     | 1.5    | 1.2   |
| 2         | -31        | 112     | 18      | 75      | 111     | 5.4                             | 1.9     | 2.7     | 2.5    | 1.2   |
| 3         | *          | *       | *       | *       | *       | *                               | 2.9     | 3.2     | 3      | 2.3   |
| 4         | *          | *       | *       | *       | *       | 4.6                             | 3.2     | 3.8     | 3.7    | 2.4   |
| 5         | *          | *       | *       | *       | *       | 6.1                             | 3.8     | 3.9     | 3.5    | 2.8   |
| 6         | *          | *       | *       | *       | *       | 5.3                             | 4.3     | 4.4     | 4.4    | 3.8   |
| 7         | -24        | -175    | -117    | -172    | -127    | 4.9                             | 5.1     | 5       | 4.9    | 4.5   |
| 8         | *          | 111     | 91      | 109     | 82      | 4.6                             | 4.5     | 4.7     | 4.5    | 4.1   |
| 9         | 91         | 125     | 118     | 77      | 115     | 4.1                             | 3.7     | 4.1     | 4.1    | 4.1   |
| 10        | *          | *       | *       | *       | *       | 5.4                             | 3.4     | 3.6     | 3.6    | 3     |
| 11        | 423        | -111    | -109    | -34     | -108    | 6.7                             | 4.8     | 4.7     | 4.2    | 4.5   |
| 12        | *          | -54     | 101     | 82      | -108    | *                               | 5.3     | 5.1     | 5      | 4.5   |
| 13        | -5         | -56     | -172    | -174    | 101     | 6.8                             | 4.5     | 4.7     | 4.7    | 4.7   |
| 14        | *          | -21     | -36     | 15      | 8       | *                               | 4.6     | 4.6     | 4.7    | 5     |
| 15        | *          | -20     | -19     | -13     | -20     | *                               | *       | *       | *      | *     |
| 16        | -14        | 35      | 40      | 44      | 48      | 4.6                             | 4.1     | 4.2     | 4.2    | 4.3   |
| 17        | 51         | -11     | 12      | -13     | 60      | 5.5                             | 3.9     | 3.9     | 3.8    | 3.9   |
| 18        | *          | *       | *       | *       | *       | *                               | *       | *       | *      | *     |
| 19        | *          | *       | *       | *       | *       | *                               | *       | *       | *      | *     |
| 20        | *          | *       | *       | *       | *       | 2.6                             | 2.3     | 2.3     | 1.9    | 2.1   |
| 21        | *          | *       | *       | *       | *       | 2.6                             | 2.4     | 2.3     | 2.2    | 2.4   |
| 22        | -171       | -152    | -154    | -150    | -134    | 3.2                             | 2.7     | 2.5     | 2.2    | 2.5   |
| 23        | -22        | -4      | -17     | -16     | -21     | 4.3                             | 2.3     | 2.8     | 2.7    | 3     |
| 24        | -93        | -72     | -86     | -85     | -84     | 4.2                             | 2.6     | 3.4     | 3.2    | 3.5   |
| 25        | -318       | -304    | -326    | -323    | -286    | 3.9                             | 3.3     | 3.8     | 3.8    | 3.7   |
| 26        | -194       | -68     | -75     | -75     | -72     | 3.6                             | 2.9     | 3.4     | 3.7    | 3.8   |
| 27        | -129       | -58     | -101    | -83     | -82     | 4.2                             | 4       | 3.6     | 4.1    | 4     |
| 28        | -167       | -60     | -112    | -91     | -90     | 6.2                             | 4       | 4.1     | 4.3    | 4.5   |

\*: sin datos

Tabla 6. Calidad afluente y efluente HCSFH-I

| Sena<br>na | Humedal construido subsuperficial de flujo horizontal – HCSFH 1 |                |                |                 |       |       |       |       |       |      |       |      |       |       |       |       |       |      |      |      |      |      |
|------------|-----------------------------------------------------------------|----------------|----------------|-----------------|-------|-------|-------|-------|-------|------|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|------|------|------|
|            | Caudales                                                        |                | COD            |                 | DQOt  |       | DQOf  |       | DBO5  |      | P-PO4 |      | NTK   |       | N-NH4 |       | N-NO3 |      | SST  |      | SSV  |      |
|            | E <sup>A</sup>                                                  | S <sup>B</sup> | A <sup>C</sup> | Ef <sup>D</sup> | A     | Ef    | A     | Ef    | A     | Ef   | A     | Ef   | A     | Ef    | A     | Ef    | A     | Ef   | A    | Ef   | A    | Ef   |
|            | l/min                                                           | l/min          | mg/l           | mg/l            | mg/l  | mg/l  | mg/l  | mg/l  | mg/l  | mg/l | mg/l  | mg/l | mg/l  | mg/l  | mg/l  | mg/l  | mg/l  | mg/l | mg/l | mg/l | mg/l | mg/l |
| 1          | 0.6                                                             | 0.42           | 230.9          | 86              | 617.7 | 167.4 | 597.7 | 141.3 | 220   | 60   | 4.2   | 0.3  | 372   | 238   | 360   | 238   | 1.3   | 1.3  | 86   | 82   | 78   | 68   |
| 2          | 0.6                                                             | 0.42           | 361.3          | *               | 805   | 269   | 620   | 198.3 | *     | *    | 6.9   | 0.6  | 378   | 112   | 331   | 112   | 12    | 11   | 92   | *    | 78   | *    |
| 3          | 0.4                                                             | 0.36           | 304.9          | 128.9           | 825.8 | 339.4 | 516.4 | 245.8 | *     | *    | 0.6   | 0.8  | 413   | 224   | 191   | 224   | 11    | 10   | 143  | *    | 127  | *    |
| 4          | 0.5                                                             | 0              | 288.1          | 264.6           | 525.4 | 350.2 | 477.1 | 269.1 | *     | *    | 4.6   | 2.1  | 287   | 224   | 269   | 224   | 14    | 15   | 142  | *    | 122  | *    |
| 5          | 0.3                                                             | 0.29           | 249.3          | 157.4           | 598.5 | 447.8 | 489.5 | 348.8 | 20    | 80   | 8.8   | 2.8  | 406   | 119   | 275   | 119   | 1.7   | 1.7  | 146  | 104  | 132  | 94   |
| 6          | 0.4                                                             | 0.24           | 251.7          | 198.7           | 698   | 531.6 | 339.4 | 506.1 | *     | *    | 9.9   | 4.4  | 385   | 266   | 299   | 266   | 2.4   | 2.2  | 134  | *    | 112  | *    |
| 7          | 0.4                                                             | 0.3            | 279.3          | 271.8           | 754.7 | 693.1 | 475.1 | 619.9 | *     | *    | 8.1   | 4.6  | 224   | 196   | 163   | 196   | 9.6   | 13   | *    | *    | *    | *    |
| 8          | 0.4                                                             | 0.25           | 259            | 171.5           | 353.9 | 360   | 343.4 | 357.4 | *     | *    | 3.5   | 3.5  | 294   | 238   | 247   | 238   | 11    | 22   | 108  | *    | 88   | *    |
| 9          | 0.3                                                             | 0.29           | 178            | 150.8           | 385.1 | 392.6 | 354.1 | 311.8 | 170   | 70   | 6.1   | 3.6  | 308   | 175   | 214   | 175   | 40    | 39   | 82   | 88   | 68   | 72   |
| 10         | 0.3                                                             | 0.2            | 199.8          | 169.2           | 452.6 | 398.5 | 382.6 | 383.1 | *     | *    | 6.6   | 5.4  | 420   | 252   | 159   | 252   | 33    | 29   | 122  | *    | 104  | *    |
| 11         | 0.4                                                             | 0.24           | 332.8          | 175.6           | 760.6 | 332.6 | 689   | 310.1 | *     | *    | 9     | 4.5  | 178   | 196   | 154   | 196   | 23    | 34   | 114  | *    | 84   | *    |
| 12         | 0.4                                                             | 0.3            | 405.7          | 245.5           | 849.4 | 690.5 | 732.7 | 464.2 | *     | *    | 14.3  | 6.3  | 234   | 273   | 201   | 273   | 79    | 50   | 150  | *    | 114  | *    |
| 13         | 0.4                                                             | 0.3            | 266.8          | 286.4           | 698.8 | 405.6 | 503.6 | 381.3 | 200   | 110  | 18.1  | 8    | 378   | 336   | 303   | 336   | 1.3   | 1.2  | 122  | 116  | 120  | 92   |
| 14         | 0.4                                                             | 0.29           | 339.3          | 242             | 996   | 698   | 991.5 | 556.5 | *     | *    | 8.4   | 5.1  | 254   | 308   | 163   | 308   | 1.3   | 0.8  | 124  | *    | 98   | *    |
| 15         | 0.4                                                             | 0.29           | 302.6          | 201.8           | 725.6 | 493.2 | 581.2 | 375.7 | *     | *    | 3.9   | 2.4  | 266   | 238   | 212   | 238   | 0.7   | 0.8  | 104  | *    | 102  | *    |
| 16         | 0.3                                                             | 0.26           | 290.6          | 154.5           | 776.9 | 460.5 | 561.4 | 235.6 | *     | *    | 2.8   | *    | 294   | 182   | 210   | 182   | 10    | 8.9  | 98   | *    | 86   | *    |
| 17         | 0.4                                                             | 0.28           | 202            | 188             | 808.5 | 494.1 | 612.5 | 345.5 | 250   | 70   | 2.9   | 1.6  | 186   | 177   | 159   | 177   | 11    | 11   | 98   | 82   | 90   | 58   |
| 18         | 0.4                                                             | 0.08           | 241.8          | 161.7           | 760.8 | 440.8 | 463.3 | 355.3 | *     | *    | 3.7   | 2.3  | 197   | 160   | 210   | 160   | 5.2   | 5.7  | 128  | *    | 100  | *    |
| 19         | 0.4                                                             | 0.3            | 162.7          | 161.1           | 663.1 | 517.8 | 450.5 | 398.4 | *     | *    | 2.8   | 2.5  | 186   | 182   | 140   | 182   | 4.9   | 5    | 26   | *    | 26   | *    |
| 20         | 0.3                                                             | 0.2            | 94.1           | 98.5            | 304.5 | 243.5 | 191.3 | 161.8 | *     | *    | 3.4   | 2.8  | 159   | 140   | 140   | 140   | 1.3   | 1.9  | 26   | *    | 26   | *    |
| 21         | 0.4                                                             | 0.3            | 82             | 110.9           | 361.5 | 314.1 | 297.1 | 217.2 | 50    | *    | 3.6   | 4.2  | 189   | 119   | 98    | 119   | 1.8   | 1.1  | 40   | 51   | 40   | 51   |
| 22         | 0.4                                                             | 0.13           | 98.7           | 87.9            | 317.6 | 297.6 | 212.2 | 170.3 | *     | *    | 3.6   | 3.3  | 103   | 98    | 112   | 98    | 3.2   | 3.5  | 52   | *    | 52   | *    |
| 23         | 0.5                                                             | 0.4            | 203.1          | 93.8            | 618.4 | 296.7 | 458.1 | 108.5 | *     | *    | 4.3   | 4.4  | 196   | 154   | 131   | 154   | 3     | 28   | 58   | *    | 58   | *    |
| 24         | 0.4                                                             | 0.1            | 208.9          | 188.3           | 517.7 | 189.9 | 331.2 | 187.3 | *     | *    | 7.3   | 2.4  | 252   | 119   | 149   | 119   | 2.9   | 2.8  | 76   | *    | 70   | *    |
| 25         | 0.5                                                             | 0.4            | 173.5          | 134.7           | 626.5 | 235.5 | 317.4 | 106.5 | 10    | 50   | 7.6   | 3.1  | 231   | 203   | 231   | 203   | 1.6   | 3.1  | 60   | 28   | 58   | 28   |
| 26         | 0.4                                                             | 0.28           | 243.7          | 171.9           | 488.3 | 339.2 | 431.8 | 120.4 | *     | *    | 6.8   | 3.2  | 267   | 175   | 236   | 175   | 1.4   | 1.2  | 74   | *    | 71   | *    |
| 27         | 0.5                                                             | 0.29           | 278.1          | 191.3           | 775.9 | 331.5 | 417.4 | 107.5 | *     | *    | 5.6   | 3.9  | 191   | 127   | 201   | 127   | 1.5   | 2.4  | 96   | *    | 94   | *    |
| 28         | 0.4                                                             | 0.15           | 262.5          | 121.9           | 635.2 | 297.2 | 312.5 | 154.2 | *     | *    | 6.8   | 5    | 266   | 210   | 185   | 210   | 1.7   | 0.3  | 82   | *    | 78   | *    |
| 29         | 0.4                                                             | 0.32           | 306            | 178.6           | 498.5 | 225.1 | 298.1 | 137.9 | 490   | 50   | 5.6   | 3.2  | 245   | 147   | 167   | 147   | 1.5   | 0.8  | 116  | 66   | 110  | 64   |
| Prom.      | 0.4                                                             | 0.26           | 244.7          | 171.2           | 627.6 | 388.0 | 463.7 | 285.3 | 176.2 | 70.0 | 6.2   | 3.4  | 267.5 | 192.7 | 203.8 | 192.7 | 10.1  | 10.6 | 96.4 | 77.1 | 85.2 | 65.9 |
| Max.       | 0.58                                                            | 0.42           | 405.7          | 286.4           | 996   | 698   | 991.5 | 619.9 | 490   | 110  | 18.1  | 8    | 420   | 336   | 360   | 336   | 79    | 50   | 150  | 116  | 132  | 94   |
| Min.       | 0.28                                                            | 0              | 82             | 86              | 304.5 | 167.4 | 191.3 | 106.5 | 10    | 50   | 0.6   | 0.3  | 103   | 98    | 98    | 98    | 0.7   | 0.3  | 26   | 28   | 26   | 28   |

A: Entrada; B: Salida; C: Afluente; D: Efluente

\*: sin dato

Tabla 7. Calidad afluente y efluente HCSFH-II

| Semana       | Caudales       |                | COD            |                 | DQOt  |       | DQOf  |       | DBO5  |      | P-PO4 |      | NTK   |       | N-NH4 |       | N-NO3 |      | SST   |      | SSV  |      |
|--------------|----------------|----------------|----------------|-----------------|-------|-------|-------|-------|-------|------|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|------|-------|------|------|------|
|              | E <sup>A</sup> | S <sup>B</sup> | A <sup>C</sup> | Ef <sup>D</sup> | A     | Ef    | A     | Ef    | A     | Ef   | A     | Ef   | A     | Ef    | A     | Ef    | A     | Ef   | A     | Ef   | A    | Ef   |
|              | l/min          | l/min          | mg/l           | mg/l            | mg/l  | mg/l  | mg/l  | mg/l  | mg/l  | mg/l | mg/l  | mg/l | mg/l  | mg/l  | mg/l  | mg/l  | mg/l  | mg/l | mg/l  | mg/l | mg/l | mg/l |
| 1            | 0.4            | 0.35           | 230.9          | 76.6            | 617.7 | 319.9 | 597.7 | 127.4 | 220   | 40   | 4.2   | 0.1  | 372   | 112   | 360   | 72    | 1.3   | 6.1  | 86    | 104  | 78   | 87   |
| 2            | 0.4            | 0.35           | 361.3          | 0               | 805   | 346.5 | 620   | 318   | *     | *    | 6.9   | 1.9  | 378   | 189   | 331   | 159   | 12    | 8.2  | 92    | *    | 78   | *    |
| 3            | 0.41           | 0.32           | 304.9          | 132.3           | 825.8 | 342.3 | 516.4 | 334.7 | *     | *    | 0.6   | 0.7  | 413   | 140   | 191   | 75    | 11    | 13   | 143   | *    | 127  | *    |
| 4            | 0.4            | 0.34           | 288.1          | 375.6           | 525.4 | 429.8 | 477.1 | 328.7 | *     | *    | 4.6   | 1.9  | 287   | 224   | 269   | 199   | 14    | 16   | 142   | *    | 122  | *    |
| 5            | 0.44           | 0.32           | 249.3          | 154.2           | 598.5 | 496.1 | 489.5 | 354   | 20    | 60   | 8.8   | 3    | 406   | 217   | 275   | 158   | 1.7   | 1.7  | 146   | 124  | 132  | 118  |
| 6            | 0.4            | 0.24           | 251.7          | 190.1           | 698   | 614.8 | 339.4 | 297.3 | *     | *    | 9.9   | 4.1  | 385   | 161   | 299   | 126   | 2.4   | 2.2  | 134   | *    | 112  | *    |
| 7            | 0.41           | 0.3            | 279.3          | 271.2           | 754.7 | 640.7 | 475.1 | 591.1 | *     | *    | 8.1   | 4.4  | 224   | 219   | 163   | 153   | 9.6   | 8.1  | *     | *    | *    | *    |
| 8            | 0.5            | 0.31           | 259            | 231.3           | 353.9 | 380.7 | 343.4 | 362.4 | *     | *    | 3.5   | 3.4  | 294   | 266   | 247   | 215   | 11    | 21   | 108   | *    | 88   | *    |
| 9            | 0.27           | 0.3            | 178            | 153             | 385.1 | 375.8 | 354.1 | 343.6 | 170   | 40   | 6.1   | 3.2  | 308   | 210   | 214   | 154   | 40    | 42   | 82    | 92   | 68   | 76   |
| 10           | 0.3            | 0.18           | 199.8          | 179.7           | 452.6 | 423.4 | 382.6 | 381   | *     | *    | 6.6   | 3.8  | 420   | 210   | 159   | 112   | 33    | 99   | 122   | *    | 104  | *    |
| 11           | 0.38           | 0.26           | 332.8          | 202.2           | 760.6 | 381.5 | 689   | 305.7 | *     | *    | 9     | 4.8  | 178   | 224   | 154   | 117   | 23    | 37   | 114   | *    | 84   | *    |
| 12           | 0.35           | 0.3            | 405.7          | 278.8           | 849.4 | 672   | 732.7 | 415.2 | *     | *    | 14.3  | 6.1  | 234   | 203   | 201   | 140   | 79    | 38   | 150   | *    | 114  | *    |
| 13           | 0.35           | 0.3            | 266.8          | 272.8           | 698.8 | 503.5 | 503.6 | 317.2 | 200   | 130  | 18.1  | 8.5  | 378   | 328   | 303   | 224   | 1.3   | 1.1  | 122   | 96   | 120  | 78   |
| 14           | 0.38           | 0.28           | 339.3          | 242.6           | 996   | 702.6 | 991.5 | 700.3 | *     | *    | 8.4   | 5.5  | 254   | 210   | 163   | 205   | 1.3   | 1    | 124   | *    | 98   | *    |
| 15           | 0.38           | 0.28           | 302.6          | 200.8           | 725.6 | 681.8 | 581.2 | 517.2 | *     | *    | 3.9   | 2.3  | 266   | 263   | 212   | 168   | 0.7   | 0.8  | 104   | *    | 102  | *    |
| 15           | 0.3            | 0.3            | 290.6          | 172.7           | 776.9 | 703   | 561.4 | 480.8 | *     | *    | 2.8   | *    | 294   | 224   | 210   | 159   | 10    | 9.2  | 98    | *    | 86   | *    |
| 17           | 0.36           | 0.28           | 202            | 187             | 808.5 | 512.9 | 612.5 | 478.1 | 250   | 50   | 2.9   | 2.7  | 186   | 167   | 159   | 145   | 11    | 11   | 98    | 92   | 90   | 72   |
| 18           | 0.41           | 0.4            | 241.8          | 141.7           | 760.8 | 363.6 | 463.3 | 322.9 | *     | *    | 3.7   | 2.5  | 197   | 182   | 210   | 121   | 5.2   | 4.4  | 128   | *    | 100  | *    |
| 19           | 0.39           | 0.2            | 162.7          | 178.1           | 663.1 | 471.5 | 450.5 | 412.1 | *     | *    | 2.8   | 2.3  | 186   | 140   | 140   | 112   | 4.9   | 4.8  | 26    | *    | 26   | *    |
| 20           | 0.36           | 0.26           | 94.1           | 111.5           | 304.5 | 219   | 191.3 | 170   | *     | *    | 3.4   | 5.3  | 159   | 149   | 140   | 84    | 1.3   | 2.6  | 26    | *    | 26   | *    |
| 21           | 0.38           | 0.5            | 82             | 97.6            | 361.5 | 285   | 297.1 | 114.4 | 50    | 40   | 3.6   | 3.8  | 189   | 56    | 98    | 47    | 1.8   | 2    | 40    | 42   | 40   | 42   |
| 22           | 0.41           | 0.3            | 98.7           | 81.1            | 317.6 | 207.6 | 212.2 | 138.2 | *     | *    | 3.6   | 1.4  | 103   | 75    | 112   | 65    | 3.2   | 6.3  | 52    | *    | 52   | *    |
| 23           | 0.33           | 0.27           | 203.1          | 86.8            | 618.4 | 278.3 | 458.1 | 112.8 | *     | *    | 4.3   | 1.1  | 196   | 147   | 131   | 98    | 3     | 38   | 58    | *    | 58   | *    |
| 24           | 0.4            | 0.15           | 208.9          | 118.4           | 517.7 | 239.3 | 331.2 | 238.3 | *     | *    | 7.3   | 4.3  | 252   | 161   | 149   | 84    | 2.9   | 2.9  | 76    | *    | 70   | *    |
| 25           | 0.45           | 0.44           | 173.5          | 112.5           | 626.5 | 301.5 | 317.4 | 147.5 | 10    | 50   | 7.6   | 6    | 231   | 210   | 231   | 210   | 1.6   | 2.7  | 60    | 34   | 58   | 34   |
| 26           | 0.42           | 0.3            | 243.7          | 181.1           | 488.3 | 413.2 | 431.8 | 245.1 | *     | *    | 6.8   | 4    | 267   | 168   | 236   | 124   | 1.4   | 1.4  | 74    | *    | 71   | *    |
| 27           | 0.42           | 0.29           | 278.1          | 231.9           | 775.9 | 372.8 | 417.4 | 110.2 | *     | *    | 5.6   | 5.2  | 191   | 174   | 201   | 159   | 1.5   | 0.7  | 96    | *    | 94   | *    |
| 28           | 0.42           | 0              | 262.5          | 133.1           | 635.2 | 235.4 | 312.5 | 119.5 | *     | *    | 6.8   | 4.4  | 266   | 161   | 185   | 141   | 1.7   | 0.4  | 82    | *    | 78   | *    |
| 29           | 0.28           | 0.4            | 306            | 171             | 498.5 | 302.5 | 298.1 | 124.2 | 490   | 50   | 5.6   | 4.6  | 245   | 210   | 167   | 132   | 1.5   | 0.4  | 116   | 58   | 110  | 57   |
| <b>Prom.</b> | 0.38           | 0.29           | 244.7          | 171.2           | 627.6 | 421.3 | 463.7 | 307.2 | 176.2 | 57.5 | 6.2   | 3.6  | 267.5 | 186.2 | 203.8 | 136.5 | 10.1  | 13.2 | 96.4  | 80.2 | 85.2 | 70.5 |
| <b>Max.</b>  | 0.5            | 0.5            | 405.7          | 375.6           | 996.0 | 703.0 | 991.5 | 700.3 | 490.0 | 130  | 18.1  | 8.5  | 420.0 | 328.0 | 360.0 | 224.0 | 79.0  | 99.0 | 150.0 | 124  | 132  | 118  |
| <b>Min.</b>  | 0.27           | 0.0            | 82.0           | 0.0             | 304.5 | 207.6 | 191.3 | 110.2 | 10.0  | 40.0 | 0.6   | 0.1  | 103.0 | 56.0  | 98.0  | 47.0  | 0.7   | 0.4  | 26.0  | 34.0 | 26.0 | 34.0 |

A: Entrada; B: Salida; C: Afluente; D: Efluente

\*: sin dato.

Tabla 8. Calidad afluente y efluente HCSFH-III

| Semana | Caudales       |                | COD            |                 | DQOt  |       | DQOf  |       | DBO5  |       | P-PO4 |      | NTK   |       | N-NH4 |       | N-NO3 |      | SST   |       | SSV   |      |
|--------|----------------|----------------|----------------|-----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|------|-------|-------|-------|------|
|        | E <sup>A</sup> | S <sup>B</sup> | A <sup>C</sup> | Ef <sup>D</sup> | A     | Ef    | A     | Ef    | A     | Ef    | A     | Ef   | A     | Ef    | A     | Ef    | A     | Ef   | A     | Ef    | A     | Ef   |
|        | l/min          | l/min          | mg/l           | mg/l            | mg/l  | mg/l  | mg/l  | mg/l  | mg/l  | mg/l  | mg/l  | mg/l | mg/l  | mg/l  | mg/l  | mg/l  | mg/l  | mg/l | mg/l  | mg/l  | mg/l  | mg/l |
| 1      | 0.48           | 0.35           | 230.9          | 56.3            | 617.7 | 175.9 | 597.7 | 113.8 | 220   | 40    | 4.2   | 0.5  | 372   | 126   | 360   | 60    | 1.3   | 9.4  | 86    | 80    | 78    | 73.5 |
| 2      | 0.48           | 0.35           | 361.3          | 0               | 805   | 408.4 | 620   | 272.4 | *     | *     | 6.9   | 1.2  | 378   | 154   | 331   | 98    | 12    | 8.8  | 92    | *     | 78    | *    |
| 3      | 0.39           | 0.3            | 304.9          | 116.7           | 825.8 | 387.5 | 516.4 | 329.3 | *     | *     | 0.6   | 0.6  | 413   | 112   | 191   | 79    | 11    | 10   | 143   | *     | 127   | *    |
| 4      | 0.28           | 0.28           | 288.1          | 274             | 525.4 | 426   | 477.1 | 353.7 | *     | *     | 4.6   | 1.9  | 287   | 217   | 269   | 106   | 14    | 15   | 142   | *     | 122   | *    |
| 5      | 0.32           | 0.29           | 249.3          | 119.5           | 598.5 | 297.5 | 489.5 | 247   | 20    | 60    | 8.8   | 1.7  | 406   | 168   | 275   | 112   | 1.7   | 1.9  | 146   | 78    | 132   | 60   |
| 5      | 0.34           | 0.26           | 251.7          | 204.3           | 698   | 570.2 | 339.4 | 317.6 | *     | *     | 9.9   | 3    | 385   | 294   | 299   | 163   | 2.4   | 2.5  | 134   | *     | 112   | *    |
| 7      | 0.36           | 0.28           | 279.3          | 250.6           | 754.7 | 604.5 | 475.1 | 583   | *     | *     | 8.1   | 3.7  | 224   | 196   | 163   | 157   | 9.6   | 7.5  | *     | *     | *     | *    |
| 8      | 0.43           | 0.26           | 259            | 200.2           | 353.9 | 366.5 | 343.4 | 358.7 | *     | *     | 3.5   | 3    | 294   | 195   | 247   | 182   | 11    | 19   | 108   | *     | 88    | *    |
| 9      | 0.26           | 0.26           | 178            | 150.8           | 385.1 | 352.7 | 354.1 | 317.2 | 170   | 90    | 6.1   | 4.1  | 308   | 165   | 214   | 159   | 40    | 50   | 82    | 110   | 68    | 92   |
| 10     | 0.3            | 0.15           | 199.8          | 187.1           | 452.6 | 401.5 | 382.6 | 373.2 | *     | *     | 6.6   | 4    | 420   | 189   | 159   | 75    | 33    | 17   | 122   | *     | 104   | *    |
| 11     | 0.37           | 0.26           | 332.8          | 170.4           | 760.6 | 415.6 | 689   | 302.5 | *     | *     | 9     | 4.6  | 178   | 212   | 154   | 75    | 23    | 57   | 114   | *     | 84    | *    |
| 12     | 0.28           | 0.22           | 405.7          | 267.5           | 849.4 | 525.7 | 732.7 | 405.2 | *     | *     | 14.3  | 4.5  | 234   | 249   | 201   | 168   | 79    | 29   | 150   | *     | 114   | *    |
| 13     | 0.28           | 0.22           | 266.8          | 227.6           | 698.8 | 412.6 | 503.6 | 348.6 | 200   | 30    | 18.1  | 6.4  | 378   | 315   | 303   | 233   | 1.3   | 1.2  | 122   | 84    | 120   | 70   |
| 14     | 0.38           | 0.28           | 339.3          | 238.5           | 996   | 740   | 991.5 | 715.1 | *     | *     | 8.4   | 5.6  | 254   | 280   | 163   | 140   | 1.3   | 1    | 124   | *     | 98    | *    |
| 15     | 0.38           | 0.28           | 302.6          | 205.4           | 725.6 | 711.8 | 581.2 | 541.5 | *     | *     | 3.9   | 2.6  | 266   | 196   | 212   | 187   | 0.7   | 0.9  | 104   | *     | 102   | *    |
| 16     | 0.36           | 0.3            | 290.6          | 167.7           | 776.9 | 578.7 | 561.4 | 497.5 | *     | *     | 2.8   | *    | 294   | 168   | 210   | 159   | 10    | 9.4  | 98    | *     | 86    | *    |
| 17     | 0.37           | 0.26           | 202            | 191.9           | 808.5 | 521.5 | 612.5 | 341.3 | 250   | 60    | 2.9   | 2.3  | 186   | 140   | 159   | 135   | 11    | 11   | 98    | 76    | 90    | 56   |
| 18     | 0.4            | 0.32           | 241.8          | 136.3           | 760.8 | 563.6 | 463.3 | 266.2 | *     | *     | 3.7   | 2.5  | 197   | 140   | 210   | 130   | 5.2   | 4.7  | 128   | *     | 100   | *    |
| 19     | 0.39           | 0.45           | 162.7          | 161.8           | 663.1 | 531.6 | 450.5 | 315.5 | *     | *     | 2.8   | 2.2  | 186   | 172   | 140   | 102   | 4.9   | 5    | 26    | *     | 26    | *    |
| 20     | 0.3            | 0.2            | 94.1           | 90.9            | 304.5 | 333.1 | 191.3 | 259.9 | *     | *     | 3.4   | 5.6  | 159   | 121   | 140   | 84    | 1.3   | 2.7  | 26    | *     | 26    | *    |
| 21     | 0.42           | 0.34           | 82             | 61.9            | 361.5 | 236.5 | 297.1 | 118.1 | 50    | 110   | 3.6   | 3.8  | 189   | 105   | 98    | 61    | 1.8   | 2.5  | 40    | 38    | 40    | 38   |
| 22     | 0.33           | 0.22           | 98.7           | 78.9            | 317.6 | 218.5 | 212.2 | 138.5 | *     | *     | 3.6   | 2.6  | 103   | 84    | 112   | 61    | 3.2   | 7.8  | 52    | *     | 52    | *    |
| 23     | 0.37           | 0.34           | 203.1          | 69.7            | 618.4 | 241   | 458.1 | 114.2 | *     | *     | 4.3   | 0.6  | 196   | 168   | 131   | 112   | 3     | 15   | 58    | *     | 58    | *    |
| 24     | 0.42           | 0.3            | 208.9          | 120             | 517.7 | 218.6 | 331.2 | 212.6 | *     | *     | 7.3   | 4.5  | 252   | 147   | 149   | 107   | 2.9   | 2.7  | 76    | *     | 70    | *    |
| 25     | 0.42           | 0.41           | 173.5          | 145.5           | 626.5 | 326.4 | 317.4 | 198.5 | 10    | *     | 7.6   | 5.4  | 231   | 245   | 231   | 201   | 1.6   | 1.4  | 60    | 46    | 58    | 46   |
| 26     | 0.36           | 0.34           | 243.7          | 136.3           | 488.3 | 410.3 | 431.8 | 278.1 | *     | *     | 6.8   | 3.5  | 267   | 224   | 236   | 187   | 1.4   | 1.3  | 74    | *     | 71    | *    |
| 27     | 0.37           | 0.36           | 278.1          | 210.6           | 775.9 | 336.2 | 417.4 | 128   | *     | *     | 5.6   | 6.3  | 191   | 111   | 201   | 93    | 1.5   | 1.4  | 96    | *     | 94    | *    |
| 28     | 0.42           | 0.22           | 262.5          | 156.6           | 635.2 | 218.1 | 312.5 | 112.5 | *     | *     | 6.8   | 6.6  | 266   | 168   | 185   | 139   | 1.7   | 0.3  | 82    | *     | 78    | *    |
| 29     | 0.32           | 0.4            | 306            | 165.4           | 498.5 | 224.1 | 298.1 | 114.5 | 490   | 40    | 5.6   | 5.3  | 245   | 112   | 167   | 103   | 1.5   | 0.3  | 116   | 50    | 110   | 57   |
| Prom.  | 0.36           | 0.29           | 244            | 157.3           | 627.6 | 405.3 | 463.7 | 299.1 | 176.2 | 61.4  | 6.2   | 3.5  | 267.5 | 178.4 | 203.8 | 126.5 | 10.1  | 10.2 | 96.4  | 70.2  | 85.2  | 61.6 |
| Max.   | 0.48           | 0.45           | 405.7          | 274.0           | 996.0 | 740.0 | 991.5 | 715.1 | 490.0 | 110.0 | 18.1  | 6.6  | 420.0 | 315.0 | 360.0 | 233.0 | 79.0  | 57.0 | 150.0 | 110.0 | 132.0 | 92.0 |
| Min.   | 0.26           | 0.15           | 82.0           | 0.0             | 304.5 | 175.9 | 191.3 | 112.5 | 10.0  | 30.0  | 0.6   | 0.5  | 103.0 | 84.0  | 98.0  | 60.0  | 0.7   | 0.3  | 26.0  | 38.0  | 26.0  | 38.0 |

A: Entrada; B: Salida; C: Afluente; D: Efluente

\*:sin dato.

Tabla 9. Calidad afluente y efluente HCSFH-IV

| Semana       | Caudales       |                | COD            |                 | DQOt  |       | DQOf  |       | DBO5  |       | P-PO4 |      | NTK   |       | N-NH4 |       | N-NO3 |      | SST   |      | SSV   |      |
|--------------|----------------|----------------|----------------|-----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|------|-------|------|-------|------|
|              | E <sup>A</sup> | S <sup>B</sup> | A <sup>C</sup> | Ef <sup>D</sup> | A     | Ef    | A     | Ef    | A     | Ef    | A     | Ef   | A     | Ef    | A     | Ef    | A     | Ef   | A     | Ef   | A     | Ef   |
|              | l/min          | l/min          | mg/l           | mg/l            | mg/l  | mg/l  | mg/l  | mg/l  | mg/l  | mg/l  | mg/l  | mg/l | mg/l  | mg/l  | mg/l  | mg/l  | mg/l  | mg/l | mg/l  | mg/l | mg/l  | mg/l |
| 1            | 0.32           | 0.14           | 230.9          | 43.3            | 617.7 | 169.6 | 597.7 | 148.3 | 220   | 10    | 4.2   | 0.4  | 372   | 126   | 360   | 18    | 1.3   | 7.5  | 86    | 65   | 78    | 53.4 |
| 2            | 0.32           | 0.14           | 361.3          | *               | 805   | 156.7 | 620   | 129.3 | *     | *     | 6.9   | 0.5  | 378   | 112   | 331   | 65    | 12    | 9.8  | 92    | *    | 78    | *    |
| 3            | 0.28           | 0.09           | 304.9          | 98              | 825.8 | 275.3 | 516.4 | 202.1 | *     | *     | 0.6   | 0.5  | 413   | 112   | 191   | 61    | 11    | 12   | 143   | *    | 127   | *    |
| 4            | 0.28           | 0.2            | 288.1          | 202.8           | 525.4 | 208.8 | 477.1 | 167.9 | *     | *     | 4.6   | 0.5  | 287   | 98    | 269   | 70    | 14    | 12   | 142   | *    | 122   | *    |
| 5            | 0.34           | 0.09           | 249.3          | 117.2           | 598.5 | 275.5 | 489.5 | 203   | 20    | 100   | 8.8   | 0.6  | 406   | 147   | 275   | 84    | 1.7   | 1.2  | 146   | 62   | 132   | 50   |
| 6            | 0.3            | 0.19           | 251.7          | 145.1           | 698   | 448.4 | 339.4 | 305.8 | *     | *     | 9.9   | 3    | 385   | 252   | 299   | 187   | 2.4   | 3    | 134   | *    | 112   | *    |
| 7            | 0.3            | 0.1            | 279.3          | 239.1           | 754.7 | 537.2 | 475.1 | 458.2 | *     | *     | 8.1   | 3.2  | 224   | 196   | 163   | 154   | 9.6   | 1.5  | *     | *    | *     | *    |
| 8            | 0.32           | 0.13           | 259            | 192.6           | 353.9 | 362.6 | 343.4 | 315.3 | *     | *     | 3.5   | 2.4  | 294   | 273   | 247   | 168   | 11    | 16   | 108   | *    | 88    | *    |
| 9            | 0.23           | 0.18           | 178            | 159             | 385.1 | 347   | 354.1 | 330.8 | 170   | 70    | 6.1   | 1.2  | 308   | 182   | 214   | 75    | 40    | 37   | 82    | 58   | 68    | 36   |
| 10           | 0.22           | 0.02           | 199.8          | 189             | 452.6 | 325.7 | 382.6 | 275.5 | *     | *     | 6.6   | 2.2  | 420   | 147   | 159   | 89    | 33    | 42   | 122   | *    | 104   | *    |
| 11           | 0.28           | 0.17           | 332.8          | 176.7           | 760.6 | 320.6 | 689   | 263.8 | *     | *     | 9     | 2.2  | 178   | 168   | 154   | 84    | 23    | 23   | 114   | *    | 84    | *    |
| 12           | 0.26           | 0.12           | 405.7          | 238.5           | 849.4 | 614.7 | 732.7 | 420.9 | *     | *     | 14.3  | 5.3  | 234   | 266   | 201   | 149   | 79    | 34   | 150   | *    | 114   | *    |
| 13           | 0.26           | 0.12           | 266.8          | 219.2           | 698.8 | 416.5 | 503.6 | 314.2 | 200   | 80    | 18.1  | 3.5  | 378   | 231   | 303   | 149   | 1.3   | 1.2  | 122   | 98   | 120   | 80   |
| 14           | 0.37           | 0.1            | 339.3          | 237.9           | 996   | 776.4 | 991.5 | 585.5 | *     | *     | 8.4   | 5.2  | 254   | 266   | 163   | 186   | 1.3   | 1    | 124   | *    | 98    | *    |
| 15           | 0.37           | 0.1            | 302.6          | 258.2           | 725.6 | 736.9 | 581.2 | 548.1 | *     | *     | 3.9   | 2.6  | 266   | 252   | 212   | 243   | 0.7   | 0.8  | 104   | *    | 102   | *    |
| 16           | 0.35           | 0.34           | 290.6          | 163.3           | 776.9 | 508.6 | 561.4 | 315.6 | *     | *     | 2.8   | *    | 294   | 196   | 210   | 117   | 10    | 9.5  | 98    | *    | 86    | *    |
| 17           | 0.38           | 0.4            | 202            | 184             | 808.5 | 549.6 | 612.5 | 314.4 | 250   | 20    | 2.9   | 2    | 186   | 153   | 159   | 145   | 11    | 12   | 98    | 72   | 90    | 54   |
| 18           | 0.35           | 0.25           | 241.8          | 138.8           | 760.8 | 391.6 | 463.3 | 309.8 | *     | *     | 3.7   | 2.5  | 197   | 192   | 210   | 149   | 5.2   | 5    | 128   | *    | 100   | *    |
| 19           | 0.41           | 0.33           | 162.7          | 166.3           | 663.1 | 435.7 | 450.5 | 248.5 | *     | *     | 2.8   | 2.6  | 186   | 130   | 140   | 121   | 4.9   | 6.8  | 26    | *    | 26    | *    |
| 20           | 0.38           | 0.78           | 94.1           | 109             | 304.5 | 329.6 | 191.3 | 230.6 | *     | *     | 3.4   | 4    | 159   | 140   | 140   | 131   | 1.3   | 1.9  | 26    | *    | 26    | *    |
| 21           | 0.32           | 0.42           | 82             | 70.6            | 361.5 | 243   | 297.1 | 178.2 | 50    | 10    | 3.6   | 3.1  | 189   | 112   | 98    | 56    | 1.8   | 2    | 40    | 47   | 40    | 47   |
| 22           | 0.33           | 0.1            | 98.7           | 82.8            | 317.6 | 254.8 | 212.2 | 169.7 | *     | *     | 3.6   | 2.4  | 103   | 107   | 112   | 83    | 3.2   | 5.5  | 52    | *    | 52    | *    |
| 23           | 0.38           | 0.3            | 203.1          | 90.5            | 618.4 | 290.2 | 458.1 | 245.2 | *     | *     | 4.3   | 3.7  | 196   | 112   | 131   | 75    | 3     | 12   | 58    | *    | 58    | *    |
| 24           | 0.26           | 0.15           | 208.9          | 105.4           | 517.7 | 257.4 | 331.2 | 248.2 | *     | *     | 7.3   | 4.4  | 252   | 140   | 149   | 51    | 2.9   | 4    | 76    | *    | 70    | *    |
| 25           | 0.28           | 0.23           | 173.5          | 149.9           | 626.5 | 338   | 317.4 | 197.1 | 10    | 40    | 7.6   | 20.3 | 231   | 196   | 231   | 182   | 1.6   | 2.9  | 60    | 42   | 58    | 42   |
| 26           | 0.4            | 0.4            | 243.7          | 147             | 488.3 | 392.9 | 431.8 | 165.4 | *     | *     | 6.8   | 4.1  | 267   | 201   | 236   | 139   | 1.4   | 1.3  | 74    | *    | 71    | *    |
| 27           | 0.33           | 0.3            | 278.1          | 192.6           | 775.9 | 397.1 | 417.4 | 178.5 | *     | *     | 5.6   | 5.2  | 191   | 165   | 201   | 159   | 1.5   | 1.5  | 96    | *    | 94    | *    |
| 28           | 0.4            | 0.25           | 262.5          | 192             | 635.2 | 325.2 | 312.5 | 122.2 | *     | *     | 6.8   | 6.6  | 266   | 252   | 185   | 182   | 1.7   | 0.1  | 82    | *    | 78    | *    |
| 29           | 0.38           | 0.28           | 306            | 169.8           | 498.5 | 278.1 | 298.1 | 105.1 | 490   | 40    | 5.6   | 5.5  | 245   | 182   | 167   | 151   | 1.5   | 0.3  | 116   | 74   | 110   | 71   |
| <b>Prom.</b> | 0.32           | 0.22           | 244.7          | 159.9           | 627.6 | 378.1 | 463.7 | 265.4 | 176.2 | 46.25 | 6.2   | 3.56 | 267.5 | 176.1 | 203.8 | 121.5 | 10.1  | 9.2  | 96.4  | 64.7 | 85.2  | 54.2 |
| <b>Max.</b>  | 0.41           | 0.78           | 405.7          | 258.2           | 996.0 | 776.4 | 991.5 | 585.5 | 490.0 | 100.0 | 18.1  | 20.3 | 420.0 | 273.0 | 360.0 | 243.0 | 79.0  | 42.0 | 150.0 | 98.0 | 132.0 | 80.0 |
| <b>Min.</b>  | 0.22           | 0.02           | 82.0           | 43.3            | 304.5 | 156.7 | 191.3 | 105.1 | 10.0  | 10.0  | 0.6   | 0.4  | 103.0 | 98.0  | 98.0  | 18.0  | 0.7   | 0.10 | 26.0  | 42.0 | 26.0  | 36.0 |

A: Entrada; B: Salida; C: Afluente; D: Efluente

\*:sin dato

#### 4. Conclusiones e importancia de los datos

Los resultados muestran en primer lugar que el lixiviado generado en el relleno de presidente es un residuo que se puede clasificar como intermedio-viejo, cuya característica principal es baja cantidad de materia orgánica, alta presencia de nitrógeno amoniacal y posiblemente metales pesados, lo que complejiza su tratamiento.

Los datos registrados permiten establecer la potencialidad de emplear un acople tecnológico como es un reactor anaerobio (BLAAT®) y un sistema biológico (HCSFH) para el tratamiento de lixiviado de relleno sanitario con resultados altamente alentadores.

La información aquí presentada permite ser empleada como punto de comparación y guía para trabajos a desarrollar en el trópico americano en tratamiento de LX que vayan a utilizar sistemas anaerobios y humedales construidos.

#### 5. Agradecimientos

El autor desea agradecer a la Universidad del Valle por el apoyo económico para esta investigación, al Instituto IHE de Holanda por el soporte económico a través del Programa DUPC1 y a Bugaseo S.A E.S.P., por su apoyo en campo, información y permitir realizar la investigación dentro de las instalaciones del relleno sanitario de presidente, San Pedro, Valle del Cauca, Colombia.

#### 6. Referencias

(1) Zhang Qi Q., Hu Tian B., Zhang X, Ghulam A., Ran Fang C., He R. Investigation on

characteristics of leachate and concentrated leachate in three landfill leachate treatment plants. *Waste management*. 2014;33(11): 2277-2286. Doi: 10.1016/j.wasman.2013.07.021.

(2) Renou S., Givaudan, J.G., Poulain, S., Dirassouyan, F., and Moulin, P. Landfill leachate treatment: review and opportunity. *Journal of Hazardous Materials*. 2008;150(3): 468-493. Doi: 10.1016/j.jhazmat.2007.09.077.

(3) Salem Z., Hamouri K., Djemaa R., Allia K. Evaluation of landfill leachate pollution and treatment. *Desalination*. 2008;220(1-3): 108-114. Doi: 10.1016/j.desal.2007.01.026.

(4) Oman C B., Junestedt C. Chemical characterization of landfill leachates – 400 parameters and compounds. *Waste Management*. 2008; 28(10): 1876-1891. Doi: 10.1016/j.wasman.2007.06.018.

(5) Yao P. Perspectives on technology for landfill leachate treatment. *Arabian Journal of Chemistry*. 2017; 10(2): S2567-S2574. Doi: 10.1016/j.arabjc.2013.09.031.

(6) Noguera-Oviedo K., Olivero-Verbel j. Los rellenos sanitarios en Latinoamérica: caso colombiano. *REV ACAD COLOMB CIENC*. XXXIV. 2010;34(132): 347-356.

(7) BUGASEO SA ESP. Informe del sistema de tratamiento de lixiviado-Relleno sanitario de presidente. Buga: BUGASEO SA ESP; 2009.



Este trabajo está licenciado bajo una [Licencia Internacional Creative Commons Reconocimiento-  
NoComercial-CompartirIgual 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)