

Determinación del Impacto Ambiental Generado por el Vertimiento de las Aguas Residuales del Hospital Federico Lleras Acosta sobre los Ecosistemas Acuáticos Naturales y la Salud Pública en la Ciudad de Ibagué.

Jorge Alejandro Guarnizo Liz & Carolina Vittorino Ocampo

Universidad Nacional Abierta y a Distancia – UNAD

Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del Medio Ambiente – ECAPMA

Ingeniería Ambiental

Ibagué

2019

Determinación del Impacto Ambiental Generado por el Vertimiento de las Aguas Residuales del Hospital Federico Lleras Acosta sobre los Ecosistemas Acuáticos Naturales y la Salud Pública en la Ciudad de Ibagué.

Jorge Alejandro Guarnizo Liz & Carolina Vittorino Ocampo

Trabajo de grado para optar al título de:  
Ingeniero Ambiental

Director

CARLOS GUILLERMO MESA MEJIA  
Ingeniero Ambiental

Universidad Nacional Abierta y a Distancia – UNAD  
Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del Medio Ambiente – ECAPMA  
Ingeniería Ambiental  
Ibagué  
2019

## RESUMEN ANALÍTICO ESPECIALIZADO RAE

<b>Tema</b>	Estudio de impacto ambiental generado por vertimientos hospitalarios
<b>Título</b>	Determinación del impacto ambiental generado por el vertimiento de las aguas residuales del Hospital Federico Lleras Acosta sobre los ecosistemas acuáticos naturales y la salud pública en la ciudad de Ibagué.
<b>Autores</b>	Jorge Alejandro Guarnizo Liz, Carolina Vittorino Ocampo
<b>Fuente bibliográfica</b>	<p>Acevedo, Rosa. Severiche, C. y Jaimes, J. (2015). <i>Bacterias resistentes a antibióticos en ecosistemas acuáticos. Producción + Limpia</i>, 10(2), 160-172. Recuperado el 10 de abril 2019, de <a href="http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&amp;pid=S1909-04552015000200015&amp;lng=en&amp;tlng=es">http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&amp;pid=S1909-04552015000200015&amp;lng=en&amp;tlng=es</a></p> <p>Agencia de salud pública en Barcelona (2015). <i>Escherichia coli verotoxigénica o productoras de toxina shiga (VTEC/STEC)</i>. Recuperado de: <a href="http://www.aspb.cat/wp-content/uploads/2016/10/Infecciones-E-coli.pdf">www.aspb.cat/wp-content/uploads/2016/10/Infecciones-E-coli.pdf</a></p> <p>Apella, M. Araujo, P. <i>Microbiología del agua. Conceptos básicos</i>. Recuperado de <a href="https://www.psa.es/es/projects/solarsafewater/documents/libro/02_Capitulo_02.pdf">https://www.psa.es/es/projects/solarsafewater/documents/libro/02_Capitulo_02.pdf</a></p> <p>Bernal. M. Guzmán, M. (1984) <i>El antibiograma de disco. Normalización de la técnica de Kirby-Bauer</i>. Revista biomédica. Vol. 4, No 3 y 4 Recuperado de <a href="https://www.revistabiomedica.org/index.php/biomedica/article/viewFile/189">https://www.revistabiomedica.org/index.php/biomedica/article/viewFile/189</a></p> <p>Buitrago, E. Hernández, C. Pallares, C. Pacheco, R. Hurtado, K. Recalde, M. (2014). <i>Frequency and antibiotics resistance profiles of microbiological isolates at 13 clinics and referral hospitals in Santiago de Cali - Colombia</i> (English) In INFECTIO. January-March 2014 18(1):3-11 Language: Spanish; Castilian. DOI: 10.1016/S0123-9392(14)70734-9, Base de datos: ScienceDirect</p>

CITMA. Estrategia Ambiental Nacional 2007-2010, Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente, Cuba. La Habana: Editorial Academia; 2007.

CITMA. Programa Nacional de lucha Contra la Contaminación Ambiental, Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente, Cuba. La Habana: Editorial GAIA; 2009. 13

Cercerano, E., & Saavedra-Lozano, J. (2011). *El antibiograma. Interpretación y conceptos generales. Anales de Pediatría continuada*, VII (4), 34-58. Recuperado de <http://www.apcontinuada.com/es-el-antibiograma-interpretacion-del-antibiograma-articulo-S1696281809719274?referer=buscador>

Comité de Medicamentos de la Asociación Española de Pediatría. Pediamécum. Edición 2015. Amoxicilina. Disponible en: [pediamecum.es/wp-content/farmacos/Amoxicilina.pdf](http://pediamecum.es/wp-content/farmacos/Amoxicilina.pdf)

Comité de Medicamentos de la Asociación Española de Pediatría. Pediamécum. Edición 2015. Ciprofloxacino. Tomado de: [pediamecum.es/wp-content/farmacos/Ciprofloxacino.pdf](http://pediamecum.es/wp-content/farmacos/Ciprofloxacino.pdf)

Departamento de Salud y Servicios Humanos (2009). *Módulo I - Introducción a la toxicología. Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades* Recuperado de [https://www.atsdr.cdc.gov/es/training/toxicology\\_curriculum/modules/1/es\\_lecturenotes.html](https://www.atsdr.cdc.gov/es/training/toxicology_curriculum/modules/1/es_lecturenotes.html)

Dr. Lozano, D. Dra. Larrondo, H. Dra. Herrera, M, Dr. Rivero, E. Prof. Dr. Zamora, R. y Dr. Araujo, L. (1998) *Penicilinas*. *ACTA MEDICA* 1998;8(1):28-39 Recuperado de [bvs.sld.cu/revistas/act/vol8\\_1\\_98/act04198.pdf](http://bvs.sld.cu/revistas/act/vol8_1_98/act04198.pdf)

Duarte, C. Gutiérrez, F. (2013) *Tratamiento de Agua Residual Hospitalaria Previamente Ozonizada Utilizando un Reactor Anaerobio de Lecho Fijo*. Informe Trabajo final de grado. Universidad Militar Nueva Granada. Bogotá D.C. Recuperado de <https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/11357/DuarteBarreroCarlosEduardo2013.pdf?sequence=1&isAlloved=y>

Ergueta, F. (2016, Junio) *Tratamiento de aguas residuales hospitalarias*. *Revista P y C* Recuperado de: <http://revistapyc.com/Articulos/Grupo62/ART-62-G.pdf>

- Farias, B. *Conocimientos básicos sobre Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (Módulo I)* iagua. Recuperado de <https://www.iagua.es/blogs/bettys-farias-marquez/conocimientos-basicos-plantas-tratamiento-aguas-residuales-ptar-modulo-i>
- Fernández, J.; Cermeño, L. Rudas, E. Nefrología, July 01, 2015, 35(4):418-419 *Language: English; Spanish; Castilian (2005). Gentamicin- based prophylaxis in tunnelled indwelling central venous catheter limbs for haemodialysis do not result in bacterial resistances after a 9 year follow up period.* Grupo Aula Medica S.A. DOI: 10.1016/j.nefro.2015.02.005 , Base de datos: Scopus®
- Fuentes, A . (2017). *E. Coli*. Recuperado de <https://es.slideshare.net/AlexeiCaleroFuentesR/e-coli-75761916>
- García, P. Lozano, G. (2018). *Construcción de cierre de malla de red de acueducto en seis Pulgadas en PVC de 21 en el distrito siete de Ibagué sector Salado.* Universidad Cooperativa de Colombia Facultad de Ingeniería Civil. Ibagué Tolima. Recuperado de [http://repository.ucc.edu.co/bitstream/ucc/6361/1/2018\\_Construccion\\_Cier\\_re\\_Malla.pdf](http://repository.ucc.edu.co/bitstream/ucc/6361/1/2018_Construccion_Cier_re_Malla.pdf).
- Garrido, D. (2017) *Nuevas Tecnologías en el Manejo de Aguas Residuales Domésticas e Industriales en Rio de Janeiro – Brasil.* Universidad Católica de Colombia. Facultad de Ingeniería. Programa de Ingeniería Civil. Bogotá D.C. Recuperado de <https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/14544/1/MONOGRAFIA%20BRASIL%20FINAL%202017%20DE%20MAYO%20FINAL.pdf>.
- Geminy A, (2013) *Aislamiento bacteriano*. Recuperado de <https://es.slideshare.net/axeldaza/aislamiento-bacteriano>
- Gil, J. (2018). *Propuesta para el sistema de tratamiento de aguas residuales en la E.S.E hospital departamental universitario del Quindío San Juan de Dios.* Fundación Universidad de América. Facultad de Ingenierías. Programa de Ingeniería Química. Bogotá, D.C. Recuperado de <http://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/6761/1/6062043-2018-1-IQ.pdf>.
- Gómez, C. Leal, A. Pérez, M. y Navarrete, M. (2005). *Mecanismos de resistencia en Pseudomonas Aeruginosa: entendiendo a un*

*peligroso enemigo*. Revista de la Facultad de Medicina, 53(1), 27-34. Recuperado de [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0120-00112005000100004&lng=en&tlng=es](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-00112005000100004&lng=en&tlng=es).

Grisales, D., Ortega, J. y Rodríguez, T. (2012, marzo). *Remoción de la materia orgánica y toxicidad en aguas residuales hospitalarias aplicando ozono*. Bdigital, portal de revistas UN Recuperado de <https://revistas.unal.edu.co/index.php/dyna/article/view/30753/39034>

Heberer Th. (2002) *Occurrence, fate and removal of pharmaceutical residues in the aquatic environment: a review of recent research data*. Toxicology Letters; 131(5):5-7.

Henríquez, D. (2012). *Presencia de contaminantes emergentes en aguas y su impacto en el ecosistema. Estudio de caso: productos farmacéuticos en la cuenca del río Biobío, Región del Biobío, Chile*. Recuperado de <http://repositorio.uchile.cl/handle/2250/102748>

*Hospital Federico Lleras Acosta. Funciones y Deberes* (2017) Recuperado de <http://www.hflleras.gov.co/funciones-y-deberes>

Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación ICONTEC (1996). *Norma Técnica Colombiana NTC-ISO 5667-6: "por medio de la cual se establece los principios que se aplican al diseño de programas de muestreo, técnicas de muestreo y manejo de muestras de agua de ríos y corrientes para su posterior evaluación física, química y microbiológica en laboratorio"*.

Joshi S (2010) *Antibiograma del hospital.: una necesidad*. Indian J Med Microbiol. 2010; 28 : 277–80. Recuperado de <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/20966554>

Leiva, W (2008). *Aguas Residuales Generadas en Hospitales*. Universidad Nacional Autónoma de Honduras. Recuperado de [https://www.academia.edu/8117344/Aguas\\_residuales\\_generadas\\_en\\_hospitales](https://www.academia.edu/8117344/Aguas_residuales_generadas_en_hospitales)

León, M. (2015) *Caracterización físico – química, biológica y ecotoxicológica del agua residual de un hospital de la ciudad de Cuenca*. Universidad de Cuenca. Facultad de ciencias químicas.

Cuenca – Ecuador. Recuperado de <https://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/21222/1/TESIS.pdf>

Ortega, S. Colín, C. Hernández, M. López, E. Franco, R. (2015) *Microbiological characteristics and patterns of resistance in prosthetic joint infections in a referral hospital (English)* In *Cirugía y Cirujanos*. September-October 2015 83(5):371-377  
Language: Spanish; Castilian. DOI: 10.1016/j.circir.2015.05.030, Base de datos: ScienceDirect

Ospina, O (2015) *Análisis de la Contaminación Microbiológica en el Río Combeima, Municipio de Ibagué (Tolima, Colombia)*  
Recuperado de [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S190904552015000200009](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S190904552015000200009)

Pallares, C. y Martínez, E. (2012) *Implementación de un programa de uso regulado de antibióticos en 2 unidades de cuidado intensivo médico-quirúrgico en un hospital universitario de tercer nivel en Colombia*. *Infect.* [Online]. 2012, vol.16, n.4, pp.192-198. ISSN 0123-9392. Recuperado de [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0123-93922012000400002](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0123-93922012000400002)

Peláez, Omar E. Santamaría, Y. (2010) *Agenda Ambiental del Municipio de Ibagué*. CORTOLIMA- Alcaldía Municipal de Ibagué. Ibagué, Colombia. 198 p.

R. Vignoli V. Seija, *Principales mecanismos de resistencia antibiótica. Temas de Bacteriología y Virología Médica*. Pág. 649 Recuperado de <http://www.higiene.edu.uy/cefa/2008/Principalesmecanismosderezistenciaantibiotica.pdf>.

Ramos C. Espinosa M. López M. Pellón A. (2005) *Tratamiento de las aguas residuales provenientes de la industria de medicamentos*. Revista CENIC Ciencias Químicas 2005; 36(1):39-44.

Rodríguez, G. (2002). *Principales características y diagnóstico de los grupos patógenos de Escherichia coli*. *Salud Pública de México*, 44(5), 464-475. Recuperado de: [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0036-36342002000500011&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0036-36342002000500011&lng=es&tlng=es).

Rodríguez, C. Obrador G. *Fichero Farmacológico. Capítulo 11: Antibióticos fluoroquinolonas, quinolinas y antisépticos urinarios*. Recuperado de [https://accessmedicina.mhmedical.com/content.aspx?bookid=1510&sectio\\_nid=980088481/1917](https://accessmedicina.mhmedical.com/content.aspx?bookid=1510&sectio_nid=980088481/1917)

S.S.A. *Catálogo de Medicamentos Genéricos Intercambiables para farmacias y público en general al 3 de agosto de 2007*. Tomado de: [http://www.facmed.unam.mx/bmd/gi\\_2k8/prods/PRODS/Cefotaxima.htm](http://www.facmed.unam.mx/bmd/gi_2k8/prods/PRODS/Cefotaxima.htm)

Sánchez, L. (2015) *Control borroso para la valoración del impacto ambiental generado por contaminantes emergentes en aguas residuales hospitalarias*. Gestión y Ambiente, [S.l.], v. 18, n. 1, p. 81-93, ene. 2015.

ISSN 2357-5905. Recuperado de <https://revistas.unal.edu.co/index.php/gestion/article/view/43541>

Sánchez, D. (2013) *Métodos de evaluación de impacto ambiental 1) Identificación de Impactos*. Recuperado de [http://blog.uclm.es/davidsanchezramos/files/2013/12/6\\_MEIA\\_I-resumen.pdf](http://blog.uclm.es/davidsanchezramos/files/2013/12/6_MEIA_I-resumen.pdf).

Serra, M. (2017) *La resistencia microbiana en el contexto actual y la importancia del conocimiento y aplicación en la política antimicrobiana*. Rev haban cienc méd [online]. 2017, vol.16, n.3, pp.402-419. ISSN 1729- 519X. Recuperado de [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1729-519X2017000300011](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1729-519X2017000300011)

Servicio de Prevención de Valencia CSIC *Toxicidad de productos químicos*. Recuperado de [http://w1.iata.csic.es/IATA/segl/Riesgos/TOXICIDAD%20DE%20AGEN\\_TES%20QUIMICOS.pdf](http://w1.iata.csic.es/IATA/segl/Riesgos/TOXICIDAD%20DE%20AGEN_TES%20QUIMICOS.pdf).

Solé, J.; Rodríguez, G.; Grahit, V. Juncadella G, E. (2004). *Consumption of antibiotics and their possible relationship with bacterial resistance in the "costa de ponent" health region: analysis of evolution through the initial and end periods of the last decade (English)*. In Attention Primaria. 2004 34(3):128-134 Language: Spanish; Castilian. DOI: 10.1016/S0212-6567(04)79482-2, Base de datos: Science Direct



	<p>Tejada, C. Quiñonez, E. Peña, M. (2014) <i>Contaminantes Emergentes en Aguas: Metabolitos de Fármacos</i>. Una Revisión. Universidad Militar Nueva Granada. Recuperado de <a href="https://revistas.unimilitar.edu.co/index.php/rfcb/article/viewFile/341/137">https://revistas.unimilitar.edu.co/index.php/rfcb/article/viewFile/341/137</a></p> <p>Ternes TA. Occurrence of drugs in German sewage treatment plants and rivers. <i>Water Res</i> 1998; 32(11):3245-60.</p> <p>Thomas KV, Langford K. (2007) <i>Fate and occurrence of pharmaceuticals in the water cycle</i>. En: Petrovi M, ed. <i>Analysis, Fate and Removal of Pharmaceuticals in the Water Cycle</i> 2007; 50:1-564.</p> <p>Título D. <i>Sistemas de recolección y evacuación de aguas residuales domésticas y aguas lluvias. Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS</i>. Min vivienda. Bogotá 2016 <a href="http://www.minvivienda.gov.co/Documents/ViceministerioAgua/TITULO_D.pdf">www.minvivienda.gov.co/Documents/ViceministerioAgua/TITULO_D.pdf</a></p> <p>Vanegas, M. (2002) <i>Sistemas Integrados de Tratamiento y Uso de Aguas Residuales en América Latina: Realidad y Potencial. Estudio Complementario Del Caso Ibagué, Colombia</i>. Convenio IDRC – OPS/HEP/CEPIS Recuperado de <a href="http://www.bvsde.paho.org/bvsaar/e/proyecto/complemen/caso/ibague.pdf">http://www.bvsde.paho.org/bvsaar/e/proyecto/complemen/caso/ibague.pdf</a></p> <p>V. Seija, R. Vignoli <i>Principales grupos de antibióticos</i>. Temas de Bacteriología y Virología Médica. Pág. 631 Tomado de: <a href="http://www.higiene.edu.uy/cefa/2008/BacteCEFA34.pdf">http://www.higiene.edu.uy/cefa/2008/BacteCEFA34.pdf</a>.</p> <p>Vera, J. <i>La Cuenca del Río Combeima y el Abastecimiento de Agua en Ibagué Amenazadas por la Megaminería</i>. Recuperado de <a href="https://www.ocmal.org/wp-content/uploads/2017/03/LA.pdf">https://www.ocmal.org/wp-content/uploads/2017/03/LA.pdf</a>.</p> <p>Villalobos, A. Diaz, M. Barrero, L. Rivera, S. Henriquez, D. Villegas, M. Robledo, C. Leal, A. (2011) <i>Trends of bacterial resistance phenotypes in high-complexity public and private hospitals in Colombia</i>. <i>Revista Panamericana de Salud Pública</i>. Dec 2011, Vol. 30 Issue 6, p627-633. 7p. 3 Charts, 2 Graphs.</p>
<b>Año</b>	2019
<b>Resumen</b>	Las aguas residuales generadas en los centros hospitalarios contienen diferentes sustancias tóxicas y microorganismos patógenos; estos vertimientos son categorizados en Colombia según la resolución de 0631 de

	<p>2015 como aguas residuales domésticas, razón por la que no realiza monitoreo y control adecuado sobre esta carga contaminante. En Ibagué, no se realiza un adecuado saneamiento de las aguas residuales, vertiendo más del 80% de estas sobre las fuentes hídricas superficiales. El presente trabajo de investigación tiene como objetivo determinar la presencia y concentración de microorganismos patógenos, la tasa de resistencia bacteriana ante un grupo de antibióticos, y el nivel de biotoxicidad que poseen las aguas residuales del Hospital Federico Lleras Acosta, así como su impacto en la salud pública y las fuentes hídricas donde son vertidas (río Combeima). Para identificar y caracterizar los microorganismos patógenos se utilizó el método de frecuencia de aislamiento microbiológico en medios selectivos, pruebas bioquímicas, fluorescencia y contraste con cepas de control, se evaluó la resistencia bacteriana por el método de Kirby Bauer, revelando altos niveles de toxicidad biológica, concentraciones microbianas promedio entre <math>1.97 \times 10^5</math> UFC/ml a <math>3.56 \times 10^5</math> UFC/ml en el caso de la E.Coli, y <math>2.12 \times 10^5</math> UFC/ml a <math>2.72 \times 10^5</math> UFC/ml en el caso de la P. Aeruginosa, cepas de E.Coli y P. Aeruginosa con total resistencia bacteriana al Cefotaxime, Ciprofloxacina, Amoxicilina, Ceftriaxona, Trimetoprim, Penicilina, y Ácido Nalidixico, perjudicando significativamente el ecosistema acuático del río Combeima, alterando la dinámica poblacional, la fisiología de las poblaciones microbianas naturales, la flora y la fauna que hace parte de este entorno.</p>
<p><b>Palabras claves</b></p>	<p>Biotoxicidad, contaminación, infección, nosocomial, resistencia, riesgo, vertimiento.</p>
<p><b>Contenidos</b></p>	<p>Capítulo 1. Introducción e Identificación del problema</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Introducción       <ol style="list-style-type: none"> <li>1.1. Planteamiento del problema           <ol style="list-style-type: none"> <li>1.1.1. Descripción de la situación actual</li> <li>1.1.2. Uso de fármacos en centros hospitalarios</li> <li>1.1.3. Situación actual del Río Combeima</li> <li>1.1.4. Hospital Federico Lleras Acosta</li> <li>1.1.5. Normatividad</li> <li>1.1.6. Entidades y Organismos de Control de los sistemas de alcantarillado en la ciudad de Ibagué</li> </ol> </li> <li>1.2. Identificación del problema           <ol style="list-style-type: none"> <li>1.2.1. Lluvia de ideas</li> <li>1.2.2. Agrupación de ideas similares</li> </ol> </li> </ol> </li> </ol>

	<ul style="list-style-type: none"><li>1.2.3. Matriz de Vester</li><li>1.2.4. Clasificación de problemas</li><li>1.3. Justificación</li><li>1.4. Definición de objetivos</li><li>1.5. Objetivos<ul style="list-style-type: none"><li>1.5.1. Objetivo general</li><li>1.5.2. Objetivos específicos</li></ul></li></ul> <p>Capítulo 2. Fundamentación Teórica</p> <p>2. Fundamentación teórica</p> <ul style="list-style-type: none"><li>2.1. Aguas residuales hospitalarias (ARH)</li><li>2.2. Tratamiento de las aguas residuales hospitalarias</li><li>2.3. Red de alcantarillado</li><li>2.4. Plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR).</li><li>2.5. Contaminantes emergentes</li><li>2.6. Antibióticos y su clasificación<ul style="list-style-type: none"><li>2.6.1. Antibióticos</li><li>2.6.2. Clasificación de los antibióticos</li><li>2.6.3. Antibióticos seleccionados</li></ul></li><li>2.7. Resistencia bacteriana</li><li>2.8. Microorganismos<ul style="list-style-type: none"><li>2.8.1. E - Coli</li><li>2.8.2. Pseudomona Aeruginosa</li><li>2.8.3. Efectos toxicológicos y patogenicidad de P. Aeruginosa y E-Coli</li></ul></li><li>2.9. Toxicidad</li><li>2.10. Aislamiento bacteriano<ul style="list-style-type: none"><li>2.10.1. Medios de cultivo</li><li>2.10.2. Agar Mueller Hinton</li><li>2.10.3. Agar McConkey</li><li>2.10.4. Técnicas de aislamiento</li></ul></li></ul>
--	---

	<ul style="list-style-type: none"><li>2.11. Método de Kirby Bauer</li><li>2.12. Antibiograma</li><li>2.13. Principales referentes teóricos</li></ul> <p>Capítulo 3. Metodología</p> <ul style="list-style-type: none"><li>3. Metodología<ul style="list-style-type: none"><li>3.1. Identificación de la red de alcantarillado interna, cajillas de inspección pozos y drenajes en el Hospital Federico Lleras Acosta</li><li>3.2. Identificación de la red de alcantarillado conectada al hospital Federico Lleras Acosta, hasta su disposición final en el Río Combeima.<ul style="list-style-type: none"><li>3.2.1. Distribución de la red</li></ul></li><li>3.3. Selección de puntos de muestreo<ul style="list-style-type: none"><li>3.3.1. Criterios de selección</li></ul></li><li>3.4. Selección de medicamentos (antibióticos)<ul style="list-style-type: none"><li>3.4.1. Criterios de selección</li><li>3.4.2. Medicamentos seleccionados</li></ul></li><li>3.5. Frecuencia de aislamiento microbiológico</li><li>3.6. Métodos de caracterización microbiana sobre medios selectivos</li><li>3.7. Normalización técnica de Kirby-Bauer<ul style="list-style-type: none"><li>3.7.1. Discos para antibiograma</li><li>3.7.2. Control de calidad</li><li>3.7.3. Antibióticos recomendados para un antibiograma de disco por el Instituto Nacional de Salud</li></ul></li><li>3.8. Análisis de resistencia bacteriana</li><li>3.9. Biotoxicidad<ul style="list-style-type: none"><li>3.9.1. Efectos tóxicos</li></ul></li><li>3.10. Revisión por Comité de ética</li><li>3.11. Revisión por Comité de docencia e innovación</li></ul></li></ul>
--	---

	<p>Capítulo 4: Resultados</p> <p>4. Resultados</p> <p>4.1. Concentración microbiana</p> <p>4.1.1. Concentración microbiana monitoreo 1</p> <p>4.1.2. Concentración microbiana monitoreo 2</p> <p>4.1.3. Concentración microbiana promedio</p> <p>4.2. Resistencia bacteriana</p> <p>4.2.1. Resultados resistencia bacteriana monitoreo 1</p> <p>4.2.1.1. Resultados resistencia bacteriana E-Coli monitoreo 1</p> <p>4.2.1.2. Resultados resistencia bacteriana P Aeruginosa monitoreo 1</p> <p>4.2.2. Resultados resistencia bacteriana monitoreo 2</p> <p>4.2.2.1. Resultados resistencia bacteriana E-Coli monitoreo 2</p> <p>4.2.2.2. Resultados resistencia bacteriana P Aeruginosa monitoreo 2</p> <p>4.2.3. Sensibilidad bacteriana punto de muestreo 1</p> <p>4.2.4. Sensibilidad bacteriana punto de muestreo 2</p> <p>4.2.5. Sensibilidad bacteriana punto de muestreo 3</p> <p>4.3. Toxicidad generada por las aguas residuales hospitalarias</p> <p>Capítulo 5. Discusión de resultados</p> <p>Capítulo 6. Conclusiones</p> <p>Capítulo 7. Recomendaciones</p> <p>Capítulo 8. Bibliografía</p> <p>Anexos</p>
<p><b>Descripción del problema de investigación</b></p>	<p>Las aguas residuales generadas en los centros hospitalarios contienen diferentes sustancias químicas y microorganismos patógenos capaces de desarrollar enfermedades altamente complejas sobre la población incrementando las tasas de morbilidad y mortalidad en las comunidades más cercanas a ésta, además de generar graves afectaciones sobre los ecosistemas acuáticos que reciben finalmente estas aguas principalmente</p>

	<p>ríos, quebradas, lagunas y en la región costera el mar, según la resolución de vertimientos 0631 de 2015 estas aguas son categorizados en Colombia como aguas residuales domésticas, por esta razón no se les realiza un monitoreo ni control adecuados sobre la carga contaminante que contienen. En la mayoría de ciudades de Colombia, como es el caso de Ibagué, no se realiza un adecuado saneamiento de las aguas residuales hospitalarias, que son vertidas a la red de alcantarillado sin un adecuado de tratamiento lo que aumenta el riesgo de contaminación para la población, además al no contar con suficientes plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR), más del 80% de las aguas residuales de Ibagué son vertidas directamente sobre las fuentes hídricas sin ningún tipo de tratamiento generando un impacto significativo sobre la salud pública y los ecosistemas acuáticos naturales.</p> <p>La caracterización de las aguas residuales hospitalarias en Colombia es un tema poco debatido e investigado, razón por la que se desconocen todos los impactos que estas pueden generar sobre la salud de las comunidades que se encuentran en el área de influencia de estas, así como los que se dan sobre los ecosistemas acuáticos naturales,</p> <p>En la ciudad de Ibagué la ausencia de elementos de control y monitoreo de vertimientos hospitalarios se convierten en uno de los aspectos más preocupantes en la temática de manejo de aguas residuales ya que la mayoría de los centros hospitalarios no cuentan con sistemas de tratamiento integrales y más del ochenta por ciento de ellas son vertidas sin ningún tratamiento en las fuentes hídricas (ríos) de la ciudad, lo que agrava la problemática.</p>
<p><b>Objetivo general</b></p>	<p>Determinar el impacto ambiental de las aguas residuales del Hospital Federico Lleras Acosta sobre la salud pública y los ecosistemas acuáticos naturales en el municipio de Ibagué.</p>
<p><b>Objetivos específicos</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Determinar la presencia, concentración y tasa de resistencia bacteriana en microorganismos patógenos (Pseudomona aeruginosas y Escherichia E. Coli), en las aguas residuales desde su generación, a lo largo de la red de alcantarillado conectado al Hospital y en las fuentes hídricas donde se disponen.</li> <li>● Identificar el nivel de Biotoxicidad en las aguas residuales desde su generación, a lo largo de la red de alcantarillado conectado al Hospital y en las fuentes hídricas donde se disponen.</li> <li>● Plantear alternativas de tratamiento “in situ” para reducir el impacto generado por las aguas hospitalarias sobre la salud pública y los ecosistemas acuáticos naturales.</li> </ul>

<b>Metodología</b>	<p>Estudio descriptivo con un enfoque cuantitativo, enmarcado en la estrategia de vigilancia epidemiológica de la resistencia bacteriana, con un alcance exploratorio y descriptivo, para la identificación y caracterización de microorganismos patógenos enterobacterias, coliformes fecales cultivables (<i>Pseudomona Aeruginosas</i> y <i>Escherichia. Coli</i>) de diferentes puntos de muestreo en el Hospital Federico Lleras Acosta, en la red de alcantarillado de la ciudad de Ibagué conectado a este, y las fuentes hídricas donde se disponen finalmente estas aguas (Río Combeima), así como el análisis en un laboratorio de microbiología especializado para la determinación de resistencia bacteriana por el método de Frecuencia de aislamientos microbiológicos y perfil de resistencia bacteriana por el método de Kirby Bauer, sobre antimicrobianos de alto consumo en la región (Nalidixic Acid Na 30 ug, Cefotaxime Ctx 30 ug, Ciprofloxacín Cip 5 ug, Trimethoprim Tm 2.5 ug, Amoxicillin Aml 30 ug, Ceftriaxone 30 ug) desarrollado en un periodo comprendido entre el mes de marzo y agosto del año 2018 en una institución de alta complejidad.</p>
<b>Principales referentes teóricos y conceptuales</b>	<p>La resistencia bacteriana a causa del uso excesivo de antibióticos y al mal manejo de los vertimientos hospitalarios representan una grave problemática ambiental y en la salud pública, según el artículo “Frecuencia de aislamientos microbiológicos y perfil de resistencia bacteriana en 13 clínicas y hospitales de alta complejidad en Santiago de Cali – Colombia” en cabeza del doctor Ernesto Buitrago Martínez <i>“La resistencia bacteriana se consolida como una amenaza para los sistemas de salud en el manejo de las enfermedades infecciosas. La vigilancia epidemiológica de la resistencia bacteriana ha demostrado ser una estrategia efectiva para conocer los patrones de susceptibilidad a los antimicrobianos regionales para el desarrollo de medidas de contención y gestión del uso adecuado de antimicrobianos”</i> (Martinez, 2013).</p> <p>Dando como resultado que existe una alta resistencia en los microorganismos de la región de Santiago de Cali, en donde se realiza el estudio, además que esta resistencia puede alcanzar unos valores de hasta el 65% frente a antibióticos como el cefalosporinas de 3a generación y carbapenémicos en las zonas donde se ha visto expuesta el ambiente a cepas patógenas y altas cargas de estos antimicrobianos y en cepas extraídas del ambiente hospitalario.</p> <p>Un importante estudio en el tema de resistencia bacteriana a causa de los vertimientos hospitalarios en Colombia, es realizado por un numeroso grupo de investigadores a la cabeza de la Doctora Andrea Patricia Villalobos Rodríguez y ha sido presentado en diferentes artículos entre los de mayor importancia por la rigurosidad y seriedad de su metodología experimental “Tendencias de los fenotipos de resistencia bacteriana en hospitales públicos y privados de alta complejidad de Colombia”. Que emplea cepas bacterianas tomadas de pacientes infectados por un grupo de bacterias patógenas, para evaluar el grado de resistencia de estos microorganismos.</p> <p>Uno de los puntos más importantes de este estudio, dentro del análisis de los efectos generados por el empleo de los antibióticos inadecuadamente, es el uso de toda la sintomatología del paciente, la determinación de nuevos</p>

fenotipos generados por esas bacterias o alteraciones sobre los comunes y análisis realizados directamente a cepas activas en infecciones bacterianas en pacientes de los hospitales asociados. Según lo expuesto en su publicación “Las tendencias observadas muestran que la resistencia bacteriana a los antimicrobianos en el ámbito hospitalario es un fenómeno dinámico en Colombia y son evidencia de la emergencia de los fenotipos Efa-van y Kpn-imp en los hospitales” (Villalobos, 2011).

Algunos grupos de investigación en medicina, han venido trabajando especialmente en las especificaciones que presentan los microorganismos con altos márgenes de resistencia, así como de todas sus características principalmente de microorganismos cultivables por sus condiciones de trabajo y accesibilidad durante las pruebas con antibióticos.

Uno de estos estudios es presentado en el artículo “Características microbiológicas y patrones de resistencia en infecciones de prótesis articular en un hospital de referencia”, para este estudio se tomaron un gran número de pacientes que presentaban condiciones de infección intracelulares por bacterias sobre prótesis articulares y se incluyeron pacientes a los que se les retiró la prótesis articular por sospecha de aflojamiento aséptico y séptico. Se hizo búsqueda microbiológica y análisis de susceptibilidad. Dando como conclusión que; “Las características microbiológicas encontradas en infecciones de prótesis articular varía de acuerdo a los centros hospitalarios; en esta serie se encontró una proporción alta de *Staphylococcus coagulasa* negativos y *Enterococcus* spp., así como una alta resistencia bacteriana” [40]. Actualmente también se vienen trabajando estudios a escala global, que tratan de dar respuesta al rápido aumento de enfermedades de carácter infeccioso por microorganismos, y que se han centrado principalmente en el efecto de los antibióticos sobre la resistencia bacteriana, así como los protocolos de medicación que se están aplicando en los hospitales, presencia de microorganismos con características de resistencia bacteriana luego de tratamientos convencionales empleando antibióticos y el consumo de antibióticos en general (Ortega, 2015).

Uno de los estudios que posiblemente sean capaces de dar respuesta a estos predicamentos se trata de “Consumo de antibióticos y su posible relación con la resistencia bacteriana en la región sanitaria Costa de Ponent: análisis evolutivo durante los períodos inicial y final de la última década” que ha adelantado durante más de diez años estudios sobre el consumo de antibiótico y su relación en la resistencia bacteriana, este estudio se centró en la región sanitaria Costa de Ponent por tratarse de una zona que evidencia un alto grado de resistencia bacteriana, trabajando con una población que tuvo un alto consumo de antibióticos, así en el período 1993-1996 de 1.158.098 habitantes, y durante el período 2000-2002 de 1.188.007 habitantes, encontrando entre los resultados con respecto al consumo de antibióticos; “A pesar de que el CAB global fue elevado y acorde con la alta tasa de resistencias bacterianas de nuestra área, se observó una tendencia evolutiva satisfactoria. La disminución del consumo en el segundo período no fue significativa, pero sí



	se constató una modificación apropiada de su perfil: predominio de aminopenicilinas y reducción de macrólidos, cefalosporinas y fluoroquinolonas” (Lopez, 2004)
<b>Conclusiones</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● La legislación colombiana omite parámetros importantes para el análisis y monitoreo de las aguas residuales hospitalarias como la presencia, concentración y resistencia bacteriana de microorganismos patógenos de carácter nosocomial.</li> <li>● Para el manejo integral de las aguas residuales hospitalarias se debe de implementar sistemas de tratamiento especiales In situ y PTAR de manera que se evite una propagación de agentes infecciosos y contaminantes emergentes a través de la red de alcantarillado.</li> <li>● El abuso de medicamentos y la mala medicación que se genera en los centros hospitalarios de la ciudad de Ibagué genera una problemática que trasciende de los centros prestadores de servicios de salud a la ciudad a través del vertimiento de sus aguas.</li> <li>● Las aguas residuales del Hospital Federico Lleras Acosta presentaron niveles de biotoxicidad altas, con concentraciones microbianas promedio entre <math>1.97 \times 10^5</math> UFC/ml a <math>3.56 \times 10^5</math> UFC/ml en el caso de la E. Coli, y <math>2.12 \times 10^5</math> UFC/ml a <math>2.72 \times 10^5</math> UFC/ml en el caso de la P. Aeruginosa, además presenta cepas de E. Coli y P. Aeruginosa aisladas de la red de alcantarillado conectada al hospital y de la fuente hídrica donde se vierten finalmente estas aguas, con total resistencia bacteriana al Cefotaxime, Ciprofloxacina, Amoxicillin, Ceftriaxone, Trimethoprim, Penicilina, y Ácido Nalidixic.</li> <li>● El hospital Federico Lleras Acosta vierte sus aguas residuales directamente a la red de alcantarillado generando un foco de contaminación para la población y posteriormente al río Combeima que aguas abajo se encuentra limitando con múltiples comunidades, además de tratarse de la principal fuente de abastecimiento de agua de la ciudad de Ibagué, situación que agrava la problemática.</li> <li>● Los análisis de biotoxicidad en las aguas residuales hospitalarias analizan importantes parámetros y riesgos tanto para la población como para el medio ambiente que no se contemplan en la normatividad actual, así como en los estudios y evaluaciones de impactos ambientales en Colombia.</li> </ul>
<b>Recomendaciones</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Es indispensable implementar sistemas de tratamiento de aguas residuales integrales en los centros prestadores de servicios de salud que permitan controlar y reducir la problemática generada por el mal manejo de las mismas en la ciudad de Ibagué.</li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"><li>● La secretaria de salud y el ente de control ambiental del Tolima deben de tomar como un punto vital para el sostenimiento de la ciudad el manejo integral de los vertimientos de aguas residuales tanto domésticas como hospitalarias en el municipio.</li><li>● Incluir parámetros para el estudio y monitoreo de las aguas residuales hospitalarias como la presencia de los agentes microbianos de mayor relevancia para el centro de salud.</li><li>● Incluir parámetros para el estudio y monitoreo de las aguas residuales hospitalarias como concentración de fármacos, medicamentos, bactericidas y desinfectantes empleados en estos centros.</li><li>● Incluir parámetros para el estudio y monitoreo de las aguas residuales hospitalarias como la resistencia bacteriana de manera que sea más fácil mitigar el riesgo biológico que esta representa a la población.</li></ul>
--	--

### **DEDICATORIA**

*Doy gracias a Dios por permitirme superarme, y haberme dado la posibilidad de terminar mis estudios de pregrado.*

*A mí amada familia por su amor y apoyo incondicional que me acompañaron a cada paso*

*Con todo mi cariño y amor a mi mamá Blanca Liz mi adoración, por su lucha y verreaquera por sacarnos adelante, por su entrega y amor que han hecho ser mejor persona, por su ejemplo y sus sabios consejos que siempre me han guiado por el mejor camino.*

*A mis hermanos Julio y Cristian por estar siempre presentes, por sus consejos, ánimos y respaldo que durante estos años han estado a mi lado apoyándome y permitiendo que este sueño fuera una realidad.*

*A mi hija Alejandra por ser mi mayor inspiración y mi motor para salir adelante.*

## **AGRADECIMIENTOS**

*A los profesores de la Universidad Nacional Abierta y a Distancia de Ibagué que contribuyeron con mi desarrollo y formación profesional, en especial a los profesores Carlos Guillermo Mesa y Orlando Toro por estar siempre dispuestos a ayudarme apoyarme durante este tiempo.*

*A los profesores del Tecnoparque 7 Agroecológico Yamboro que me permitieron dar mis primeros pasos en la temática del agua, en especial al ingeniero Jairo Rafael Oñate que siempre me motivó a esforzarme más a ser creativo e ingenioso como profesional .*

*Al profesor Gustavo Buitrago del Instituto de Biotecnología de la Universidad Nacional de Colombia de Bogotá, que me ayudó a estructurar las bases de mi proyecto y me inspiró con su ejemplo a ser mejor investigador.*

*A la doctora María Mercedes Zambrano del departamento de genética molecular de CorpoGen quien a través de sus clases me entusiasmó para dirigir mi trabajo de investigación sobre Biotecnología Ambiental.*

*A la Asociación Colombiana para el Avance de la Ciencia por su beca en Biotecnología con la que pude aprender y experimentar con técnicas de vanguardia.*

*A mis asesores de tesis Bilma Florido y Diego Alejandro Pérez que recorrieron conmigo este camino.*

*A mi familia que siempre me han apoyado en cada paso y en el desarrollo de este trabajo*

## RESUMEN

**TÍTULO:** DETERMINACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL GENERADO POR LAS AGUAS RESIDUALES DEL HOSPITAL FEDERICO LLERAS ACOSTA SOBRE LOS ECOSISTEMAS ACUÁTICOS NATURALES Y LA SALUD PÚBLICA EN LA CIUDAD DE IBAGUÉ\*.

**AUTOR:** Jorge Alejandro Guarnizo Liz; Carolina Vittorino Ocampo\*\*

**PALABRAS CLAVE:** Biotoxicidad, contaminación, infección, nosocomial, resistencia, riesgo, vertimiento.

**DESCRIPCIÓN:** Las aguas residuales generadas en los centros hospitalarios contienen diferentes sustancias tóxicas y microorganismos patógenos; estos vertimiento son categorizados en Colombia según la resolución de 0631 de 2015 como aguas residuales domésticas, razón por la que no realiza monitoreo y control adecuado sobre esta carga contaminante. En Ibagué, no se realiza un adecuado saneamiento de las aguas residuales, vertiendo más del 80% de estas sobre las fuentes hídricas superficiales. El presente trabajo de investigación tiene como objetivo determinar la presencia y concentración de microorganismos patógenos, la tasa de resistencia bacteriana ante un grupo de antibióticos, y el nivel de biotoxicidad que poseen las aguas residuales del Hospital Federico Lleras Acosta, así como su impacto en la salud pública y las fuentes hídricas donde son vertidas (río Combeima). Para identificar y caracterizar los microorganismos patógenos se utilizó el método de frecuencia de aislamiento microbiológico en medios selectivos, pruebas bioquímicas, fluorescencia y contraste con cepas de control, se evaluó la resistencia bacteriana por el método de Kirby Bauer, revelando altos niveles de toxicidad biológica, concentraciones microbianas promedio entre  $1.97 \times 10^5$  UFC/ml a  $3.56 \times 10^5$  UFC/ml en el caso de la E.Coli, y  $2.12 \times 10^5$  UFC/ml a  $2.72 \times 10^5$  UFC/ml en el caso de la P. Aeruginosa, cepas de E.Coli y P. Aeruginosa con total resistencia bacteriana al Cefotaxime, Ciprofloxacina, Amoxicilina, Ceftriaxona, Trimetoprim, Penicilina, y Ácido Nalidixico, perjudicando significativamente el ecosistema acuático del río Combeima, alterando la dinámica poblacional, la fisiología de las poblaciones microbianas naturales y la flora y la fauna que hace parte de este entorno.

---

\* Trabajo de grado

\*\*Escuela De Ciencias Agrícolas, Pecuarias Y Del Medio Ambiente – ECAPMA. Ingeniería Ambiental. Directora Bilma Adela Florido Cuellar, Bióloga, M Em. Codirector Diego Alejandro Pérez Giraldo, Ingeniero Ambiental, M Ta

**ABSTRACT**

**TITLE:** DETERMINATION OF THE ENVIRONMENTAL IMPACT GENERATED BY THE WASTEWATER OF THE FEDERICO LLERAS ACOSTA HOSPITAL ON THE NATURAL AQUATIC ECOSYSTEMS AND THE PUBLIC HEALTH IN THE CITY OF IBAGUÉ \*.

**AUTHOR:** Jorge Alejandro Guarnizo Liz y Carolina Vittorino Ocampo\*\*

**KEY WORDS:** Bacterial resistance, level of toxicity, hospital wastewater, frequency of isolations, nosocomial disease.

**DESCRIPTION:** The wastewater generated in hospitals contains different toxic substances and pathogenic microorganisms; these dumping are categorized in Colombia according to the resolution of 0631 of 2015 as domestic wastewater, which is why it does not carry out adequate monitoring and control over this polluting load. In Ibagué, adequate sanitation of wastewater is not carried out, pouring more than 80% of these over surface water sources. The purpose of this research work is to determine the presence and concentration of pathogenic microorganisms, the rate of bacterial resistance to a group of antibiotics, and the level of biotoxicity possessed by the wastewater of Federico Lleras Acosta Hospital, as well as its impact on public health and water sources where they are discharged (Combeima River). To identify and characterize the pathogenic microorganisms, the method of frequency of microbiological isolation in selective media, biochemical tests, fluorescence and contrast with control strains was used, the bacterial resistance was evaluated by the method of Kirby Bauer, revealing high levels of biological toxicity, Average microbial concentrations between  $1.97 \times 10^5$  UFC / ml at  $3.56 \times 10^5$  UFC / ml in the case of E.Coli, and  $2.12 \times 10^5$  UFC / ml at  $2.72 \times 10^5$  UFC / ml in the case of P. Aeruginosa, strains of E.Coli and P. Aeruginosa with total bacterial resistance to Cefotaxime, Ciprofloxacin, Amoxicillin, Ceftriaxone, Trimethoprim, Penicillin, and Nalidixic Acid, significantly damaging the aquatic ecosystem of the Combeima River, altering population dynamics, the physiology of natural microbial populations and the flora and fauna that is part of this environment

---

**\*Degree work**

**\*\*** School of Agricultural, Livestock and Environmental Sciences - ECAPMA. Environmental engineering. Director Bilma Adela Florido Cuellar, Biologist, M Em. Co-director Diego Alejandro Pérez Giraldo, Environmental Engineer, M Ta

## Tabla de Contenidos

	<b>Pág.</b>
Capítulo 1. Introducción e Identificación del problema	
1. Introducción	1
1.1. Planteamiento del problema	2
1.1.1. Descripción de la situación actual	2
1.1.2. Uso de fármacos en centros hospitalarios	4
1.1.3. Situación actual del Río Combeima	5
1.1.4. Hospital Federico Lleras Acosta	5
1.1.5. Normatividad	7
1.1.6. Entidades y Organismos de Control de los sistemas de Alcantarillado en la ciudad de Ibagué	13
1.2. Identificación del problema	14
1.2.1. Lluvia de ideas	14
1.2.2. Agrupación de ideas similares	16
1.2.3. Matriz de Vester	18
1.2.4. Clasificación de problemas	19
1.3. Justificación	20
1.4. Definición de objetivos	22
1.5. Objetivos	23
1.5.1. Objetivo general	23
1.5.2. Objetivos específicos	23
Capítulo 2. Fundamentación Teórica	
2. Fundamentación teórica	24
2.1. Aguas residuales hospitalarias (ARH)	24
2.2. Tratamiento de las aguas residuales hospitalarias	25
2.3. Red de alcantarillado	27
2.4. Plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR).	27
2.5. Contaminantes emergentes	28
2.6. Antibióticos y su clasificación	29

2.6.1. Antibióticos	29
2.6.2. Clasificación de los antibióticos	30
2.6.3. Antibióticos seleccionados	35
2.7. Resistencia bacteriana	37
2.8. Microorganismos	39
2.8.1. E – Coli	39
2.8.2. Pseudomona Aeruginosa	41
2.8.3. Efectos toxicológicos y patogenicidad de P. Aeruginosa y E-Coli	43
2.9. Toxicidad	44
2.10. Aislamiento bacteriano	45
2.10.1. Medios de cultivo	45
2.10.2. Agar Mueller Hinton	45
2.10.3. Agar McConkey	46
2.10.4. Técnicas de aislamiento	48
2.11. Método de Kirby-Bauer	48
2.12. Antibiograma	51
2.13. Principales referentes teóricos	52
 Capítulo 3. Metodología	
3. Metodología	55
3.1. Identificación de la red de alcantarillado interna, cajillas de inspección, pozos y drenajes en el Hospital Federico Lleras Acosta	55
3.2. Identificación de la red de alcantarillado conectada al hospital Federico Lleras Acosta, hasta su disposición final en el Río Combeima.	59
3.2.1. Distribución de la red	62
3.3. Selección de puntos de muestreo	63
3.3.1. Criterios de selección	63
3.4. Selección de medicamentos (antibióticos)	67
3.4.1. Criterios de selección	67
3.4.2. Medicamentos seleccionados	67



3.5. Frecuencia de aislamiento microbiológico	68
3.6. Métodos de caracterización microbiana sobre medios selectivos	68
3.7. Normalización técnica de Kirby-Bauer	69
3.7.1. Discos para antibiograma	69
3.7.2. Control de calidad	69
3.7.3. Antibióticos recomendados para un antibiograma de disco por el Instituto Nacional de Salud	70
3.8. Análisis de resistencia bacteriana	71
3.9. Biotoxicidad	72
3.10. Revisión por Comité de ética	72
3.11. Revisión por Comité de docencia e innovación	72
Capítulo 4: Resultados	
4. Resultados	73
4.1. Concentración microbiana	73
4.1.1. Concentración microbiana monitoreo 1	73
4.1.2. Concentración microbiana monitoreo 2	75
4.1.3. Concentración microbiana promedio	77
4.2. Resistencia bacteriana	78
4.2.1. Resultados resistencia bacteriana monitoreo 1	78
4.2.1.1. Resultados resistencia bacteriana E-Coli monitoreo 1	80
4.2.1.2. Resultados resistencia bacteriana P Aeruginosa monitoreo 1	85
4.2.2. Resultados resistencia bacteriana monitoreo 2	88
4.2.2.1. Resultados resistencia bacteriana E-Coli monitoreo 2	89
4.2.2.2. Resultados resistencia bacteriana P Aeruginosa monitoreo 2	94
4.2.3. Sensibilidad bacteriana punto de muestreo 1	97
4.2.4. Sensibilidad bacteriana punto de muestreo 2	99
4.2.5. Sensibilidad bacteriana punto de muestreo 3	101
4.3. Toxicidad generada por las aguas residuales hospitalarias	103
4.4. Impacto sobre los ecosistemas acuáticos naturales	104

Capítulo 5. Discusión de resultados	105
Capítulo 6. Conclusiones	108
Capítulo 7. Recomendaciones	109
Capítulo 8. Bibliografía	110

## Lista de Tablas

- Tabla 1.** Componentes de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales en Ibagué
- Tabla 2.** Parámetros Establecidos para Vertimientos de Aguas Residuales Domésticas (ARD) (Resolución No. 0631 del 17 de marzo 2015.)
- Tabla 3.** Parámetros Establecidos para Vertimientos de Aguas Residuales Domésticas (ARD) y no Domésticas ARnD
- Tabla 4.** Relación matriz de Vester
- Tabla 5.** Clases de Contaminantes Emergentes
- Tabla 6.** Familia de Penicilinas
- Tabla 7.** Familia de Cefalosporinas
- Tabla 8.** Familia de Aminoglucósidos
- Tabla 9.** Familia de Quinolonas
- Tabla 10.** Clasificación de los Antibióticos Seleccionados
- Tabla 11.** Porcentaje de Resistencia a Antibióticos\* Según Tipo de Servicio por Año en E. Coli. (Renova 2010-2011)
- Tabla 12.** Porcentaje de Resistencia a Antibióticos\* según Tipo de Servicio por Año en Pseudomonas Aeruginosa. (Renova 2010-2012)
- Tabla 13.** Características de los grupos de E Coli causantes de diarrea
- Tabla 14.** Toxinas generadas por E-Coli y P. Aeruginosa
- Tabla 15.** Composición por litro de agua destilada de Agar Müller Hinton
- Tabla 16.** Composición del Agar MacConkey por litro de agua destilada
- Tabla 17.** Sensibilidad a Antimicrobianos
- Tabla 18.** Distribución Red de Alcantarillado Conectada al Hospital
- Tabla 19.** Ubicación Geográfica Puntos de Muestreo
- Tabla 20.** Sensibilidad en Cepas Control, Zona de Inhibición en mm.
- Tabla 21.** Guía para la Selección de Antimicrobianos
- Tabla 21.** Sensibilidad Antibiogramas de Disco Interpretación de Resultados
- Tabla 22. Concentración Microbiana: Monitoreo 1
- Tabla 23.** Concentración Media de E.Coli Monitoreo 1
- Tabla 24.** Concentración Media P. Aeruginosa, Monitoreo 1
- Tabla 25.** Concentración Microbiana Monitoreo 1
- Tabla 26.** Concentración Media de E.Coli, Monitoreo 2
- Tabla 27.** Concentración Promedio de P. Aeruginosa, Monitoreo 2
- Tabla 28.** Concentración Promedio E.Coli
- Tabla 29.** Concentración Promedio P. Aeruginosa
- Tabla 30.** Antibióticos Seleccionados
- Tabla 31.** Puntos de Muestreo
- Tabla 32.** Halo de Inhibición de Cepas de E.Coli aisladas en el Monitoreo 1.
- Tabla 33.** Sensibilidad de Cepas de E. Coli Aisladas del Punto de Muestreo 1

- Tabla 34.** Sensibilidad de cCepas de E. Coli Aisladas del Punto de Muestreo 2.
- Tabla 35.** Sensibilidad en Cepas de E. Coli Aisladas del Punto de Muestreo 3.
- Tabla 36.** Halo de Inhibición de Cepas de P. Aeruginosa Aisladas en el monitoreo 1.
- Tabla 37.** Sensibilidad de Cepas de P. Aeruginosa Aisladas del Punto de Muestreo 1
- Tabla 38.** Sensibilidad en Cepas de P. Aeruginosa Aisladas del Punto de Muestreo 2.
- Tabla 39.** Sensibilidad en Cepas de P. Aeruginosa Aisladas del Punto de Muestreo 3.
- Tabla 40.** Halo de Inhibición de E.Coli Monitoreo 2.
- Tabla 41.** Sensibilidad en Cepas de E. Coli Aisladas del Punto de Muestreo 1.
- Tabla 42.** Sensibilidad en Cepas de E. Coli Aisladas del Punto de Muestreo 2
- Tabla 43.** Sensibilidad en Cepas de E. Coli Aisladas del Punto de Muestreo 3
- Tabla 44.** Halo de Inhibición de P. Aeruginosa Monitoreo 2.
- Tabla 45.** Sensibilidad en cepas de P. Aeruginosa Aisladas del Punto de Muestreo 1.
- Tabla 46.** Sensibilidad en Cepas de P. Aeruginosa Aisladas del Punto de Muestreo 2.
- Tabla 47.** Sensibilidad en Cepas de P. Aeruginosa Aisladas del Punto de Muestreo 3.

## Listado de Figuras

- Figura 1.** Plano localización plantas de Aguas Residuales en Ibagué
- Figura 2.** Organigrama Hospital federico Lleras Acosta
- Figura 3.** Diagrama de redes
- Figura 4.** Matriz Vester
- Figura 5.** Árbol del problema
- Figura 6.** Árbol de objetivos
- Figura 7** Proceso de Tratamiento de Aguas Residuales con Filtrado Mejorado
- Figura 8.** Placa de agar MacConkey con crecimiento característico de *Escherichia coli* (bacterias gramnegativas, lactosa +)
- Figura 9.** Red de alcantarillado Hospital Federico Lleras Acosta.
- Figura 10.** Tramo 1 red de alcantarillado conectado al Hospital Federico Lleras Acosta.
- Figura 11.** Tramo 2 red de alcantarillado conectado al Hospital Federico Lleras Acosta.
- Figura 12.** Tramo 3 red de alcantarillado conectado al Hospital Federico Lleras Acosta.
- Figura 13.** Tramo 4 red de alcantarillado conectado al Hospital Federico Lleras Acosta.
- Figura 14.** Tramo 5 red de alcantarillado conectado al Hospital Federico Lleras Acosta.
- Figura 15.** Punto de muestreo 1.
- Figura 16.** Punto de muestreo 2.
- Figura 17.** Cajilla de inspección externa número 12
- Figura 18.** Punto de muestreo 3.
- Figura 19.** Punto de muestreo 3.
- Figura 20.** Sensibilidad bacteriana; monitoreo 1, punto de muestreo 1.
- Figura 21.** Sensibilidad bacteriana; monitoreo 2, punto de muestreo 1.
- Figura 22.** Sensibilidad bacteriana en el punto de muestreo 1.
- Figura 23.** Sensibilidad bacteriana; monitoreo 1, punto de muestreo 2.
- Figura 24.** Sensibilidad bacteriana; monitoreo 2, punto de muestreo 2.
- Figura 25.** Sensibilidad bacteriana en el punto de muestreo 2.
- Figura 26.** Sensibilidad bacteriana; monitoreo 1, punto de muestreo 3.
- Figura 27.** Sensibilidad bacteriana; monitoreo 2, punto de muestreo 3.
- Figura 28.** Sensibilidad bacteriana del punto de muestreo 3.



## Capítulo 1. Introducción.

La ciudad de Ibagué cuenta con cinco sistemas hídricos principales: los ríos *Combeima*, *Chipalo*, *Coello*, *Alvarado* y *Opía*. Los ríos Alvarado y Chipalo drenan sus aguas al río Totare, el cual es afluente del río Magdalena; el río Combeima, al río Coello y el río Opía desemboca directamente en el río Magdalena. Para la ciudad de Ibagué la cuenca más importante es la del río Combeima la cual abastece el 80% de la demanda de agua para consumo humano y otros usos, cuenta también con un gran potencial de aguas subterráneas explotados por pozos profundos utilizadas para consumo humano y riego. Estos ríos sirven de receptores principales de las aguas residuales domésticas e industriales de toda la población urbana y rural del municipio (Vanegas, 2002)

El estudio de Biodiversidad Faunística de la Cuenca Mayor del río Coello, realizado por Cortolima y la Universidad del Tolima 2002, determina que la cuenca del Combeima es la más biodiversa. Tiene 75 especies de aves, 24 reptiles, 35 anfibios y la mayor abundancia de murciélagos. (Cortolima, 2002)

En la parte alta de la cuenca del río Combeima denominado Cañón del Combeima uno de los problemas ambientales es la contaminación por el vertimiento de aguas servidas originadas en los diferentes asentamientos localizados a lo largo de la cuenca, la pulpa de café y desechos industriales y agrícolas, sin embargo actualmente se están implementando diferentes programas para su conservación y resguardo por parte de la empresa ibaguereña de acueducto y alcantarillado en asocio con la dirección municipal, esta fuente hídrica es la de mayor importancia para la ciudad de Ibagué por tratarse de su principal fuente de abastecimiento de agua, este recurso se caracteriza por presentar una calidad y purezas muy altas, con algunos problemas para su potabilización durante los periodos de lluvias, en la parte media y baja del río Combeima este atraviesa la ciudad, en donde se convierte en uno de los principales puntos para el vertimiento de las aguas residuales del municipio, alcanzando valores muy altos de contaminación y degradación ambiental de la cuenca hidrográfica. El Municipio de Ibagué tiene un sistema antiguo de alcantarillado combinado (70%). y el caudal en los colectores es regulado con aliviaderos laterales que devuelven las aguas mezcladas en dilución 1:5 a los ríos directamente. La cobertura en alcantarillado es del 84%. El río Combeima recibe las aguas residuales de la parte sur, centro y occidente de la ciudad (35% de la población), La producción total estimada de aguas residuales es 1.392 m<sup>3</sup>/s y se ha proyectado 2.033 m<sup>3</sup>/s para el año 2020. No existe remoción de patógenos ya que no existe tratamiento de aguas, lo que genera problemas de salud e impactos sobre los ecosistemas. Se vierten cerca de 130.285 m<sup>3</sup>/día de aguas residuales domésticas, a través de las cuales se arroja una carga contaminante de 984 t/mes de DBO<sub>5</sub>, 1.256 t/mes de SST, y 1.378 t/mes de DQO. De esa carga vertida, cerca de 50% es aportada por el municipio de Ibagué como mayor núcleo urbano consolidado del departamento (Vanegas, 2002)

La principal planta de tratamiento de agua residuales de la ciudad es la PTARD El Tejar, inició su construcción en abril de 1997, es un componente esencial para la descontaminación de las fuentes hídricas de la ciudad de Ibagué, en este caso el río Combeima, la ejecución está enmarcada dentro del plan de saneamiento básico adelantado por la Empresa Ibaguereña de Acueducto y alcantarillado S.A. E.S.P OFICIAL, la PTARD El Tejar recibe las aguas residuales domésticas del sector sur-occidental de la ciudad transportadas del centro de la Ciudad y de los barrios del sur por el Interceptor Combeima, las descontamina y las devuelve al río Combeima en condiciones que le permiten al río asimilar la carga contaminante (García & Lozano, 2018).

Las entidades hospitalarias generan diferentes tipos de residuos líquidos clasificados según la dependencia que lo genera, los elementos que contienen y el riesgo que representa para la salud, los cuales están sujetos a diferentes normas para su adecuado manejo, tanto para su tratamiento, monitoreo y disposición, sin embargo las descargas generadas en otras áreas como baterías sanitarias, lavados, laboratorios, cocinas, entre otras, son consideradas según la resolución 0631 que rige el manejo de los vertimientos y su clasificación como aguas residuales domésticas, por esta razón no se tiene en cuenta muchos de los elementos que poseen estas aguas como contaminantes emergentes (fármacos, medicamentos, analgésicos, desinfectantes, entre otros) y el riesgo biológico que representan los microorganismos.

Las aguas residuales hospitalarias contienen sustancias contaminantes que generan un impacto ambiental considerable. En España la valoración del impacto ambiental generado por los fármacos en aguas residuales arroja resultados en escala de 0 – 100 entre 16,3 y 25,5 determinada por el método de tratamiento borroso, esto indica que la magnitud del impacto ambiental sobre el ecosistema se caracteriza como “bajo” y “considerable” con tendencia hacia la zona “considerable” lo cual representa una gran preocupación ambiental (Gil, 2018).

## **1.1. Planteamiento del Problema**

### **1.1.1. Descripción de la situación actual.**

#### **Situación actual de cobertura en alcantarillado y vertimientos**

La ciudad de Ibagué posee una cobertura de alcantarillado del 84%, el sistema es antiguo, se inició a principios de la década de los 90 con la construcción y operación del Plan de Saneamiento Hídrico, cuyo objetivo principal se basa en la recuperación de los diferentes sistemas hídricos retirando la carga contaminante que generan los vertimientos domésticos e industriales eliminando así los principales vectores de enfermedades infecto-contagiosas y recuperar el medio ambiente de la zona urbana (Vanegas, 2002).



Parte de las aguas se vierten directamente a las plantas de tratamiento de aguas residuales, localizadas estratégicamente en los sitios establecidos, pero la mayor parte se descarga directamente a los ríos principales. Sobre el río Combeima se encuentra la planta de tratamiento encargada de realizar el saneamiento de sus aguas, para los ríos Chipalo y Alvarado sólo se cuenta con dos aliviaderos que realizan esta labor. En el municipio operan 3 plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR): El Tejar, Comfenalco, y Las Américas (Peláez & Santamaría, 2010)

Entre los ríos que conforman la hidrografía de la ciudad de Ibagué, el Combeima y el Chipalo son los que reciben la mayor carga de aguas residuales de la ciudad, el río Combeima recibe las aguas residuales del 35% de la población, proveniente de la parte occidente, centro y sur de la ciudad, así como las aguas residuales del sector industrial como CARLIMA, FRUVER, FATEXTOL, entre otras. El río Chipalo recibe las aguas residuales domésticas de la parte norte y oriental de la ciudad (50% de la población) y aguas residuales de industrias como PROGALL entre otras. (Vanegas Gálvez, 2002)

<b>PTAR</b>	<b>Capacidad</b>	<b>Población Atendida</b>	<b>Cobertura</b>
El Tejar	105 L/s	85.000 hab- Proyección 110 Hab.	Zona Centro y sur de la Ciudad de Ibagué.
Comfenalco	28 L/s	10.000 hab.	Ciudadela Comfenalco
La Américas	30 L/s	15.000 hab.	Las América, Rincón de las América y los Tunjos.

*Tabla 1.* Componentes de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales en Ibagué  
Fuente IBAL, 2018



 [EL TEJAR](#)

 [COMFENALCO](#)

 [LAS AMERICAS](#)

Figura 1. Plano localización plantas de Aguas Residuales en Ibagué

Fuente: IBAL, 2018. *Aguas residuales*. Alcaldía municipal de Ibagué. Recuperado de: <https://www.ibal.gov.co/aguas-residuales>

### 1.1.2 Uso de fármacos en centros hospitalarios

La administración de medicamentos es una de las actividades más importantes en los centros prestadores de servicios de salud, gracias a estos se pueden tratar la mayoría de las enfermedades humanas, en general los sistemas actuales que se implementan en Colombia para su manejo y suministro presentan fallas como los tratamientos inadecuados, generando efectos en la salud de los usuarios y muchas veces aumentando la complejidad de las enfermedades como las infecciones nosocomiales que generan mayor número de muertes al año que el Cáncer, el virus de la inmunodeficiencia humana (VIH), o los accidentes de tránsito en el mundo; debido a los pocos recursos y el corto tiempo que se dispone para la atención de los usuarios, muchas veces los médicos no cuentan con la información suficiente o los medicamentos necesarios para poder enfrentar correctamente estas patologías lo que contradictoriamente aumenta el uso de los medicamentos y por ende las tasas de resistencia bacteriana. En Colombia los betalactámicos, cefalosporinas y carbapenémicos sobrepasa el percentil 90 de dosis diaria definida (sistema de clasificación anatómica,

terapéutica y química, dosis diaria definida, Organización Mundial de la Salud) en comparación con Estados Unidos [5]

### **1.1.3 Situación actual del Río Combeima**

La cuenca del río Combeima hace parte de la cuenca mayor del río Coello, posee una extensión de 27.421 ha, tiene su nacimiento en el nevado del Tolima y desemboca en el río Coello, a una altura de 654 m.s.n.m, luego de un recorrido de 57.7 km. Esta cuenca hidrográfica es una de las más importantes del departamento ya que abastece de agua aproximadamente al 80% de la población del municipio de Ibagué (aproximadamente 420.000 personas), así como actividades agrícolas e industriales (Vera, 2010). Posee un caudal promedio de 4.5 m<sup>3</sup> /s y una pendiente promedio de 7,8%. A su cauce desembocan aguas de 12 afluentes.

El río Combeima recibe las aguas residuales correspondientes al 35% de la población ubicada en el centro, sur y occidente de la ciudad lo que genera uno de los principales problemas ambientales de la cuenca. Los vertimientos de aguas residuales domésticas aportan aproximadamente el 80% de la contaminación del río Combeima, y el 10% por vertimientos industriales, que generan la mayor cantidad de problemas de salubridad (Ospina, 2015).

Los altos volúmenes de contaminación y los cambios en los niveles del caudal del río Combeima obligan a tomar acciones concretas para salvar este recurso natural. La contaminación del río atenta contra la supervivencia de ecosistemas que en ellos habitan, además de ser un peligro para la salud humana, ya sea por la ingesta directa de agua contaminada o por el consumo de animales contaminados.

### **1.1.4 Hospital Federico Lleras Acosta**

El hospital Federico Lleras Acosta es una empresa social del estado, centro de referencia de la red pública del departamento del Tolima, que presta servicios de salud de mediana y alta complejidad, fue inaugurado el 13 de noviembre de 1973 por el presidente Dr. Misael Pastrana Borrero y el expresidente Dr. Carlos Lleras Restrepo. Presta los servicios de salud en el área de su jurisdicción correspondientes al tercer nivel de atención al igual que a los afiliados y beneficiarios del sistema de seguridad integral dentro de los parámetros y principios del sistema. Presta, excepcionalmente, servicios correspondientes a niveles superiores de atención en salud, en desarrollo del principio de complementariedad de que trata el artículo 3 literal e) de la Ley 10 de 1990 y el artículo 3 numeral 9 del decreto Ley 1298 de 1994, siempre y cuando su capacidad científica, tecnológica, financiera y administrativa se lo permita, y garantice debidamente la prestación de los servicios y las acciones

de salud, previa aprobación del Ministerio de salud, o la entidad en la cual éste delegue; sin menoscabo de la red de servicios de salud en los municipios del departamento o de determinada región. Presta transitoriamente y hasta tanto el municipio asuma sus competencias y servicios correspondientes al primer nivel de atención en desarrollo del principio de subsidiariedad de que trata el artículo 3 numeral 8 del decreto Ley 1298 de 1994, y de acuerdo a la normatividad vigente, cuando las entidades responsables de estos últimos no estén en capacidad de hacerlo por causas justificadas, debidamente calificadas por el Ministerio de Salud, o la entidad en la cual éste delegue la calificación sin menoscabo de la red de servicio de salud en los municipios del Departamento o determinada región. Ejecutar y supervisar la prestación del servicio de salud integral a las personas en su fase de diagnóstico, tratamiento y rehabilitación. (Ministerio de salud y protección social. decreto 1298-1994). (Hospital Federico Lleras Acosta, funciones y deberes)

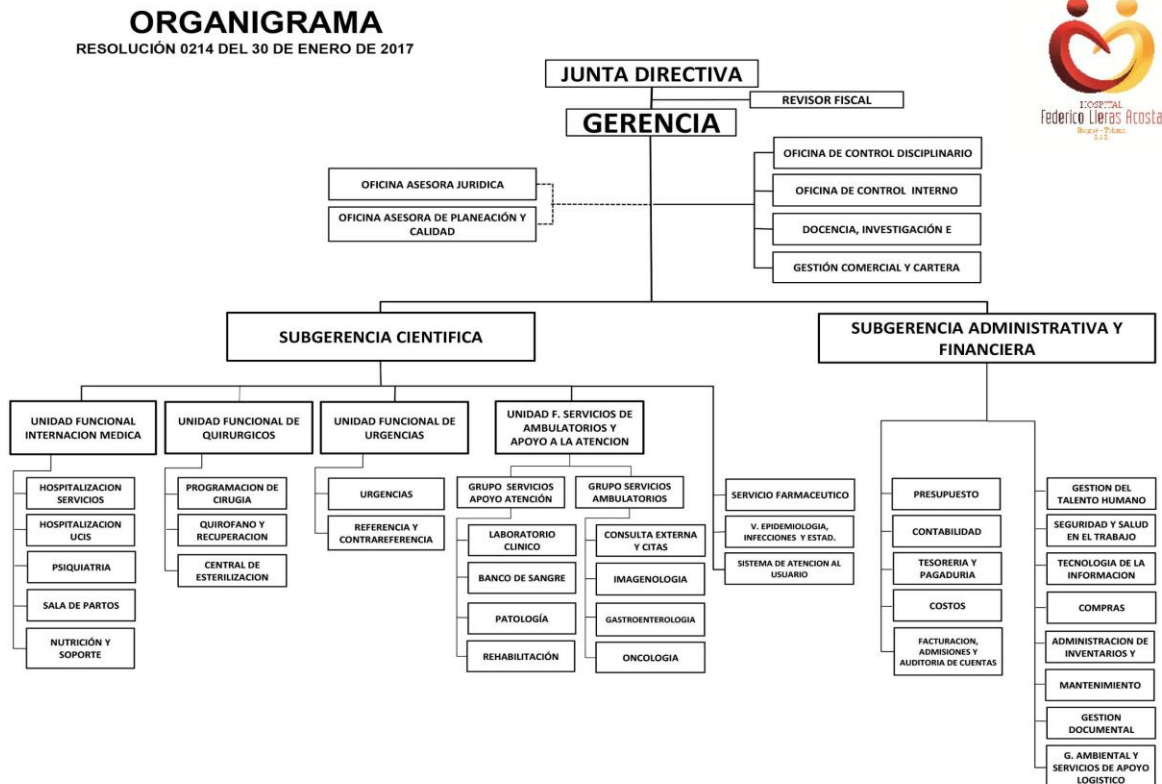


Figura 2. Organigrama Hospital Federico Lleras Acosta

Fuente: <http://www.hfleras.gov.co/institucional/organigrama>

### 1.1.5 Normatividad

Estudio normativo para el tratamiento de las Aguas Residuales Domésticas. Decreto 3930 de 2010 y Resolución 631 de 2015 – Normatividad Colombiana

#### **Normativa nacional**

El Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, actualmente Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, profirió el decreto 3930 el 25 de octubre del año 2010, el cual reglamenta parcialmente el título I de la ley 9 de 1979, así como el capítulo II del título VI-parte III- libro II del decreto ley 2811 de 1974 en cuanto al uso del agua y residuos líquidos. Además este decreto establece las disposiciones que se relacionan con los usos del recurso hídrico, el ordenamiento del recurso hídrico y los vertimientos a cuerpos de agua, suelo y alcantarillado.

Este decreto deroga a su vez el decreto 1594 del 26 de junio de 1984, dejando vigente solamente los artículos 20 y 21 de este último, los cuales identifican las sustancias y usuarios de interés sanitario.

El artículo 28 del decreto 3930 de 2010 (modificado por el artículo 1 del decreto nacional 4728 de 2010), dicta lo siguiente:

El Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial fijará los parámetros y los límites máximos permisibles de los vertimientos a las aguas superficiales, marinas, a los sistemas de alcantarillado público y al suelo. El Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial dentro de los dos (2) meses, contados a partir de la fecha de publicación de este decreto, expedirá las normas de vertimientos puntuales a aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público. Igualmente, el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial deberá establecer las normas de vertimientos al suelo y aguas marinas, dentro de los veinticuatro (24) meses, contados a partir de la fecha de publicación de este decreto;

Con base en esto el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible profiere la resolución 631 del 17 de marzo de 2015, por medio de la cual se establecen los parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de agua superficiales y a los sistemas de alcantarillado público. Esta resolución cambia el concepto de porcentajes de remoción de carga en kilogramos por día, a valores de concentración en miligramos por litro.

Sumado a esto se discriminan las aguas residuales domésticas y las no domésticas, y se contemplan 56 parámetros para ocho (8) sectores y 73 actividades productivas, argumentando que se tendrá la misma exigencia para casa sector productivo, logrando una mayor equidad y competitividad.

De acuerdo a la *Resolución 0631 de 2015*,

**Capítulo I, Artículo 2o, define:**

**Las Aguas Residuales Domésticas (ARD):** Son las procedentes de los hogares, así como las de las instalaciones en las cuales se desarrollan actividades industriales, comerciales o de servicios y que correspondan a:

1. Descargas de los retretes y servicios sanitarios.
2. Descargas de los sistemas de aseo personal (duchas y lavamanos), de las áreas de cocinas y cocinetas, de las pocetas de lavado de elementos de aseo y lavado de paredes y pisos y del lavado de ropa (No se incluyen las de los servicios de lavandería industrial).

**Capítulo II, Valores Límites Máximos Permisibles Microbiológicos en Vertimientos Puntuales de Aguas Residuales (ARD y ARnD) a Cuerpos de Aguas Superficiales.**

**Artículo 6o. PARÁMETROS MICROBIOLÓGICOS DE ANÁLISIS Y REPORTE EN LOS VERTIMIENTOS PUNTUALES DE AGUAS RESIDUALES (ARD Y ARND) A CUERPOS DE AGUAS SUPERFICIALES.** Se realizará el análisis y reporte de los valores de la concentración en Número Más Probable (NMP/100mL) de los Coliformes Termotolerantes presentes en los vertimientos puntuales de aguas residuales (ARD y ARnD) mediante las cuales se gestionen excretas humanas y/o de animales a cuerpos de aguas superficiales, cuando la carga másica en las aguas residuales antes del sistema de tratamiento es mayor a 125,00 Kg/día de DBO5.

**Capítulo V. Parámetros Fisicoquímicos y sus Valores Límites Máximos Permisibles en los Vertimientos Puntuales de Aguas Residuales Domésticas, (ARD) y de las Aguas Residuales (ARD – ARnD) de los Prestadores del Servicio Público de Alcantarillado a Cuerpos de Aguas Superficiales**

**Artículo 8o.** Parámetros Fisicoquímicos y sus Valores Límites Máximos Permisibles en los Vertimientos Puntuales de Aguas Residuales Domésticas, (ARD) de Las Actividades Industriales, Comerciales o de Servicios; y de las Aguas Residuales (ARD y ARnD) de los Prestadores del Servicio Público de Alcantarillado a Cuerpos de Aguas Superficiales.

Los parámetros fisicoquímicos y sus valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales de Aguas Residuales Domésticas, (ARD) y de las Aguas Residuales no Domésticas (ARnD), de los prestadores del servicio público de alcantarillado a cumplir, serán los siguientes:

PARÁMETRO	UNIDADES	AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS (ARD) DE LAS SOLUCIONES INDIVIDUALES DE SANEAMIENTO DE VIVIENDAS UNIFAMILIARES O BIFAMILIARES	AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS (ARD), Y DE LAS AGUAS RESIDUALES (ARD – ARnD) DE LOS PRESTADORES DEL SERVICIO PÚBLICO DE ALCANTARILLADO A CUERPOS DE AGUAS SUPERFICIALES, CON UNA CARGA MENOR O IGUAL A 625,00 kg/DÍA DBO5
<b>Generales</b>			
pH	Unidades de pH	6,00 a 9,00	6,00 a 9,00
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L O2	200,00	180,00
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	mg/L O2		90,00
Sólidos Suspendidos Totales(SST)	mg/L	100,00	90,00
Sólidos Sedimentables (SSED)	mg/L	5,00	5,00
Grasas y Aceites	mg/L	20,00	20,00
Sustancias Activas al Azul de Metileno (SAAM)	mg/L		Análisis y Reporte
<b>Hidrocarburos</b>			
Hidrocarburos Totales (HTP)	mg/L		Análisis y Reporte
<b>Compuestos de Fósforo</b>			
Ortofosfatos (P-PO43-)	mg/L		Análisis y Reporte
Fósforo Total (P)	mg/L		Análisis y Reporte
<b>Compuestos de Nitrógeno</b>			

Nitratos (N-NO <sub>3</sub> -)	mg/L		Análisis y Reporte
Nitritos (N-NO <sub>2</sub> -)	mg/L		Análisis y Reporte
Nitrógeno Amoniacal (NNH <sub>3</sub> )	mg/L		Análisis y Reporte
Nitrógeno Total (N)	mg/L		Análisis y Reporte

**Tabla 2. Parámetros Establecidos para Vertimientos de Aguas Residuales Domésticas (ARD) (Resolución No. 0631 del 17 de marzo 2015.)**

PARÁMETRO	UNIDADES	AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS(ARD), Y AGUAS RESIDUALES NO DOMÉSTICAS - ARnD DE LOS PRESTADORES DEL SERVICIO PÚBLICO DE ALCANTARILLADO, CON UNA CARGA MAYOR A 625,00 kg/día Y MENOR O IGUAL A 3.000,00 kg/día DBO5	AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS(ARD), Y AGUAS RESIDUALES NO DOMÉSTICAS - ARnD DE LOS PRESTADORES DEL SERVICIO PÚBLICO DE ALCANTARILLADO, CON UNA CARGA MAYOR A 3.000,00 kg/día DBO5
<b>Generales</b>			
pH	Unidades de pH	6,00 a 9,00	6,00 a 9,00
Demanda Química de Oxígeno (QO)	mg/L O <sub>2</sub>	180,00	150,00
Demanda Bioquímica de Oxígeno (BO5)	mg/L O <sub>2</sub>	90,00	90,00
Sólidos Suspendidos Totales (SST)	mg/L	90,00	70,00
Sólidos Sedimentables (SSED)	mg/L	5,00	5,00
Grasas y Aceites	mg/L	20,00	10,00
Compuestos Semivolátiles Fenólicos	mg/L		Análisis y Reporte
Fenoles Totales	mg/L		Análisis y Reporte
Sustancias Activas al Azul de Metileno (SAM)	mg/L	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte



<b>Hidrocarburos</b>			
Hidrocarburos Totales (HTP)	mg/L	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte
Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (AP)			Análisis y Reporte
BTEX (Benceno, Tolueno, Etilbenceno y eno)			Análisis y Reporte
Compuestos Orgánicos Halogenados sorbibles			Análisis y Reporte
<b>Compuestos de Fósforo</b>			
Ortofosfatos (P-PO43-)	mg/L	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte
Fósforo Total (P)	mg/L	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte
<b>Compuestos de Nitrógeno</b>			
Nitratos (N-NO3-)	mg/L	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte
Nitritos (N-NO2-)	mg/L	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte
Nitrógeno Amoniacal (NNH3)	mg/L	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte
Nitrógeno Total (N)	mg/L	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte
<b>Iones</b>			
Cianuro Total (CN-)	mg/L	0,50	0,50
Cloruros (Cl-)	mg/L	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte
Sulfatos (SO42-)	mg/L	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte
Sulfuros (S2-)	mg/L	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte
<b>Metales y Metaloides</b>			
Aluminio (Al)	mg/L	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte
Cadmio (Cd)	mg/L	0,10	0,10

Cinc (Zn)	mg/L	3,00	3,00
Cobre (Cu)	mg/L	1,00	1,00
Cromo (Cr)	mg/L	0,50	0,50
Hierro (Fe)	mg/L	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte
Mercurio (Hg)	mg/L	0,02	0,02
Níquel (Ni)	mg/L	0,50	0,50
Plata (Ag)	mg/L		Análisis y Reporte
Plomo (Pb)	mg/L	0,50	0,50
<b>Otros parámetros para análisis y reporte</b>			
Acidez Total	mg/L CaCO <sub>3</sub>	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte
Alcalinidad Total	mg/L CaCO <sub>3</sub>	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte
Dureza Cálcida	mg/L CaCO <sub>3</sub>	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte
Dureza Total	mg/L CaCO <sub>3</sub>	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte
Color Real (Medidas de absorbancia a las siguientes longitudes de onda: 436 nm, 520 nm y 620 nm)	m-1	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte

*Tabla 3.* Parámetros Establecidos para Vertimientos de Aguas Residuales Domésticas (ARD) y no Domésticas ARnD

Lo que respecta a los Planes de Saneamiento y Manejo de Vertimientos (PSMV) fueron inicialmente propuestos como base para la eliminación de puntos de vertimientos y saneamiento de los mismos, siendo estos planes reglamentados por medio de la Resolución 1433 del 13 de diciembre de 2004 (Ministerio de Ambiente, Vivienda, y Desarrollo Territorial, 2004), la cual a su vez reglamenta el artículo 12 del Decreto 3100 del 2003 (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Rural, 2003).

## - Normativa regional

En lo que respecta a normativa regional, la Corporación Autónoma Regional del Tolima profiere en el año 2006, cinco (5) Resoluciones en las que establece los objetivos de calidad para diferentes corrientes del departamento, tal como se muestran a continuación:

**Resolución 600 del 09 de junio de 2006**, por medio de la cual se establecen los objetivos de calidad de los cuerpos de agua de las cuencas hidrográficas de Combeima, Chipalo, Opia, Alvarado y Quebrada Cay en la jurisdicción de la Corporación Autónoma Regional del Tolima “CORTOLIMA”.

**Resolución 601 del 09 de junio de 2006** por medio de la cual se establecen los objetivos de calidad de los cuerpos de agua de las cuencas hidrográficas de los ríos Coello, Luisa, Venadillo, Sumapaz y Gualí en la jurisdicción de la Corporación Autónoma Regional del Tolima “CORTOLIMA”.

**Resolución 803 del 31 de julio de 2006** por medio de la cual se establecen los objetivos de calidad de los cuerpos de agua de las cuencas hidrográficas de los ríos Recio, Lagunilla, Sabandija, Totare y Gualí, en la jurisdicción de la Corporación Autónoma Regional del Tolima “CORTOLIMA”.

**Resolución 804 del 31 de julio de 2006** por medio de la cual se establecen los objetivos de calidad de los cuerpos de agua de las cuencas hidrográficas de los ríos Prado, Cucuana y Magdalena en la jurisdicción de la Corporación Autónoma Regional del Tolima “CORTOLIMA”.

**Resolución 805 del 31 de julio de 2006** por medio de la cual se establecen los objetivos de calidad de los cuerpos de agua de las cuencas hidrográficas de los ríos Cabrera, Los Ángeles y Saldaña de la jurisdicción en la Corporación Autónoma Regional del Tolima “CORTOLIMA”.

### **1.1.6 Entidades y Organismos de Control de los sistemas de alcantarillado en la ciudad de Ibagué:**

#### **Principales entidades de orden nacional:**

Por mandato de la Constitución Política de 1991, el **Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible** es uno de los principales órganos de control que ejercen supervisión sobre las entidades prestadoras de servicio de acueducto y alcantarillado.

Otro importante organismo es la **Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios** que asesora en la definición de políticas, estrategias, planes y programas en el marco de las funciones de inspección, vigilancia y control sobre los prestadores de estos servicios.

la **Dirección Técnica de Gestión de Acueducto y Alcantarillado** es una delegación de la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios que proyecta respuestas a las consultas, derechos de petición y demás solicitudes presentadas ante la dependencia por parte de usuarios, empresas prestadoras, autoridades y otros grupos de interés.

**La Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico (CRA)**, establece y regula los parámetros y condiciones para la evaluación de la gestión financiera, técnica y administrativa de las empresas supervisadas.

### **De nivel Local:**

La **Corporación Autónoma Regional del Tolima “CORTOLIMA”**, es la máxima autoridad ambiental del Departamento, en ejercicio de sus competencias y cumpliendo con la normatividad vigente y la política Nacional Ambiental.

**Secretaría de salud municipal** Ejercer vigilancia y control sanitario en su jurisdicción, en lo relativo a factores de riesgo para la salud, en los establecimientos y espacios que puedan generar riesgo para la población, tales como establecimientos educativos, hospitales, cárceles, cuarteles, albergues, guarderías, ancianatos, aeropuertos y terminales terrestre, transporte público, piscinas, estadios, coliseos, gimnasios, bares, tabernas, supermercados y similares, plazas de mercado y abasto público, y plantas de sacrificios de animales, entre otros.

El sistema de alcantarillado de la ciudad de Ibagué es administrado por la **Empresa ibaguereña de acueducto y alcantarillado de Ibagué IBAL SA ESP**, quien es responsable de supervisar y exigir el cumplimiento de la normatividad a los usuarios del alcantarillado, según el (Artículo 209) de la constitución todas las entidades estatales deben aplicar control interno en todas sus actuaciones para el adecuado cumplimiento de sus funciones.

## **1.2. Identificación del problema**

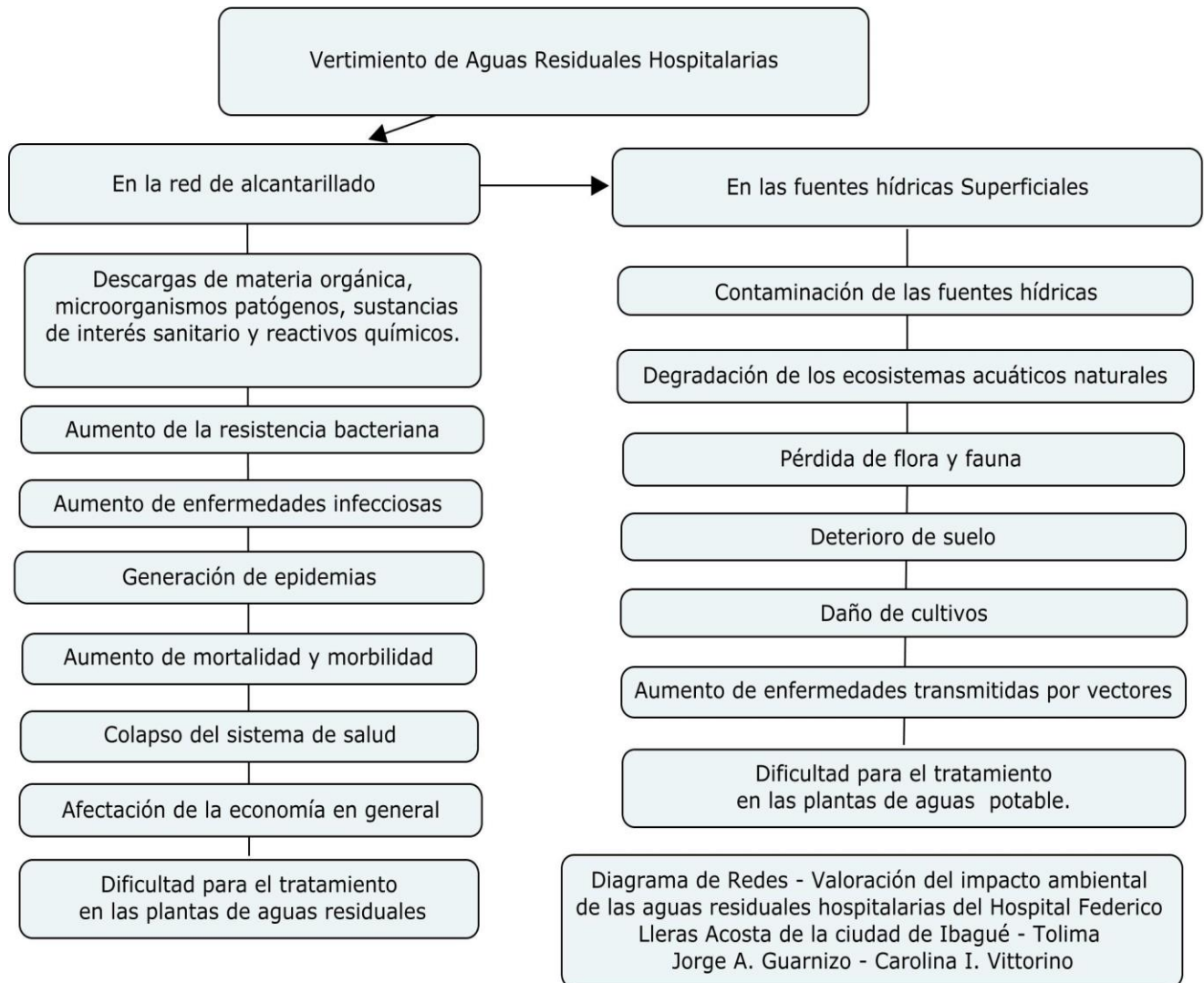
### **1.2.1 Lluvia de ideas**

1. Degradación de los ecosistemas acuáticos naturales por disposición de microorganismos patógenos.

2. Aumento de enfermedades por afecciones respiratorias
3. Aumento de enfermedades en la piel
4. Abuso de los medicamentos en el tratamiento de enfermedades infecciosas.
5. Aumento de la resistencia microbiana.
6. Propagación de enfermedades infecciosas a través de la red de alcantarillado.
7. Propagación de enfermedades infecciosas en comunidades situadas alrededor del cauce del río Combeima.
8. Aumento en el uso de antibióticos en los centros hospitalarios
9. Contaminación de los cuerpos de agua
10. Desarrollo de enfermedades con carácter Nosocomial
11. Exposición a contaminantes emergentes
12. Exposición a sustancias tóxicas
13. Erosión de la tierra
14. Reducción de Flora y Fauna
15. Colapso del sistema de salud
16. Aumento de organismos patógenos en las fuentes hídricas
17. Generación de epidemias
18. Daño de cultivos
19. Aumento de tasa de mortalidad
20. Aumento de tasas de morbilidad
21. Reducción turismo
22. Afectación de la economía en general
23. Alteración en la prestación de servicios públicos.
24. Transmisión de enfermedades en animales domésticos
25. Aumento de enfermedades transmitidas por vectores
26. Dificultad para el tratamiento en las plantas de agua potable
27. Dificultad para el tratamiento en las plantas de agua residual
28. Descargas de materia orgánica, microorganismos patógenos, sustancias de interés sanitario y reactivos químicos como fármacos, antibióticos, analgésicos y desinfectantes a la red de alcantarillado.

### **1.2.2 Agrupación de ideas similares**

1. Aumento de enfermedades infecciosas
2. Contaminación de las fuentes hídricas
3. Deterioro de suelo
4. Pérdida de flora y fauna
5. Aumento del uso de antibióticos
6. Aumento de la resistencia bacteriana
7. Exposición a sustancias tóxicas
8. Alteración en la prestación de servicios públicos
9. Colapso del sistema de salud
10. Afectación de la economía en general
11. Dificultad para el tratamiento en las plantas de aguas residuales y agua potable.



*Figura 3.* Diagrama de redes  
Fuente: Autoría propia

## 1.2.3 Matriz de Vester

Impactos			Dependencia										
			Aumento de enfermedades infecciosas	Contaminación de las fuentes hídricas	Deterioro de suelo	Pérdida de flora y fauna	Aumento del uso de antibióticos	Aumento de la resistencia bacteriana	Exposición a sustancias tóxicas	Alteración en la prestación de servicios públicos	Colapso del sistema de salud	Afectación de la economía en general	Dificultad para el tratamiento en las plantas de aguas residuales y agua potable.
Influencia	P1	Aumento de enfermedades infecciosas	1	0	1	3	1	0	3	3	3	1	16
	P2	Contaminación de las fuentes hídricas	3	3	3	2	3	3	2	2	1	3	24
	P3	Deterioro de suelo	0	2	3	0	0	0	0	0	2	0	7
	P4	Pérdida de flora y fauna	0	0	3	0	0	0	0	0	2	0	5
	P5	Aumento del uso de antibióticos	3	3	2	2	3	3	0	0	2	3	21
	P6	Aumento de la resistencia bacteriana	3	3	3	2	3	3	3	3	3	3	29
	P7	Exposición a sustancias tóxicas	1	2	3	3	0	3	1	1	1	3	18
	P8	Alteración en la prestación de servicios públicos	2	0	0	0	2	0	0	2	3	0	12
	P9	Colapso del sistema de salud	3	0	0	0	2	0	0	3	3	0	11
	P10	Afectación de la economía en general	0	0	0	0	0	0	1	2	1	4	4
	P11	Dificultad para el tratamiento en las plantas de aguas residuales y agua potable.	2	3	2	2	0	0	2	2	2	1	17
	TOTAL		17	14	16	16	12	10	11	15	15	23	14

Tabla 4. Relación matriz de Vester

Fuente: Autoría Propia



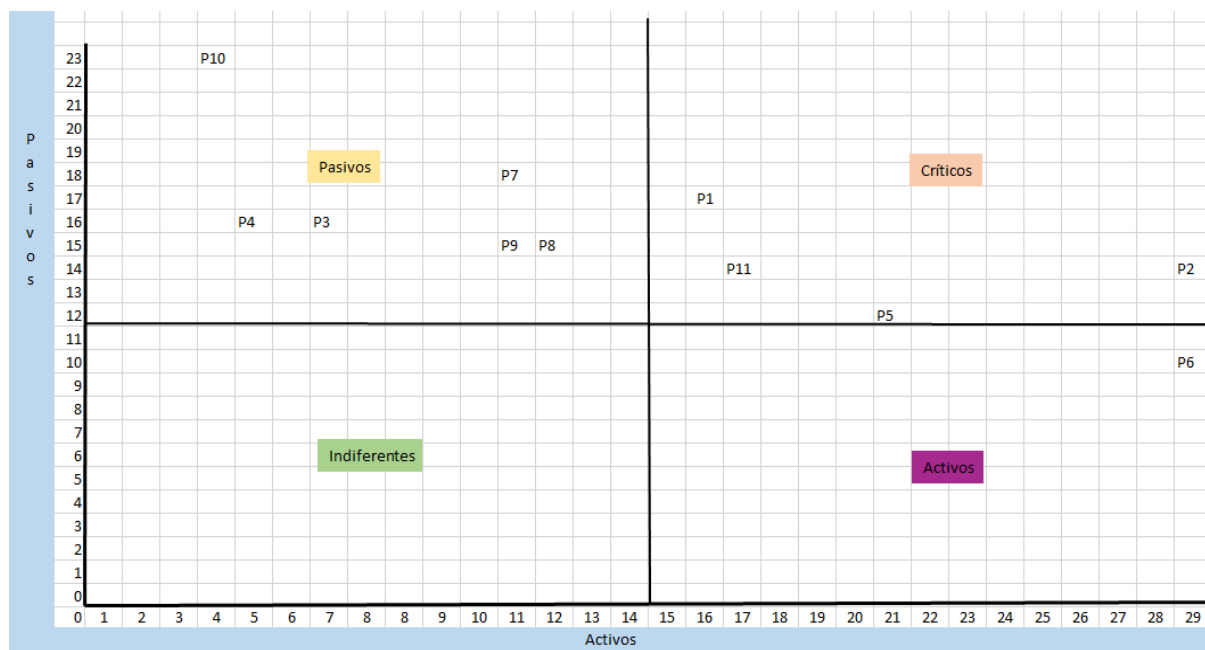


Figura 4. Matriz Vester  
Fuente: Autoría Propia

#### 1.2.4. Clasificación de problemas:

##### **Pasivos (Efectos):**

Deterioro de suelo  
Pérdida de flora y fauna  
Exposición a sustancias tóxicas  
Alteración en la prestación de servicios públicos  
Colapso del sistema de salud  
Afectación de la economía en general

##### **Críticos (problemas):**

Aumento de enfermedades infecciosas  
Contaminación de las fuentes hídricas  
Aumento del uso de antibióticos  
Dificultad para el tratamiento en las plantas de aguas residuales y agua potable

##### **Indiferentes:**

##### **Activos (Causas):**

Aumento de la resistencia bacteriana

### 1.3. Justificación:

Las aguas residuales hospitalarias generan impactos negativos muy graves en los ecosistemas acuáticos naturales y en la salud pública, por lo que debe convertirse en uno de los temas de mayor atención ambiental y para la salud humana en los próximos años, actualmente desconocemos muchos de los efectos que estas pueden llegar a generar, por lo que se hace necesario realizar proyectos de investigación que puedan determinar este impacto, el riesgo inminente para la población, que generen información más integral y útil en la generación de programas y planes epidemiológicos y sirvan de insumo en el diseño de sistemas de tratamiento tanto en las PTAR, como en los mismos centros hospitalarios.

El municipio de Ibagué presenta graves problemáticas en el manejo de sus aguas residuales en términos generales, estos efectos se pueden visualizar en las fuentes hídricas que recorren la ciudad, pues actualmente presentan niveles de contaminación muy altos a causa de los vertimientos permanentes de aguas residuales, una situación que ya hace parte del duro panorama de la ciudad, y que para poder resolverse es necesario de una adecuada caracterización de las fuentes generadoras, por otra parte la administración municipal se encuentra adelantando un proyecto que espera poder captar todos estos vertimientos y darles un adecuado tratamiento en una PTAR, lo que de realizarse permitirá en una segunda fase darle manejo y hacer un mayor control sobre las aguas residuales generadas por hospitales y centros prestadores de servicios de salud, es fundamental que se realicen estudios en la ciudad de Ibagué que permitan establecer el efecto en la salud pública de los vertimientos de las aguas hospitalarias a la red de alcantarillado y posteriormente a las fuentes hídricas superficiales que atraviesan por la ciudad, según los doctores Edgardo Tzoc y María Laura Arias de la Facultad de Microbiología de la Universidad de Costa Rica, San José, en su artículo “Efecto de las aguas residuales hospitalarias sobre los patrones de resistencia a antibióticos de *Escherichia coli* y *Aeromonas sp*”\*\*\* las instituciones de servicios médicos son responsables de arrojar una gran cantidad de medicamentos y antibióticos a los alcantarillados, lo que ha comenzado a generar una resistencia muy alta en el grupo de microorganismos estudiados, además de generar un fuerte cambio sobre las propiedades fisicoquímicas y biológicas del agua alterando los ecosistemas acuáticos naturales, los resultados de sus estudios arrojaban un aumento en la prevalencia de resistencia en *E. coli* se obtuvo para dos antibióticos relacionados, ampicilina y amoxicilina, con un porcentaje de 57 y 45 respectivamente

---

\*\*\*Edgardo Tzoc, María Laura Arias<sup>1</sup>, Carmen Valiente. (2004) Efecto de las aguas residuales hospitalarias sobre los patrones de resistencia a antibióticos de *Escherichia coli* y *Aeromonas sp*. Facultad de Microbiología, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica, <sup>2</sup>Laboratorio Central, Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados, Tres Ríos, Costa Rica. *Rev Biomed* 2004; 15:165-172. Tomado de: <http://www.medigraphic.com/cgi-bin/new/resumen.cgi?IDARTICULO=21475>.

entre algunos de los antibióticos que se probaron, y con resultados similares para otros grupos microbianos similares.

A medida del avance de la ciencia médica, también hemos afrontado enfermedades cada vez más fuertes y resistentes, la resistencia que vienen desarrollando los microorganismos se está convirtiendo en uno de los principales problemas de la ciencia moderna, con los recientes estudios en estos temas se ha podido determinar que uno de los factores de los altos niveles de multirresistencia microbiano son la descarga de aguas residuales hospitalarias.

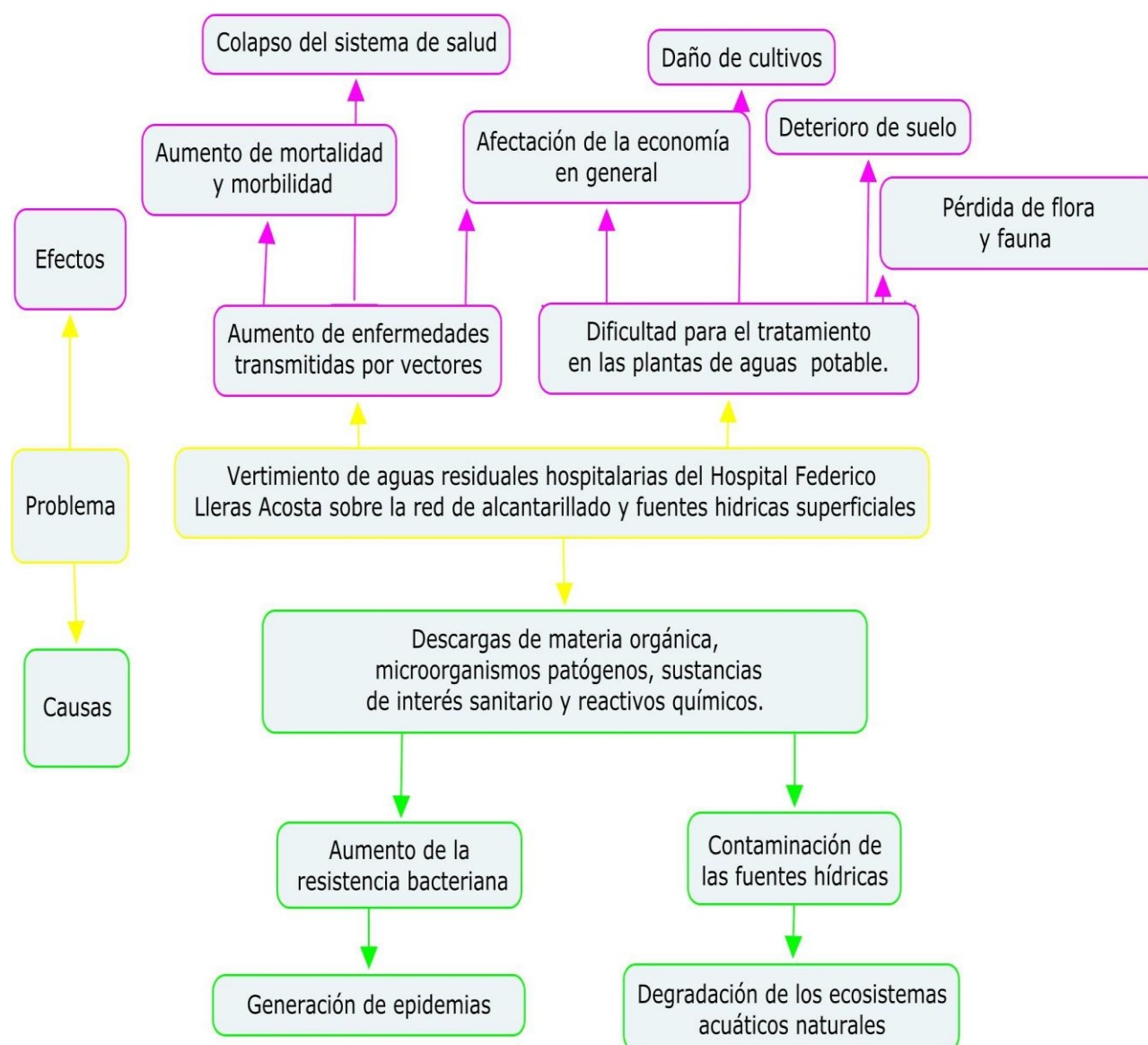


Figura 5. Árbol del problema

Fuente: Autoría Propia

#### 1.4. Definición de objetivos:

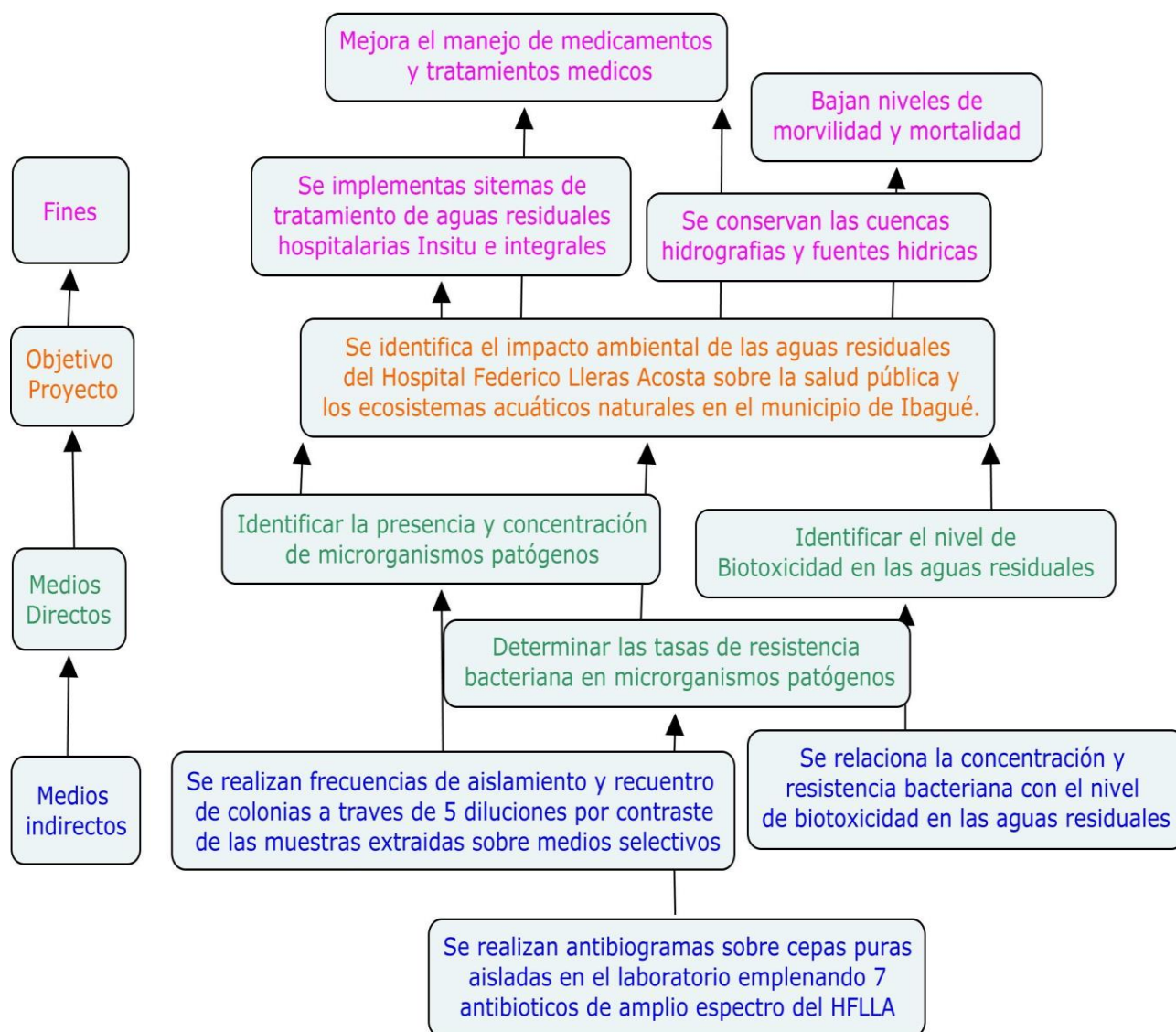


Figura 6. Árbol de objetivos

Fuente: Autoría Propia

## **1.5. Objetivos**

### **1.5.1. Objetivo general:**

Determinar el impacto ambiental de las aguas residuales del Hospital Federico Lleras Acosta sobre la salud pública y los ecosistemas acuáticos naturales en el municipio de Ibagué.

### **1.5.2. Objetivos específicos:**

- Determinar la presencia, concentración y la tasa de resistencia bacteriana de microorganismos patógenos (*Pseudomonas Aeruginosa* y *Escherichia E.Coli*), en las aguas residuales desde su generación, a lo largo de la red de alcantarillado conectado al Hospital y en las fuentes hídricas donde se disponen.
- Identificar el nivel de Biotoxicidad en las aguas residuales desde su generación, a lo largo de la red de alcantarillado conectado al Hospital y en las fuentes hídricas donde se disponen.
- Plantear alternativas de tratamiento “in situ” para reducir el impacto generado por las aguas hospitalarias sobre la salud pública y los ecosistemas acuáticos naturales.

## Capítulo 2. Fundamentación Teórica

### 2.1. Aguas residuales hospitalarias

Los hospitales consumen importantes volúmenes de aguas por día, generando otro similar de aguas residuales cargadas de compuestos químicos tóxicos, microorganismos patógenos, algunos de los cuales presentan multirresistencia a los antibióticos, también residuos de drogas, elementos radioactivos y radio isótopos, metales pesados, compuestos órgano-halogenados, capaz de generar serios problemas ambientales, llegando a ser de 5 a 15 veces más tóxicas que las aguas residuales domésticas. Estas aguas componen una mezcla de sustancias complejas cuya actividad tóxica, mutagénica y genotóxica dependerá de interacciones sinérgicas y antagónicas entre sus componentes y entre estos y el ambiente (Leiva, 2008)

Las aguas residuales hospitalarias se consideran como una de las principales fuentes de contaminantes emergentes, resultado de las diferentes actividades que se realizan en los centros de salud y la excreción de las sustancias por los pacientes (Penagos, 2012)

La composición de las aguas residuales procedentes de los centros de salud presenta fluctuaciones más o menos evidentes en su descarga a la red de alcantarillado mixto de la ciudad debido a la gran diversidad de sustancias químicas y materiales biológicos eliminadas en los mismos. Según Bassi y Moretton (2003) tanto los residuos sólidos como los efluentes líquidos provenientes de centros hospitalarios representan un impacto sobre la salud pública cuya magnitud ha comenzado a evaluarse en los últimos años en ámbitos científicos (Duarte & Gutiérrez 2013)

Los problemas asociados a los líquidos residuales generados en centros de salud han sido motivo de preocupación internacional debido al peligro de una potencial propagación de enfermedades y a los riesgos ambientales derivados de la ausencia de tratamientos adecuados. Es por ello que estos problemas trascienden el campo técnico-sanitario e involucran aspectos sociales, económicos, políticos y ambientales, entre otros (Ferreira et al 2000).

Los desechos hospitalarios son peligrosos para el equilibrio ecológico y la salud pública, y un tratamiento ineficiente puede conducir a brotes de enfermedades, contaminación del agua y contaminación radiactiva (Kumar et al., 2007).

Estudios han demostrado que estos componentes no son fácilmente removidos por medio de procesos de tratamiento convencionales como las plantas de tratamiento que emplean procesos biológicos. En general la presencia de residuos farmacéuticos en el ambiente y en los sistemas

acuáticos, constituyen un serio problema ya que son extremadamente resistentes a la degradación biológica y usualmente escapan intactos al tratamiento de plantas convencionales (Penagos, 2012)

## 2.2. Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas

La selección del proceso de tratamiento de aguas residuales depende principalmente de las características del agua cruda (su origen), el tipo de contaminación contenida, la calidad requerida del efluente y la disponibilidad del terreno. Los tratamientos de aguas residuales son muy variados, y pueden incluir precipitación, neutralización, oxidación química y biológica, reducción, filtración, ósmosis, etc (Ergueta, 2016),

En el caso de aguas domésticas, los tratamientos de aguas residuales suelen incluir la siguiente secuencia:

- *“Pretratamiento o tratamiento preliminar: Es el tratamiento donde se remueven los sólidos de gran tamaño y las arenas presentes en las aguas negras. Se conoce también como el proceso de eliminación de los constituyentes de las aguas residuales que pueden provocar daños al funcionamiento de los equipos involucrados en los diferentes procesos y operaciones que conforman el sistema de tratamiento.*
- *Tratamiento Primario: Es el tratamiento donde se remueve una fracción los sólidos sedimentables y en suspensión por medios físicos y/o químicos. El Efluente del tratamiento primario suele tener una cantidad alta de materia orgánica y una DBO alta.*
- *Tratamiento Secundario: Es el tratamiento donde se transforma la materia orgánica biodegradable por la acción biológica en materia estable. Está principalmente diseñado a la eliminación de los sólidos en suspensión y de los compuestos orgánicos, en algunos casos se incluye desinfección en esta etapa.*
- *En casos específicos, podrá añadirse un Tratamiento Terciario: Son tratamientos adicionales, que siguen a los tratamientos secundarios convencionales, para la eliminación de nutrientes, compuestos tóxicos y excesos de materia orgánica o de sólidos en suspensión” (Bettys, 2016)*

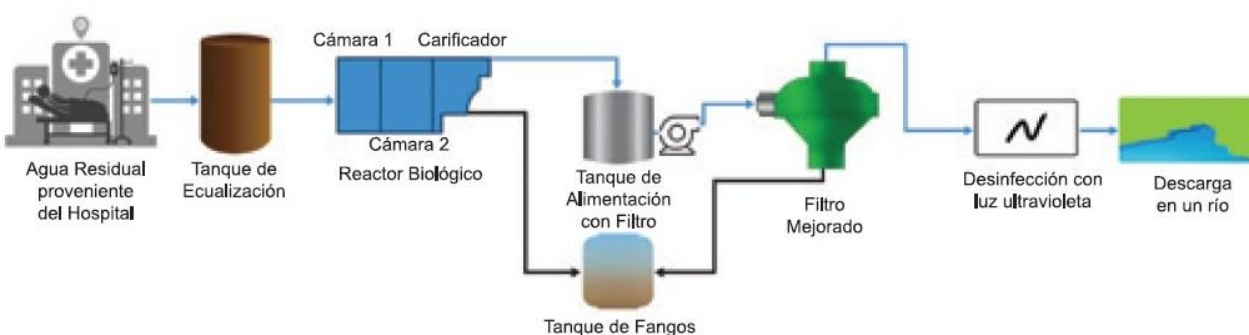
Uno de los análisis que permite evaluar el impacto de la actividad hospitalaria sobre los recursos hídricos es la determinación de la carga contaminante asociada al caudal de aguas residuales que se genera diariamente. Puede estimarse que el 80% del volumen de agua consumido en un hospital en un día corresponde a la generación de aguas residuales; un porcentaje elevado se disipa mediante evaporación (Gil, 2018).

Las plantas municipales de tratamiento de aguas residuales no están diseñadas para gestionar residuos farmacológicos y biológicos. Precisamente por eso la presencia de estas sustancias en los ríos.

Gran cantidad de antibióticos son consumidos habitualmente en las instalaciones hospitalarias, que una vez administrados a los pacientes, son en parte excretados a través de las heces y orina, que forman parte de las aguas residuales hospitalarias. Éstas son tratadas junto con las aguas residuales urbanas. Aunque una gran parte de los antibióticos presentes en el agua son eliminados en estos tratamientos, un número significativo de ellos siguen presentes en las aguas de salida de la depuradora, que se vierten directamente en los ríos, con lo cual suponen un foco de contaminación en el medio hídrico natural (Ergueta, 2016).

Adicionalmente a los tratamientos ortodoxos, se tienen los nuevos métodos, que consisten en procesos de tratamiento que hacen pasar los efluentes hospitalarios a presiones muy elevadas a través de una serie de unidades de filtración por membrana. Las nuevas plantas de tratamiento incluyen procesos biológicos de depuración, así como el mencionado sistema de membranas cerámicas de filtración y una etapa final de “refinado” con carbón activado y ozono. Es un sistema extremadamente flexible: cada elemento de este sistema modular puede ampliarse, quitarse o ajustarse para adaptarlo a diferentes necesidades. El hospital de Herlev en Dinamarca es el primero de todo el mundo en instalar esta tecnología.

Como resultado de lo que se ha investigado hasta hoy, las plantas de tratamiento de aguas residuales (PTARs), tendrán que incluir, dentro del ciclo de tratamiento de cuatro fases (Pretratamiento, Primario, Secundario y Terciario), un proceso de filtrado mejorado, que podrá alcanzar los objetivos de salubridad deseados en las aguas efluentes. (Ver Fig.) (Ergueta, 2016)



*Figura 7.* Proceso de Tratamiento de Aguas Residuales con Filtrado Mejorado

Fuente: extraído de: <http://revistapyc.com/Articulos/Grupo62/ART-62-G.pdf>.

La combinación de procesos de oxidación avanzada con tratamientos biológicos, ha surgido como una alternativa para reducir el impacto en el ambiente de estas aguas residuales. Los resultados muestran que



tratar aguas residuales hospitalarias combinando procesos de oxidación avanzada basados en ozono y procesos anaerobios de biomasa inmovilizada es buena alternativa para transformar y degradar la materia orgánica de naturaleza recalcitrante (reacia al cambio) presente en este tipo de efluentes (Muñoz & Chaparro, 2014).

### **2.3. Red de alcantarillado**

Alcantarillado o red de alcantarillado se denomina al sistema de estructuras y tuberías usadas para el transporte de aguas residuales o servidas (alcantarillado sanitario), o aguas de lluvia, (alcantarillado pluvial) desde el lugar en que se generan hasta el sitio en que se vierten a cauce o se tratan.

Los sistemas de recolección y transporte de aguas residuales y/o lluvias se clasifican de acuerdo con su naturaleza en los siguientes tipos:

- *Sistemas convencionales de alcantarillado:* En los primeros, las aguas residuales y las aguas lluvias son recolectadas y evacuadas por sistemas totalmente independientes; en tal caso, el sistema separado de alcantarillado de aguas residuales usualmente se denomina alcantarillado de aguas residuales; y el sistema por el cual se recolectan y se transportan las aguas lluvias se denomina alcantarillado de aguas lluvias. Los sistemas de alcantarillado combinados son aquellos en los cuales tanto las aguas residuales como las aguas lluvias son recolectadas y transportadas por el mismo sistema de tuberías.
- 
- *Sistemas no convencionales de alcantarillado:* Los sistemas no convencionales pueden utilizarse cuando para un municipio determinado o alguna parte del mismo los sistemas convencionales no conformen alternativas factibles desde el punto de vista socioeconómico y financiero. Dentro de estos sistemas alternativos están los denominados alcantarillados simplificados, los alcantarillados condominiales y los alcantarillados sin arrastre de sólidos. Los sistemas no convencionales pueden constituir alternativas de saneamiento cuando, partiendo de sistemas in situ, se incrementa la densidad de población.
- *Sistemas in situ:* Existen sistemas basados en la disposición in situ de las aguas residuales como son las letrinas y tanques, pozos sépticos y campos de riego, los cuales son sistemas de muy bajo costo y pueden ser apropiados en áreas suburbanas con baja densidad de población y con adecuadas características del subsuelo[17]

### **2.4. Plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR)**

Es una instalación donde a las Aguas Residuales se les retiran los contaminantes, para hacer de ella un agua sin riesgos a la salud y/o al medio ambiente al disponerla en un cuerpo receptor natural (mar, ríos o lagos) o para su reúso en otras actividades (Garrido, 2017).

En estas instalaciones se realizan un conjunto de operaciones y procesos unitarios de origen físico-químico o biológico, o una combinación de ellos que están envueltos por fenómenos de transporte y manejo de fluidos.

El tratamiento de las aguas negras tiene como finalidad preservar la salud del medio que nos rodea y para lograrlo es necesario:

- La eliminación de las bacterias patógenas que contienen las aguas negras.
- La estabilización de la materia orgánica presente en las aguas negras.
- Evitar la contaminación de los cuerpos receptores favoreciendo así la flora y la fauna. (Bettys, 2016)

## 2.5. Contaminantes emergente

Los contaminantes emergentes se definen como aquellos que corresponden en la mayoría de los casos a contaminantes no regulados, que pueden ser candidatos a regulación futura dependiendo de investigaciones sobre sus efectos potenciales en la salud y los datos de monitoreo con respecto a su incidencia. (Becerril. E). Dentro de los grupos contaminantes tenemos: surfactantes, que son compuestos químicos que se utilizan en la industria como los alquifenoles etoxilados y los sulfonatos bencénicos usados en productos de higiene corporal. Productos farmacéuticos, como antibióticos, analgésicos y antiinflamatorios. Productos para el cuidado personal, como protectores de piel, cremas. Aditivos de las gasolinas, retardantes de fuego, antisépticos, aditivos industriales, esteroides y hormonas y subproductos de la desinfección del agua. (Ver tabla....) La característica de estos grupos de contaminantes es que no necesitan persistir en el ambiente para causar efectos negativos, puesto que sus altas tasas de transformación/remoción se pueden compensar por su introducción continua en el ambiente Para la mayoría de estos contaminantes emergentes, la incidencia, la contribución de riesgo y los datos ecotoxicológicos no están disponibles, así que es difícil predecir qué efectos de salud pueden tener en seres humanos y organismos acuáticos (Tejada y colaboradores, 2014)

Clase de contaminante	Ejemplo
Productos farmacéuticos Antibióticos de uso médico y veterinario.	Trimetoprima, eritromicina, lincomicina, sulfametoxazol.
Medicamentos analgésicos y antiinflamatorios.	Codeína, ibuprofeno, acetaminofén, ácido acetilsalicílico, diclofenaco.
Medicamentos psiquiátricos reguladores de lípidos.	Diazepam, fluoxetina, carbamazepina, Bezafibrato, ácido clofibrico y fenofbrico, atorvastatina.
Betabloqueadores	Metoprolol, propranolol, timolol, atenolol.
Medios de contraste de rayos X	Lopromide, iopamidol, diatrizoato.
Esteroides y hormonas (anticonceptivos)	Estradiol, estrona, estriol.

Productos de cuidado personal Perfumes Agentes de protección solar Repelentes de insectos	Fragancias, policíclicos y macrocíclicos. Benzofenona, metilbenzilidone. N, N-dietiltoluamida.
Antisépticos	Triclosan, clorofeno.
Detergentes, tensoactivos y sus metabolitos.	Alquifenoles etoxilados, alquifenoles (nonilfenol y octilfenol), alquifenoles carboxilados.
Retardadores de llama	Difenil éteres polibromados Tetrabromo bisfenol A, tris(2cloretil) fosfato
Aditivos y agentes industriales	Agentes quelantes, sulfonados aromáticos.
Aditivos de gasolina	Dialquil éteres. Metil-t-bitil éter.
Subproductos de desinfección.	Yodo, trihalometanos, bromoácidos, bromoacetnitrilos, bromoaldehídos, bromato.

*Tabla 5.* Clases de Contaminantes Emergentes

Fuente: (Barceló, Damián)

Henríquez (2012) establece que la presencia de los fármacos en el ecosistema es un tema que debe analizarse y plantea que si bien estas sustancias están pensadas para tratar problemas de salud de la población, lo que permite que mejore su calidad de vida, es también interesante conocer cómo mejora, o bien, cómo empeora la calidad de vida del ecosistema, algo que aún no está completamente claro. Lo anterior evidencia la importancia de la Valoración del Impacto Ambiental (VIA) de los fármacos en los recursos hídricos puesto que una gran parte de los que ingresan al ecosistema lo hacen a través de las aguas residuales urbanas y hospitalarias (Sánchez, 2015)

## 2.6. Antibióticos y su clasificación

### 2.6.1. Antibióticos

Etimológicamente viene del griego anti “contra” y bios “vida”. Según la RAE, un antibiótico es la “sustancia química natural (producida por un ser vivo hongo o bacteria) o fabricada por síntesis, (sintética o semisintética) capaz de inhibir el desarrollo de ciertos microorganismos patógenos, (bacterias).

Los antibióticos constituyen un grupo heterogéneo de sustancias con diferente comportamiento farmacocinético y farmacodinámico, ejercen una acción específica sobre alguna estructura o función del microorganismo, tienen elevada potencia biológica actuando a bajas concentraciones y la toxicidad es selectiva, con una mínima toxicidad para las células de nuestro organismo. (V. Seija, s.f.)

## 2.6.2 Clasificación de los antibióticos

“De acuerdo a su interacción con el microorganismo se dividen en:

- Bacteriostática: impiden el desarrollo y multiplicación bacteriana, pero sin llegar a destruirlas.
- Bactericida: su acción es letal, llevando a la lisis bacteriana

### Según el espectro de acción

Amplio espectro: Antibióticos activos sobre un amplio número de especies y géneros diferentes. G+ y G- (cloranfenicol tetraciclinas penicilinas de amplio espectro)

Espectro intermedio: G+ (penicilinas macrólidos)

Espectro reducido: Antibióticos que actúan sobre un grupo reducido de especies. Cocos G+ y bacilos G- polimixinas

### Según su mecanismo de acción

Los antibióticos presentan distintos mecanismos de acción por una serie de mecanismos, con dianas terapéuticas (zona o proceso sobre el que actúan) en diferentes regiones de la célula atacada. A continuación se detallan los distintos mecanismos de acción.

- Inhibidores de la síntesis de la pared celular: La pared celular es una estructura rígida que actúa de protección permitiendo a las bacterias soportar grandes presiones osmóticas. Esta estructura es característica de las bacterias, solo la tienen ellas. Al impedir que las bacterias fabriquen correctamente esta pared, este tipo de antibióticos provocan que la célula se rompa y muera.

**BETALACTÁMICOS:** De origen natural o semisintético, bactericida de acción lenta que inhiben la síntesis de la pared celular bacteriana, de espectro reducido. Constituyen la familia más numerosa de antimicrobianos y la más utilizada en la práctica clínica. El espectro de los betalactámicos incluye bacterias Gram positivas, gramnegativas. La resistencia natural de las micobacterias se debe a la producción de betalactamasas, probablemente unida a una lenta penetración por las características de la pared.” (V. Seija, s.f.)

Se clasifica en 4 grupos

- **Penicilinas:**

	Vías de utilización	Espectro antimicrobiano
<b>Penicilinas naturales</b>		<i>Streptococcus pneumoniae</i>
Penicilina G	IM	<i>Streptococcus</i> beta hemolíticos
	IV	<i>Streptococcus bovis</i>
Penicilina V	VO	<i>Streptococcus</i> grupo viridans
		<i>Pasteurella multocida</i>
		<i>Neisseria meningitidis</i>
		<i>Clostridium</i> spp
		<i>Treponema pallidum</i>
		<i>Actinomyces</i>
<b>Aminopenicilinas</b>		Igual que anterior más
Ampicilina	IM, IV	<i>Enterococcus</i>
Amoxicilina	VO	<i>Listeria monocytogenes</i>
		<i>Haemophilus influenzae</i> no productor de beta lactamasa
		<i>Salmonella</i> spp
		<i>E.coli</i> no productor de beta lactamasas
		<i>Proteus mirabilis</i>
<b>Penicilinas antiestafilocócicas</b>		<i>Staphylococcus</i> spp metilino sensibles
Cloxacilina	VO	
Oxacilina	VO, IM, IV	
Dicloxacilina	VO	
<b>Carboxipenicilinas</b>		Más activas contra la hidrólisis por beta lactamasas producidas por enterobacterias y <i>Pseudomonas aeruginosa</i>
Ticarcilina	IM, IV	
<b>Ureidopenicilinas</b>		
Piperacilina	IM, IV	

Tabla 6. Familia de Penicilinas

Fuente: Extraído de: <http://www.higiene.edu.uy/cefa/2008/BacteCEFA34.pdf>.

- **Cefalosporinas:**

	Antibióticos	Espectro antimicrobiano
Cefalosporinas de primera generación	Cefadroxil Cefazolina Cefalexina Cefradina	<i>Staphylococcus</i> spp metilino sensibles <i>Streptococcus pyogenes</i> <i>E. coli</i> <i>Proteus mirabilis</i> <i>Klebsiella</i> spp
Cefalosporinas de segunda generación	Cefuroxime	Agregan actividad sobre <i>Haemophilus influenzae</i> <i>Moraxella catarrhalis</i>
Cefalosporinas de tercera generación	Cefotaxime Ceftriaxona Ceftazidime Cefoperazona	Enterobacterias <i>N. gonorrhoeae</i> , <i>N. meningitidis</i> <i>Streptococcus pneumoniae</i> Agrega cobertura sobre <i>Pseudomonas aeruginosa</i>
Cefalosporinas de cuarta generación	Cefepime Cefpirome	Estable frente a beta lactamasas cromosómicas de clase 1

Tabla 7. Familia de Cefalosporinas

Fuente: Extraído de: <http://www.higiene.edu.uy/cefa/2008/BacteCEFA34.pdf>.

- **Monobactámicos**

Aztreonam, el único monobactámico disponible para uso clínico, posee una excelente actividad sobre bacterias Gram negativas aerobias y facultativas. Por el contrario, carece de actividad frente a Gram positivos y bacterias anaerobias.

- **Carbapenemes**

Antibióticos: Imipenem, meropenem y ertapenem. Su actividad bactericida se extiende a cocos Gram positivos.

**GLICOPÉPTIDOS:** Actúan sobre la pared bacteriana, bactericidas de espectro reducido, altera la síntesis de ARN y alteran la permeabilidad de la membrana citoplasmática.

- Vancomicina: solo actúa sobre bacterias grampositivas
  - Teicoplanina
- *Inhibidores de la síntesis proteica:* Impiden que las bacterias fabriquen proteínas, es decir, las moléculas que forman la estructura de sus cuerpos. Algunos ejemplos son los aminoglucósidos (gentamicina), las tetraciclinas como la doxiciclina o los macrólidos (eritromicina).

**AMINOGLUCÓSIDOS:** Inhibidores de la síntesis proteica, bactericidas de acción rápida

Familia	Miembros
Estreptomicina	Estreptomicina
Kanamicina	Kanamicina Amicacina Tobramicina Dibekacina
Gentamicina	Gentamicina Netilmicina
Neomicina	Neomicina

Tabla 8. Familia de Aminoglucósidos

Fuente: Extraído de: <http://www.higiene.edu.uy/cefa/2008/BacteCEFA34.pdf>.

**MACRÓLIDOS:** Bacteriostáticos, en altas concentraciones bactericida, antibióticos semisintéticos derivados de la eritromicina

- Eritromicina
  - Claritromicina
  - Azitromicina
- *Inhibidores de la duplicación del ADN:* Generalmente impiden las síntesis de estos ácidos, con lo que evitan la multiplicación de las bacterias. Son la rifampicina, las quinolonas como ciprofloxacino

**QUINOLONAS:** Las quinolonas son antibióticos bactericidas y actúan inhibiendo las topoisomerasas, enzimas que catalizan el superenrollamiento del DNA cromosómico y que aseguran una adecuada división celular. Se clasifican en generaciones (Palomares & Obrador, 2013).

Generación	Antibiótico	Espectro antimicrobiano
Primera generación	Ácido nalidíxico y Ácido pipemídico	Tienen actividad sobre enterobacterias y son inactivas sobre Gram positivos y anaerobios
Segunda generación	Norfloxacin y Ciprofloxacina	Fluoradas Mayor actividad sobre Gram negativos. Ciprofloxacina tiene mejor actividad sobre P. aeruginosa y moderada actividad sobre Gram positivos
Tercera generación	Levofloxacina, gatifloxacina	Retienen la actividad sobre Gram negativos y mejoran la actividad sobre Gram positivos
Cuarta generación	moxifloxacina, trovafloxacina	Retienen actividad sobre Gram negativos y aumentan la actividad sobre Gram positivos

Tabla 9. Familia de Quinolonas

Fuente: Extraído de: <http://www.higiene.edu.uy/cefa/2008/BacteCEFA34.pdf>

- Inhibidores de la síntesis de ácido fólico:

**SULFONAMIDAS:** Antibióticos bacteriostáticos, actúan alterando la síntesis del ácido fólico, lo cual repercute sobre la síntesis nucleotídica, inhibiendo de esta manera el crecimiento bacteriano. In vitro ejercen actividad inhibitoria frente a un gran número de bacterias Gram positivas y Gram negativas

**TRIMETOPRIM-SULFAMETOXAZOL:** Antibiótico sintético, activo contra algunas cepas de cocos Gram positivos, bacilos Gram positivos, bacilos Gram negativos, cocobacilos Gram negativos

- Inhibidores de la membrana citoplasmática: Alteran la capacidad de las membranas para actuar como barreras selectivas. Frecuentemente son sustancias bastante tóxicas pues también actúan sobre las membranas eucarióticas (las que tiene las células de nuestro cuerpo). Aquí estarían las polimixinas.



### 2.6.3. Antibióticos seleccionados

Antibiótico	Grupo	Farmacología	Mecanismo de Acción
<b>Nalidixic Acid 30 ug</b>	Quinilonas	El ácido nalidíxico es un agente antimicrobiano de síntesis con un espectro antibacteriano reducido. Es bacteriostático o bactericida en dependencia de su concentración. (EcuRed contributors, s.f.)	Parece actuar inhibiendo la síntesis bacteriana del ADN posiblemente interfiriendo con la polimerización del ADN. Se puede desarrollar resistencia rápidamente durante el tratamiento. (Vademecum, s.f.)
<b>Cefotaxime 30 ug</b>	Betalactámico	Antibiótico semisintético, pertenece al grupo de las Cefalosporinas de amplio espectro, de tercera generación. Tiene buena actividad frente a bacterias aerobias Gram positivas (con excepción de los estafilococos meticilínresistentes, enterococos y listerias) y Gram negativas (con Excepción de la mayoría de cepas de <i>Acinetobacter</i> y <i>Pseudomonas</i> y algunas de <i>Serratia</i> , <i>Citrobacter</i> , <i>Enterobacter</i> , <i>Klebsiella</i> y otras). (UNAM, s.f.)	Bactericida. Inhibe síntesis de pared celular bacteriana. (UNAM, s.f.)
<b>Ciprofloxacín 5 ug</b>	Fluoroquinolonas	Antibiótico sintético. Bactericida de amplio espectro, activo contra las bacterias Gramnegativas. Efectivo contra <i>Pseudomonas Aeruginosa</i> . Escasa actividad frente a patógenos Grampositivos y anaeróbicos	Inhibe la síntesis del ADN bacteriano La bacteria queda incapacitada para dividirse y finalmente muere sin proliferar (AEMPS, 1999)

<b>Trimethoprim 2.5 ug</b>	Diaminopirimidinas	Antibiótico con acción bactericida. Presenta un espectro antibacteriano moderadamente amplio, actuando sobre cocos Gram positivos y cocos y bacilos Gram negativos aeróbicos, en especial sobre enterobacterias. Es inactivo frente a <i>Neisseria</i> , <i>Mycobacterium</i> , <i>Nocardia</i> , <i>Chlamydia</i> y <i>Pneumocystis</i> , así como sobre bacterias anaeróbicas estrictas (AEP Asociación Española de Pediatría, 2016)	Actúa inhibiendo la síntesis de tetrahidrofolato (forma activa del ácido fólico), inhibe el crecimiento bacteriano al interferir en la síntesis de ácidos nucleicos. (AEP Asociación Española de Pediatría, 2016)
<b>Amoxicillin 30 ug</b>	Betalactámico	Antibiótico semisintético derivado de la penicilina bactericida de amplio espectro. Presenta un espectro más amplio frente a microorganismos Gramnegativos ( <i>H. influenzae</i> , <i>E. coli</i> , <i>P. mirabilis</i> y <i>N. gonorrhoeae</i> .) que otras penicilinas, conservando su acción frente a gérmenes Grampositivos. (Estreptococos, estafilococos no productores de penicilinas.)	Actúa inhibiendo la biosíntesis del mucopéptido de la pared celular bacteriana.
<b>Ceftriaxone 30 ug</b>	Betalactámico	Pertenece a la cefalosporinas de tercera generación de amplio espectro en contra de bacterias Gramnegativas y Grampositivas	Bactericida de amplio espectro y acción prolongada. Inhibe la síntesis de pared celular bacteriana.
<b>Penicilina 10 ug</b>	Betalactámico	Bactericida de espectro reducido. Estas tienen la mayor actividad contra organismos Gram positivos, cocos Gram negativos y organismos anaerobios que no producen $\beta$ -lactamasa (Suarez, 2008)	Inhibe selectivamente diferentes pasos de la síntesis del péptido glicán (mureína), sustancia que le confiere la forma, rigidez y estabilidad a la membrana celular de casi todas las bacterias de importancia médica. (B, 2007)

Tabla 10. Clasificación de los Antibióticos Seleccionados

Fuente: Autoría Propia

## 2.7. Resistencia bacteriana

La resistencia a los antimicrobianos es la capacidad de un microorganismo (bacterias, virus y algunos parásitos) para resistir los efectos de un antibiótico. Las bacterias que originalmente eran vulnerables al efecto de un medicamento antimicrobiano y que posteriormente no lo son, se consideran bacterias farmacorresistentes. La resistencia puede ser natural o adquirida; por selección natural a través de mutaciones producidas por azar, la resistencia natural es propia de cada familia, especie o grupo bacteriano. La resistencia adquirida es variable y adquirida por una cepa de una especie bacteriana. (R. Vignoli)

De acuerdo con la Organización de la Salud (OMS), la resistencia a los antibióticos es un problema global para la salud humana, en el que intervienen distintos factores interconectados, donde el agua juega un papel clave.

El uso inapropiado de los antibióticos durante periodos de tiempo mayores a los requeridos es un factor de riesgo alto que crea resistencia en las bacterias. El abuso en el uso de los antibióticos tanto en las personas como en la ganadería ha propiciado un aumento incesante en la cantidad y diversidad de bacterias resistentes a estos medicamentos

Otro factor son las características microbiológicas, como la capacidad de intercambio de material genético y mutación; reservorios, resistencia intrínseca, y la habilidad de algunos patógenos de sobrevivir en superficies inanimadas (Serra, 2017).

Servicio		AMK	SAM	ATM	FEP	CTX	CAZ	CRO	CIP	DOR	ERT	IPM	MEM	TZP	TGC	
UCI	2010	%	0,7	29,4	16,4	11,3	13,9	11,3	11,0	35,4	66,7	0,3	0,3	0,2	8,5	0,6
		n	3.438	3.253	1.095	3.440	1.078	3.443	2.893	3.439	6	1.435	1.988	1.624	3.443	544
	2011	%	1,0	44,7	20,9	17,2	16,6	16,7	17,2	24,1		0,6	0,3	0	12,7	0
		n	779	559	583	778	688	779	688	779		688	777	773	779	363
	2012	%	0,7	33,0	16,8	13,0	11,5	12,9	16,0	37,2	0	0,5	0,2	0,2	8,5	0,2
		n	1.953	1.809	720	1.951	1.632	1.898	794	1.954	80	751	1.820	1.903	1.937	510
Hospitalización	2010	%	0,5	31,9	12,3	10,3	12,8	10,2	10,6	30,0	75,0	0,6	0,3	0,3	7,3	4,4
		n	3.839	3.571	1.319	3.838	1.872	3.832	3.089	3.836	12	2.164	2.910	2.332	3.823	476
	2011	%	0,7	42,8	19,4	16,9	16,3	16,8	17,3	33,3		0,9	0,2	0,3	11,3	1,0
		n	1.175	885	784	1.175	1.026	1.173	1.033	1.175		1.026	1.163	1.152	1.175	490
	2012	%	0,4	31,0	17,4	13,7	13,8	13,7	14,2	35,8	0,6	0,2	0,1	0	7,7	0,1
		n	3.216	2.887	1.555	3.209	1.899	3.111	2.435	3.213	162	1.618	2.202	2.393	3.216	1.120
Emergencias	2010	%	0,4	35,8	19,0	9,3	9,3	9,3	9,1	29,6	100	0,3	0,1	0,1	7,1	6,7
		n	3.415	3.195	542	3.415	1.901	3.415	3.229	3.417	1	2.038	2.232	2.123	3.415	224
	2011	%	0,3	35,5	10,8	8,6	9,2	8,5	8,4	26,9		0,2	0	0	8,4	0,2
		n	2.886	2.585	1.709	2.886	2542	2.889	2.635	2.885		2.636	2.881	2.627	2.885	1.410
	2012	%	0,2	33,7	13,2	9,2	9,2	9,0	9,4	28,9	0	0,1	0,1	0,1	6,5	0
		n	6.323	5.842	3.587	6.177	4.382	6.005	5.109	6.318	555	3.729	4.361	4.868	6.026	2.808
Consulta externa	2010	%	0,3	32,2	13,3	7,8	8,4	7,7	7,7	36,0	75,0	0,1	0,1	0,1	5,9	2,5
		n	12.713	11.844	2.610	12.714	7.064	12.714	12.568	12.714	8	8.653	8.804	7.626	12.711	557
	2011	%	0,2	34,7	9,5	7,9	8,3	7,9	7,9	32,4		0,1	0	0	5,9	0,1
		n	5.727	5.427	2.915	5.726	4.707	5.720	5.215	5.728		5.177	5.656	4.807	5.714	.2614
	2012	%	0,3	31,8	12,4	8,7	9,1	8,6	9,1	34,3	0,1	0,1	0,1	0,1	4,7	0,1
		n	1.3771	13.229	8.698	13.553	10.073	13.466	12.080	13.756	945	8.920	9.676	10.559	13.360	7.916

Tabla 11. Porcentaje de Resistencia a Antibióticos\* Según Tipo de Servicio por Año en E. Coli. (Renova 2010-2011)

UCI: unidades de cuidado intensivo.

\*Antibióticos: AMK: amicacina; SAM: ampicilina/sulbactam; ATM: aztreonam; FEP: cefepime; CTX: cefotaxime; CAZ: ceftazidime; CRO: ceftriaxona; CIP: ciprofloxacina; DOR: doripenem; ETP: ertapenem; IPM: imipenem; MEM: meropenem; TZP: piperacilina/tazobactam; TGC: tigecilina

Fuente: Extraído de: <http://www.scielo.org.co/pdf/inf/v18n1/v18n1a02.pdf>

Servicio			AMK	ATM	FEP	CAZ	CIP	DOR	IPM	MEM	TZP
UCI	2010	%	15,1	22,5	17,1	21,8	23,2	100	18,9	19,9	14,9
		n	695	559	695	692	697	1	660	612	693
	2011	%	24,8	39,3	33,7	35,3	28,8		34,0	32,2	25,1
		n	420	394	421	419	420		420	419	419
	2012	%	18,3	34,3	22,9	24,2	24,5	6,1	27,9	24,8	20,0
		n	591	508	590	570	592	33	562	589	594
Hospitalización	2010	%	13,9	22,5	15,5	17,5	21,2	66,7	15,3	17,5	14,1
		n	782	600	783	781	784	3	770	685	779
	2011	%	20,4	24,6	24,2	27,9	29,3		24,4	23,2	17,2
		n	475	414	475	476	475		476	475	477
	2012	%	16,3	35,7	22,0	25,8	25,2	4,0	25,8	23,4	19,5
		n	816	616	814	752	818	50	730	769	806
Emergencias	2010	%	12,5	18,6	12,2	16,4	19,4		13,5	11,8	12,7
		n	433	290	433	433	433		400	356	433
	2011	%	18,9	26,1	19,3	23,6	26,4	0	18,4	17,9	15,9
		n	322	280	322	322	322	4	321	319	320
	2012	%	16,5	28,4	18,3	20,0	24,2	0	22,2	19,0	16,0
		n	717	647	723	680	720	66	644	714	713
Consulta externa	2010	%	12,0	19,7	13,0	17,1	20,1	100	11,0	9,8	10,5
		n	957	583	957	955	957	1	935	874	954
	2011	%	14,7	24,8	13,8	17,2	20,3	0	13,4	12,4	10,7
		n	477	399	472	472	479	2	477	467	469
	2012	%	11,6	20,2	10,0	13,7	19,2	3,2	13,2	10,4	9,4
		n	852	786	849	819	850	63	772	833	841

Tabla 12. Porcentaje de Resistencia a Antibióticos\* según Tipo de Servicio por Año en *Pseudomonas Aeruginosa*. (Renova 2010-2012)

UCI: unidades de cuidado intensivo.

\*Antibióticos: AMK: amicacina; ATM: aztreonam; FEP: cefepime; CAZ: ceftazidime; CIP: ciprofloxacina; DOR: doripenem; IPM: imipenem; MEM: meropenem; TZP:piperacilina/tazobactam.

Fuente: Extraído de: <http://www.scielo.org.co/pdf/inf/v18n1/v18n1a02.pdf>

## 2.8. Microorganismos

### 2.8.1 E - Coli

*Escherichia coli* es un bacilo gram negativo, no esporulante, anaerobio facultativo de la familia Enterobacteriaceae, tribu o género *Escherichia*.

*Escherichia coli* (*E. coli*) es una bacteria que se encuentra normalmente en el intestino del ser humano y de los animales de sangre caliente. Esta bacteria coloniza el intestino pocas horas después del nacimiento y se le considera un microorganismo de flora normal. La mayoría de las cepas de *E. coli* son inofensivas. Sin embargo, hay algunas cepas de *E. coli*

productoras de toxinas, llamadas verotoxinas o toxinas de tipo shiga que pueden causar cuadros gastrointestinales graves en el ser humano. (OMS) (Rodríguez, 2002)

<i>Escherichia coli</i>	
<i>Escherichia coli</i>	
Clasificación científica	
Reino:	Bacteria
Filo:	Proteobacteria
Clase:	Gammaproteobacteria
Orden:	Enterobacteriales
Familia:	Enterobacteriaceae
Género:	<i>Escherichia</i>
Especie:	<i>E. coli</i> (( <i>E. freundii</i> ))
Nombre binomial	
<i>Escherichia coli</i>	

Fuente: Extraído de <https://www.uv.mx/personal/sbonilla/files/2011/06/Escherichia-coli-I.pdf>

### *Condiciones de supervivencia*

Las cepas de E.coli verotoxigénica (ECVT) sobreviven durante meses en el estiércol contaminando las aguas superficiales (bebida y riego), las verduras y frutas y la superficie de las tierras de cultivo. Estas bacterias se multiplican a temperaturas entre 6 y 50° C, con una temperatura óptima alrededor de 37° C. También, pueden crecer en presencia de un 6% de NaCl Para controlar el crecimiento hay que mantener los alimentos refrigerados y durante la congelación se inactiva. Son termorresistentes, pero se pueden eliminar con un tratamiento térmico a 65° C (Fuentes, 2017).

### **Etiología**

Con base en su mecanismo de patogenicidad y cuadro clínico, las cepas de E. coli causantes de gastroenteritis se clasifican en seis grupos:

- E. coli enterotoxigénica (ECET)
- E. coli enteropatógena (ECEP)
- E. coli enteroinvasiva (ECEI)
- E.coli enterohemorrágica (ECEH), también conocida como verotoxigénica (ECVT)
- E. coli enteroagregativa (ECEA)
- E. coli de adherencia difusa (ECAD)

Estas tres últimas se agrupan en E. coli productoras de toxina Shiga (ECTS) (Rodríguez, 2002).

Grupo	Sintomas clínicos	Epidemiología	Serogrupos y serotipos más comunes	Factores de patogenicidad
ETEC	Diarrea aguda acuosa	Niños menores de dos años y diarrea del viajero	O8:H9, O15:H11, O20:H-, O25:H-O27:H7, O78:H12, O148:H28, O159:H20	ST y LT CFA
EHEC	SUH, CH, diarrea sin sangre, dolor abdominal, fiebre, vómito	Niños y adultos que la adquieren por comer carne cruda o mal cocida	O157:H7 O26:H11, O103:H2, O113:H21 O119, O128, O145	STX A/E Intimina pO157
EIEC	Diarrea con moco y sangre o diarrea acuosa, también se presenta cuadro disentérico	Niños menores de seis meses	O28:H, O112ac:H-, O144:H-, O152:H-, 164:H-O167:H-	Invasividad Plásmido de 140MDa
EPEC	Diarrea aguda, dolor abdominal, vómito, fiebre baja	Niños menores de seis meses hasta dos años	O55, O86, O142, O111:H- O127,	A/E, BFP Plásmido EAF de 50-70MDa
EAEc	Diarrea líquida, verde con moco, sin sangre, diarrea persistente hasta 20 días	Recién nacidos y niños menores de dos años	O44:H18	Fimbria AAFI y II EASTI Proteínas Pet y Pic OMP Plásmido de 60 MDa Citotoxina
DAEC	Diarrea acuosa sin sangre	Niños de 1 a 5 años	O126:H27	Fimbria F1845 OMP

LT= toxina termolábil

ST= toxina termo estable

CFA= factor de colonización antigénico

BFP= pili con forma rizada

EAF= factor de adherencia de EPEC

OMP= proteína de membrana externa

STX= toxina shiga

EAST= toxina ST de cepas enteroagregativas

Tabla 13. Características de los grupos de E Coli causantes de diarrea

Fuente: Extraído de: [http://www.adiveter.com/ftp\\_public/E.coli.pdf](http://www.adiveter.com/ftp_public/E.coli.pdf).

### 2.8.2 Pseudomona. Aeruginosa

*Pseudomonas Aeruginosa* pertenece a la familia *Pseudomonaceae*. Bacilo recto o ligeramente curvado Gram negativo, no fermentado, que se comporta básicamente como un patógeno nosocomial oportunista con un tamaño de 2–4 x 0,5-1 micras, y móvil gracias a la presencia de un flagelo polar.

En relación con su metabolismo, es aerobio (aunque puede desarrollarse en condiciones anaerobias utilizando nitrato), catalasa positivo y oxidasa positivo. Se caracteriza por producir una variedad de pigmentos, como la piocianina (de color azul verdoso), la pioverdina (pigmento fluorescente de color verde amarillento) y la piorrubina (de color rojo).



Sus mínimos requerimientos nutricionales, su tolerancia a una amplia variedad de condiciones físicas y su resistencia intrínseca a un gran número de antibióticos, explican su papel ecológico como un importante y eficaz patógeno intrahospitalario (Gómez y colaboradores, 2005).

Las Pseudomonas son bacilos psicrofílicos, presentan flagelos peritricos, producen pigmentos (verde, azul verdoso, rojo, marrón) y no forman esporas. La morfología y el hábitat de muchas pseudomonas coincide con el de bacterias entéricas como Escherichia coli pero se diferencian en que no fermentan azúcares. Según el Manual de Bergey este grupo admite 7 especies, siendo Pseudomonas aeruginosa la de mayor relevancia sanitaria, es un patógeno oportunista por excelencia y el agente etiológico principal de infecciones en vías urinaria, intestino, oído y heridas. Por su relativa resistencia al cloro es considerada un indicador de eficiencia de la cloración. Su presencia en sistemas de almacenamiento, tanque, y cisternas, responde a un estado deficiente de dichas instalaciones. El control de pseudomonas, al igual que el de bacterias aeróbicas, debe intensificarse en redes expuestas a contaminación o cuando se comprueba cloración deficiente (Apella & Araujo).

- ***Condiciones de supervivencia***

Se encuentra ampliamente distribuida en la naturaleza, en el agua (ríos, lagos, depósitos, duchas, bañeras, piscinas y piscinas de hidromasaje, etc.), en los suelos húmedos, en los vegetales y en los materiales húmedos (alimentos, fómites); también puede formar parte de la flora microbiana normal saprófita de las zonas húmedas de la piel (axilas, conducto auditivo, región perineal y mucosas).

Su temperatura óptima de crecimiento es de 37°C, pero puede tolerar temperaturas de hasta 45°C - 50°C. Puede sobrevivir durante al menos 70 días en agua destilada.

- ***Mecanismo de propagación y transmisión***

La transmisión se produce principalmente a través del contacto de la piel lesionada o reblandecida y de las mucosas con el agua o con los objetos contaminados. En el ámbito sanitario, constituyen una fuente de infección para los pacientes el instrumental quirúrgico, los respiradores, los catéteres o las manos del personal sanitario contaminadas, entre otros.

Otros mecanismos de transmisión son la inhalación de bioaerosoles o gotitas de agua o fluidos contaminados, así como la ingesta de agua contaminada, si bien esta última no constituye una vía importante de transmisión.



- ***Efectos tóxicos***

Su patogenicidad está determinada por diversos factores de virulencia, que dependen de la cepa y entre los cuales destacan los pili, el flagelo, la matriz de polisacáridos (alginato), los pigmentos, las elastasas, las proteasas alcalinas, las lectinas solubles, la fosfolipasa C y diversas toxinas.

- ***Prevención y control***

Desinfectantes Hipoclorito sódico al 1%, etanol al 70%, glutaraldehído al 2%, formaldehído, alcohol isopropílico al 4%. Ha mostrado resistencia a desinfectantes usados para el tratamiento del agua de bebida, como el cloro, las cloraminas, el ozono y el yodo.

- ***Inactivación física***

La inactivación se realiza con calor húmedo a 121°C durante un mínimo de 15 minutos, o con calor seco a 170°C-250°C durante al menos 30 minutos.

- ***Antimicrobianos***

Penicilinas de amplio espectro (ticarcilina, azlocilina, piperacilina), aminoglucósidos, cefalosporinas, fluoroquinolonas, polimixinas, monobactámicos. Hay cepas multirresistentes, por ejemplo, frente a carbenicilinas, cefalosporinas, ceftazidima y ciprofloxacino.

- ***Mecanismos de resistencia***

*Pseudomonas aeruginosa* es resistente, tanto de manera natural como adquirida, a un gran número de antibióticos, como cefalosporinas de primera y segunda generación, tetraciclinas, cloranfenicol y macrólidos (2). Esto se debe a las características de su membrana celular que tiene propiedades excepcionales de impermeabilidad. La resistencia a los AB usualmente activos sucede en el medio hospitalario. Las cepas pueden transmitirse entre ellas el material genético que media la resistencia, incluso a partir de otras bacterias Gram negativas como las enterobacterias.

### **2.8.3. Efectos toxicológicos y patogenicidad de *Pseudomona aeruginosa* y *E.Coli***

Su patogenicidad está determinada por diversos factores de virulencia, que dependen de la cepa y entre los cuales destacan los pili, el flagelo, la matriz de polisacáridos (alginato), los pigmentos, las elastasas, las proteasas alcalinas, las lectinas solubles, la fosfolipasa C y diversas toxinas, las cuales pueden indicar diferentes grados de contaminación.

Bacteria	Toxina	Efecto
E.Coli	verotoxina o Shiga	Inactivan a la subunidad 60S de los ribosomas eucariotas por medio de la ruptura del ARNr. De esta manera, las toxinas inhiben la síntesis de proteínas. la principal manifestación de la actividad de la toxina shiga son los daños ocasionados al epitelio intestinal, sin embargo también puede causar daño en las células endoteliales glomerulares en un pequeño número de pacientes, lo que da lugar a insuficiencia renal.
P. Aeruginosa.	Endotoxina.	Responsable de la estimulación excesiva del sistema inmunitario, puede provocar shock séptico y producir la muerte.
P. Aeruginosa.	Exotoxina A.	Citotóxica. Inhibe la síntesis proteica celular, es responsable de necrosis tisular y afecta la respuesta del hospedador a la infección.
P. Aeruginosa.	Exoenzima S (ExoS).	Citotóxica. Facilita la adhesión de la bacteria a las células epiteliales y la necrosis tisular.
P. Aeruginosa.	Exoenzima T (ExoT).	
P. Aeruginosa.	Exoenzima U (ExoU).	Citotóxica. Produce lesiones en las células epiteliales, es responsable de bacteremia e, incluso, de shock tóxico.

Tabla 14. Toxinas generadas por E-Coli y P. Aeruginosa

Fuente: Extraído de: <https://www.aspb.cat/wp-content/uploads/2016/10/Infecciones-E-coli.pdf>

## 2.9. Toxicidad

La toxicidad de una sustancia, de origen artificial o natural, se define como la capacidad que tiene dicha sustancia que al entrar en contacto físico con un organismo vivo puede producir efectos biológicos perjudiciales. La toxicidad depende de diferentes factores: dosis, duración y ruta de exposición, forma y estructura de la sustancia y factores humanos individuales.

- **Sustancia tóxica:** es una sustancia externa, veneno que puede matar o lesionar a un organismo vivo, el término tóxico se utiliza cuando se hace referencia a sustancias tóxicas producidas por las actividades humanas o son derivadas de éstas
- **Acción tóxica:** capacidad relativa de una sustancia para ocasionar daños en los organismos vivos una vez que ha alcanzado un punto del cuerpo susceptible a su acción.
- **Intoxicación :** Desde el punto de vista de tiempo de aparición de los signos y síntomas relacionados con la exposición a los tóxicos, podemos hablar de:
  - Aguda: exposición corta y rápida, no superior a 24h, antes de la aparición de síntomas.
  - Subaguda: exposición inferior a 28 días.
  - Subcrónica: exposición inferior a 90 días.
  - Crónica: Periodos superiores a 90 días (Servicio de Prevención de Valencia CSIC).

- **Toxina:** se denomina toxina a sustancias tóxicas producidas naturalmente, es una sustancia venenosa de origen microbiano, vegetal o químico sintético que reacciona con componentes celulares específicos para matar células, alterar el crecimiento o desarrollo o destruir el organismo (ATSDR, s.f.)

## **2.10. Aislamiento bacteriano**

Método o técnica de laboratorio utilizado para establecer la identidad de un microorganismo.

El aislamiento bacteriano se define como la separación de un determinado organismo del resto que lo acompañan. Esta técnica es usada en laboratorios de microbiología para la transferencia de un microorganismo de un ambiente a otro con la finalidad de inducir su crecimiento para su identificación (Geminy, 2013).

### **2.10.1 Medio de cultivo**

Un medio de cultivo es un conjunto de nutrientes, factores de crecimiento y otros componentes que crean las condiciones necesarias para el desarrollo de los microorganismos (Nuñez, 2015).

Existen varios tipos de medio de cultivo:

*Medios generales:* Son aquellos que permiten el crecimiento de una gran variedad de microorganismos.

*Medios de enriquecimiento:* Son aquellos que favorecen el crecimiento de un determinado tipo de microorganismo sin llegar a inhibir totalmente el crecimiento de los demás.

*Medios selectivos:* Son aquellos que permiten el crecimiento de un tipo de microorganismos determinado, inhibiendo el desarrollo de los demás.

*Medios diferenciales:* Son aquellos en los que se pone de manifiesto propiedades que un determinado tipo de microorganismos posee (Nuñez, 2015)

### **2.10.2. Agar Müller Hinton**

Es un medio de cultivo microbiológico utilizado en la estandarización del procedimiento de difusión de disco para realizar las pruebas de sensibilidad a antibióticos para bacterias de rápido crecimiento por el Método de Kirby-Bauer.

Es un medio de cultivo no selectivo y no diferencial, lo cual significa que prácticamente todos los microorganismos que se cultivan ahí, crecerán exitosamente debido a su superficie, es un agar suelto, lo que permite una mejor difusión de los antibióticos, por lo que se observarán las zonas de inhibición verdaderas. Contiene almidón, que absorberá las toxinas liberadas por las propias bacterias, de modo que no interfieran con los antibióticos.

Extracto de carne	2,0 g
Hidrolizado ácido de caseína	17,7 g
Almidón	1,5 g
Agar	17,0 g

Tabla 15. Composición por litro de agua destilada de Agar Müller Hinton

Fuente: Extraído de: [www.biosystemsantioquia.com.co/.../221177-ficha-tecnica-mueller-hinton-min.pdf](http://www.biosystemsantioquia.com.co/.../221177-ficha-tecnica-mueller-hinton-min.pdf)

### 2.10.3. Agar MacConkey

Medio de cultivo selectivo y diferencial para bacterias, utilizado para el aislamiento y diferenciación de bacilos Gram negativos y entéricos. Llevan en su composición sales biliares y cristal violeta que inhiben el crecimiento de grampositivos y hongos. Las bacterias fermentadoras de lactosa (lactosa+) acidifican el medio y adquieren un color rosado (por ejemplo, E. coli), mientras que las no fermentadoras de lactosa (lactosa-) aparecen incoloras (por ejemplo, Salmonella)

En este medio crecerán todos los organismos de la familia *Enterobacteriaceae* y varios bacilos gram negativos, por ejemplo, *Pseudomonas* y otros géneros relacionados. Los organismos no fermentadores y otros bacilos gram negativos sensibles a los componentes selectivos no crecen en este medio.



*Figura 8.* Placa de agar MacConkey con crecimiento característico de *Escherichia coli* (bacterias gramnegativas, lactosa+)

Fuente: <https://www.sintesis.com/data/indices/9788490773185.pdf>

Hidrolizado pancreático de gelatina	17,0 g
Hidrolizado pancreático de caseína	1,5 g
Hidrolizado péptico de tejidos animales	1,5 g
Lactosa	10,0 g
Sales biliares	1,5 g
Cloruro Sódico	5,0 g
Rojo neutro	0,03 g (pH 7.1 ± 0.2)
Cristal violeta	0,001 g
Agar	13,5 g

*Tabla 16.* Composición del Agar MacConkey por litro de agua destilada

Fuente: Extraído de: <https://www.probiotek.com/productos/reactivos/medios-de-cultivo-reactivos/agar-de-mac-conkey/>

#### 2.10.4. Técnicas de aislamiento

El Aislamiento bacteriano consiste en separar un determinado microorganismo (bacteria) de un grupo que lo acompaña.

Existen diferentes técnicas de aislamiento:

- Siembra por estriado en placa de Petri
  - Vaciado en placa
  - Cultivo por dilución y agitación
  - Aislamiento con varilla angular de vidrio
  - Aislamiento con aplicadores de algodón
  - Siembra por picadura (Morales, 2014)
- 
- **Proceso**
    1. Selección del medio de cultivo
    2. Inoculación de la muestra
    3. Siembra de la muestra
    4. Incubación
    5. Aislamiento de colonias
    6. Identificación

#### 2.11 Método de Kirby Bauer

El método Kirby-Bauer, también conocido como antibiograma, es una de las pruebas que se les realiza a bacterias aisladas con diferentes tipos de antibióticos para conocer su resistencia o susceptibilidad hacia los mismos (Bernal & Guzmán, 1984)

La prueba de Kirby-Bauer se lleva a cabo bajo condiciones asépticas, distribuyendo el inóculo de una bacteria aislada en una placa Petri con agar de Mueller Hinton. Mueller Hinton es el medio de cultivo de preferencia para esta prueba por su contenido de sustancias que permite el crecimiento normal de la mayoría de las bacterias patógenas. Luego se le colocan discos distantes impregnados con diferentes antibióticos que pueden ser de distintas concentraciones. La placa se incuba sin invertir entre 16 a 18 horas a 37°Celsius (temperatura óptima para el crecimiento de las bacterias). Finalmente, se leen los resultados, los cuales se determinan midiendo las zonas de inhibición del crecimiento de la bacteria por la efectividad del antibiótico. La determinación de la susceptibilidad o resistencia de la bacteria hacia los antibióticos se realiza utilizando como referencia los estándares del *Comité Nacional para Estudios de Laboratorios Clínicos*.

La prueba de sensibilidad hacia antibióticos es una herramienta muy útil en las clínicas, pero debe realizarse cuidadosa y correctamente porque hay factores que pueden afectarla, como por ejemplo, la mala distribución de la bacteria, el deslizamiento de los discos en el agar o un tiempo prolongado de incubación, lo que trascendería en la obtención de resultados no confiables (Joshi S, 2010).

Antimicrobiano	Carga del disco	Diámetro del halo (mm) ó CMI ( $\mu\text{g/ml}$ )				
		Resistente		Intermedio	Sensible	
		$\leq 14$ mm	$\geq 32$ $\mu\text{g/ml}$		$\geq 18$ mm	$\leq 4$ $\mu\text{g/ml}$
<b>CEFALOSPORINAS:</b>						
Cefazolina, cefalotina, cefuroxima, cefoxitina, ceftazidima y cefepima	30 $\mu\text{g}$	14	32	15-17	18	4
Cefotaxima, moxalactama	30 $\mu\text{g}$	14	8	15-22	23	1
Cefminox, cefotetán	30 $\mu\text{g}$	14	32	15-17	18	2
Ceftriaxona	30 $\mu\text{g}$	13	8	14-20	21	1
<b>AMINOGLUCÓSIDOS:</b>						
Kanamicina	30 $\mu\text{g}$	13	32	14-17	18	8
Estreptomicina	10 $\mu\text{g}$	11	-	12-14	15	-
Amicacina	30 $\mu\text{g}$	14	32	15-16	17	8
Gentamicina, tobramicina	10 $\mu\text{g}$	12	16	13-14	15	4
<b>QUINOLONAS:</b>						
Acido nalidixico	30 $\mu\text{g}$	13	32	14-18	19	4
Norfloxacino	10 $\mu\text{g}$	12	8	13-16	17	1
Ciprofloxacino	5 $\mu\text{g}$	15	4	16-20	21	0,1
Ofloxacino	5 $\mu\text{g}$	12	8	13-15	16	0,5
<b>OTROS ANTIMICROBIANOS:</b>						
Eritromicina	15 $\mu\text{g}$					
<i>Streptococcus</i> spp.		15	2	15-20	21	0,5
Otras bacterias Gram (+)		13	2	14-22	23	0,5
Clindamicina	2 $\mu\text{g}$	14	4	15-20	21	0,5
Vancomicina	30 $\mu\text{g}$	9	32	10-11	12	4
Fosfomicina	50 $\mu\text{g}$	13	64		14	16
Nitrofurantoina	300 $\mu\text{g}$	14	128	15-16	17	64
Trimetoprim/ Sulfametoxazol	1,25/ 23,75 $\mu\text{g}$	10	8/152	11-15	16	2/38
Tetraciclina	30 $\mu\text{g}$					
<i>Haemophilus</i> spp.		25	4	26-28	29	2
<i>Neisseria gonorrhoeae</i>		30	2	31-37	38	0,25
Otras bacterias		14	16	15-18	19	4

Antimicrobiano	Carga del disco	Diámetro del halo (mm) ó CMI ( $\mu\text{g/ml}$ )				
		Resistente		Intermedio	Sensible	
		$\leq$ mm	$\mu\text{g/ml} \geq$		$\geq$ mm	$\leq \mu\text{g/ml}$
<b><math>\beta</math>-LACTÁMICOS:</b>						
<b>Penicilina G</b>	10 U					
<i>Staphylococcus</i>		28	0,25		29	0,12
<i>Neisseria gonorrhoeae</i> (b)		26	2	27-46	47	0,06
<i>Streptococcus pneumoniae</i>		-	2		-	0,06
<i>Streptococcus pyogenes</i>		19	4	20-27	28	0,12
<i>Enterococcus</i> (c)		14	16		15	8
<b>Oxacilina</b>	1 $\mu\text{g}$					
<i>Staphylococcus</i>		10	4	11-12	13	2
<i>Streptococcus pneumoniae</i> (d)		19	-		20	-
<b>Ampicilina</b>	10 $\mu\text{g}$					
<i>Staphylococcus</i>		28	0,5		29	0,25
<i>Listeria monocytogenes</i>		19	4		20	2
<i>Streptococcus pyogenes</i>		21	2	22-29	30	0,12
<i>Enterococcus</i>		16	16		17	8
<i>Haemophilus</i> spp.		21	7	22-29	25	1
Enterobacterias		13	32	14-16	17	8
<b>Ampicilina/Sulbactam</b>	10/10 $\mu\text{g}$					
Enterobacterias		11	32	12-14	15	8
<i>Haemophilus</i> spp.		19	4		20	2
<b>Amoxicilina/Clavulanato</b>	20/10 $\mu\text{g}$					
<i>Staphylococcus</i>		19	0,5		20	0,25
<i>Haemophilus</i>		19	4		20	2
Otras bacterias		13	32	14-17	18	8
<b>Carbenicilina</b>	100 $\mu\text{g}$					
Enterobacterias		19	64	20-22	23	16
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>		13	128	14-16	17	64
<b>Mezlocilina</b>	75 $\mu\text{g}$					
		17	128	18-20	21	16
<b>Piperacilina</b>	100 $\mu\text{g}$					
Enterobacterias		17	128	18-20	21	16
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>		14	128		15	16
<b>Aztreonam</b>	30 $\mu\text{g}$					
		14	8		15	1
<b>Ticarcilina</b>	75 $\mu\text{g}$					
Enterobacterias		14	128	15-19	20	16
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>		14	16		15	32
<b>Imipenem</b>	10 $\mu\text{g}$					
Enterobacterias, <i>P. aeruginosa</i> *		13	16	14-15	16	2(4)*
<i>Haemophilus</i> spp.		e	e	e	26	2

Tabla 17. Sensibilidad a Antimicrobianos

Fuente: Extraído de: <http://practicamicrobiologia.blogspot.com/2016/01/metodo-kirby-bauer.htm>

## 2.12 Antibiograma

Un antibiograma es una prueba microbiológica que consiste en el análisis detallado de una especie de bacteria en cuanto a la susceptibilidad a un panel de antibióticos.



Las técnicas de antibiograma son las utilizadas en el laboratorio de microbiología para estudiar la actividad de los antimicrobianos frente a los microorganismos responsables de las infecciones. Con un antibiograma se pueden obtener resultados cualitativos que indican si la bacteria es sensible o resistente a un antibiótico, o cuantitativos que determinan la concentración mínima (CMI) de antimicrobiano que inhibe el crecimiento bacteriano (en  $\mu\text{g/ml}$  o en  $\text{mg/l}$ ) (Águila, 2016)

- *Técnicas de estudio de sensibilidad*

El estudio de la sensibilidad de los microorganismos a los antimicrobianos se realiza principalmente por métodos fenotípicos de dilución o de difusión (antibiograma), otros métodos son los bioquímicos y genéticos. (Cercenado, 2009)

Las técnicas de dilución proporcionan resultados cuantitativos (concentración mínima inhibitoria, CMI) y las de difusión cualitativos (sensible, intermedio, resistente). Ambos métodos son comparables ya que hay una correlación directa entre el diámetro del halo de inhibición con un disco y la CMI. (Cercenado, 2009)

Las técnicas bioquímicas y genéticas permiten detectar el mecanismo o el gen de resistencia en minutos u horas.

Entre los métodos fenotípicos, las técnicas de dilución determinan la CMI utilizando un medio líquido (dilución en caldo) o un medio sólido (dilución en agar) para disolver las diferentes concentraciones del antimicrobiano. El medio estandarizado para la realización del antibiograma es el medio Mueller-Hinton, al que se le añade sangre u otros suplementos para bacterias que no crecen en él. (Cercenado, 2009)

Las técnicas de difusión emplean discos de papel impregnados con una solución estandarizada de antibiótico que se disponen sobre la superficie de un medio sólido previamente inoculado en su superficie con una suspensión bacteriana. Tras un período de incubación de 18 h, el diámetro del halo formado está en relación con el grado de sensibilidad del microorganismo. (Cercenado, 2009)

- *Interpretación de los resultados*

La interpretación de los resultados del antibiograma obtenidos permite clasificar los microorganismos en categorías clínicas: sensible, intermedio o resistente, se realiza en función de los valores establecidos por diferentes comités, como el Clinical and Laboratory Standards Institute en Estados Unidos, el European Committee on Antimicrobial Susceptibility Testing en Europa y la Mesa Española de Normalización de la Sensibilidad y Resistencia a los Antimicrobianos. Estos comités determinan y establecen puntos de corte basados en propiedades microbiológicas, farmacocinéticas y de eficacia clínica, para definir la sensibilidad (éxito

terapéutico) o resistencia de las diferentes especies bacterianas a cada antimicrobiano (Cercenado, 2009)

Un requisito esencial para poder realizar una adecuada lectura interpretada es conocer la identidad del microorganismo estudiado, tanto el género como la especie, ya que sin ella el resultado puede llevar a errores en la utilización de los antimicrobianos. Otro requisito para poder realizar correctamente la lectura interpretada del antibiograma es conocer el fenotipo de sensibilidad de un microorganismo, ya que hay bacterias que siempre son resistentes a determinados antibióticos y otras que siempre son sensibles, y la desviación de estos patrones indica si el patrón del antibiograma corresponde a un fenotipo habitual, raro o imposible.

### **2.13. Principales referentes teóricos**

La resistencia bacteriana causada por el uso excesivo de antibióticos y al mal manejo de los vertimientos hospitalarios representan una grave problemática ambiental y en la salud pública, según el artículo “Frecuencia de aislamientos microbiológicos y perfil de resistencia bacteriana en 13 clínicas y hospitales de alta complejidad en Santiago de Cali – Colombia” en cabeza del doctor Ernesto Buitrago Martínez *“La resistencia bacteriana se consolida como una amenaza para los sistemas de salud en el manejo de las enfermedades infecciosas. La vigilancia epidemiológica de la resistencia bacteriana ha demostrado ser una estrategia efectiva para conocer los patrones de susceptibilidad a los antimicrobianos regionales para el desarrollo de medidas de contención y gestión del uso adecuado de antimicrobianos”* (Buitrago y colaboradores, 2014)

Dando como resultado que existe una alta resistencia en los microorganismos de la región de Santiago de Cali, en donde se realiza el estudio, además que esta resistencia puede alcanzar unos valores de hasta el 65% frente a antibióticos como el cefalosporinas de 3.a generación y carbapenémicos en las zonas donde se ha visto expuesta el ambiente a cepas patógenas y altas cargas de estos antimicrobianos y en cepas extraídas del ambiente hospitalario.

Un importante estudio en el tema de resistencia bacteriana a causa de los vertimientos hospitalarios en Colombia, es realizado por un numeroso grupo de investigadores a la cabeza de la Doctora Andrea Patricia Villalobos Rodríguez y ha sido presentado en diferentes artículos entre los de mayor importancia por la rigurosidad y seriedad de su metodología experimental “Tendencias de los fenotipos de resistencia bacteriana en hospitales públicos y privados de alta complejidad de Colombia”. Que emplea cepas bacterianas tomadas de pacientes infectados por un grupo de bacterias patógenas, para evaluar el grado de resistencia de estos microorganismos.

Uno de los puntos más importantes de este estudio, dentro del análisis de los efectos generados por el empleo de los antibióticos inadecuadamente, es el uso de toda la sintomatología del paciente, la

determinación de nuevos fenotipos generados por esas bacterias o alteraciones sobre los comunes y análisis realizados directamente a cepas activas en infecciones bacterianas en pacientes de los hospitales asociados. Según lo expuesto en su publicación *“Las tendencias observadas muestran que la resistencia bacteriana a los antimicrobianos en el ámbito hospitalario es un fenómeno dinámico en Colombia y son evidencia de la emergencia de los fenotipos Efa-van y Kpn-imp en los hospitales”* (Villalobos y colaboradores, 2011)

Algunos grupos de investigación del sector salud, han evaluado diferentes condiciones que presentan los microorganismos con altos niveles de resistencia a antimicrobianos, así como de todas sus implicaciones genéticas sobre poblaciones naturales de estos organismos, y sus principales mecanismos y medios de contagio, uno de estos estudios es presentado en el artículo *“Características microbiológicas y patrones de resistencia en infecciones de prótesis articular en un hospital de referencia”*, para este estudio se tomaron un gran número de pacientes que presentaban condiciones de infección intracelulares por bacterias sobre prótesis articulares y se incluyeron pacientes a los que se les retiró la prótesis articular por sospecha de aflojamiento aséptico y séptico. Se hizo búsqueda microbiológica y análisis de susceptibilidad. Dando como conclusión que; *“Las características microbiológicas encontradas en infecciones de prótesis articular varía de acuerdo a los centros hospitalarios; en esta serie se encontró una proporción alta de Staphylococcus coagulasa negativos y Enterococcus spp., así como una alta resistencia bacteriana”* (Ortega y colaboradores, 2015).

Actualmente también se vienen trabajando estudios a escala global, que tratan de dar respuesta al rápido aumento de enfermedades de carácter infeccioso por microorganismos, y que se han centrado principalmente en el efecto de los antibióticos sobre la resistencia bacteriana, así como los protocolos de medicación que se están aplicando en los hospitales, presencia de microorganismos con características de resistencia bacteriana luego de tratamientos convencionales empleando antibióticos y el consumo de antibióticos en general.

Uno de los estudios que posiblemente sean capaces de dar respuesta a estos predicamentos se trata de *“Consumo de antibióticos y su posible relación con la resistencia bacteriana en la región sanitaria Costa de Ponent: análisis evolutivo durante los períodos inicial y final de la última década”* que ha adelantado durante más de diez años estudios sobre el consumo de antibiótico y su relación en la resistencia bacteriana, este estudio se centró en la región sanitaria Costa de Ponent por tratarse de una zona que evidencia un alto grado de resistencia bacteriana, trabajando con una población que tuvo un alto consumo de antibióticos, así en el período 1993-1996 de 1.158.098 habitantes, y durante el período 2000-2002 de 1.188.007 habitantes, encontrando entre los resultados con respecto al consumo de antibióticos; *“A pesar de que el CAB global fue elevado y acorde con la alta tasa de resistencias bacterianas de nuestra área, se observó una tendencia evolutiva satisfactoria. La disminución del consumo en el segundo período no fue significativa,*

*pero sí se constató una modificación apropiada de su perfil: predominio de aminopenicilinas y reducción de macrólidos, cefalosporinas y fluoroquinolonas” (Solé y colaboradores, 2004)*

Las bacterias potencialmente patógenas se liberan constantemente en las aguas, muchas de ellas albergan genes de resistencia a antibióticos que se insertan en plataformas genéticas móviles (plásmidos, transposones e integrones) capaces de propagarse entre las comunidades bacterianas que viven en el agua y en el suelo (Venegas et al., 2009).

Las bacterias y los genes de resistencia a antibióticos se encuentran en todo el mundo, sin embargo la amplia difusión de ellos indica que su presencia en ecosistemas naturales puede ser alta (Zheng et al., 2011). Por esta razón, los genes de resistencia a antibióticos están siendo considerados como los propios contaminantes. Puesto que ellos se encuentran naturalmente en los cromosomas de las bacterias del medio ambiente. La contaminación por antibióticos es relevante, porque la liberación de los antibióticos, junto con las bacterias resistentes puede afectar también la microbiota ambiental (Chang et al., 2012; Muñoz et al., 2007).

Las bacterias resistentes a los antibióticos se liberan en las aguas a través de la orina, heces, eventualmente cadáveres, estiércol, que usan como ruta principal las aguas residuales de los hospitales, efluentes municipales, de la industria ganadera y piscícola sé que constituyen probablemente en las mayores fuentes de bacterias y de genes de resistencia a antibióticos que se liberan en el medio ambiente. Por tanto es prioritario investigar sobre cuáles son las barreras adecuadas que impidan su incorporación en el medio ambiente (Baquero et al., 2008). El uso intensivo de compuestos químicos persistentes, aumenta la presión selectiva en bacterias, facilitado la transferencia de la resistencia a antibióticos entre las comunidades de bacterias en ambientes acuáticos que producen efectos adversos en peces, invertebrados, tortugas, sedimentos marinos, entre otros (Figura 1) (Anderson & Hughes, 2012; Ozaktas et al. 2012).

Entre los efectos ambientales de la contaminación por bacterias resistentes a antibióticos se puede presentar que si una sustancia que no se elimina de ninguna manera puede alcanzar el medio ambiente con el potencial de afectar adversamente a los organismos acuáticos y terrestres (Kümmerer, 2009; Yangali et al. 2010).

La contaminación por los genes de resistencia a antibióticos puede aumentar las posibilidades de patógenos humanos para la adquisición de la resistencia. Se ha propuesto que la liberación de los residuos de los hospitales que contienen comensal humano y bacterias infectivas (resistentes y susceptibles), así como antibióticos, se debe reducir a un mínimo para evitar el intercambio de material genético.

El contacto de la microbiota humana con otro tipo de microbiota en diferentes ecosistemas aumentará la posibilidad de la variación genética y la posible de aparición de nuevos mecanismos

de resistencia que se vuelven a introducir en el entorno humano (Torreblanca & López, 2005; Baquero et al., 2008).

La propagación de genes de resistencia en los ecosistemas naturales puede desafiar la dinámica poblacional y la fisiología de las poblaciones microbianas naturales (Parisien et al. 2008).

### **Capítulo 3. Metodología del proyecto.**

Estudio descriptivo con un enfoque cuantitativo, enmarcado en la estrategia de vigilancia epidemiológica de la resistencia bacteriana, con un alcance exploratorio y descriptivo, para la identificación y caracterización de microorganismos patógenos entero bacterias, coliformes fecales cultivables (*Pseudomonas Aeruginosa* y *Escherichia E.Coli*) de diferentes puntos de muestreo en el Hospital Federico Lleras Acosta, en la red de alcantarillado de la ciudad de Ibagué conectado a este, y las fuentes hídricas donde se disponen finalmente estas aguas (Río Combeima), así como el análisis en un laboratorio de microbiología especializado para la determinación de resistencia bacteriana por el método de Frecuencia de aislamientos microbiológicos y perfil de resistencia bacteriana por el método de Kirby Bauer, sobre antimicrobianos de alto consumo en la región (Nalidixic Acid Na 30 ug, Cefotaxime Ctx 30 ug, Ciprofloxacina Cip 5 ug, Trimethoprim Tm 2.5 ug, Amoxicillin Aml 30 ug, Ceftriaxone 30 ug) desarrollado en un periodo comprendido entre el mes de marzo y agosto del año 2018 en una institución de alta complejidad.

#### **3.1 Identificación de la red de alcantarillado interna, cajillas de inspección, pozos y drenajes en el Hospital Federico Lleras Acosta**

Para la identificación de la red de alcantarillado del hospital se realizó una revisión en campo de la estructura hidráulica del hospital, con apoyo del grupo de inspección de redes y matrices de alcantarillado del IBAL mediante el empleo de equipo Video Robot en el perímetro Hidrosanitario de interés. Se categorizó el nivel de riesgo de las aguas procedentes de cada unidad teniendo en cuenta el tipo de servicio que se realiza en cada una de ellas de la siguiente forma: (Riesgo alto, Riesgo medio, Riesgo bajo y Sin Riesgo).

#### **Unidades de Riesgo Alto:**

##### **Unidad funcional internación médica**

- Hospitalización servicios
- Hospitalización UCIS
- Psiquiatría
- Sala de partos

**Unidad funcional de quirúrgicos**

- Quirófano y recuperación
- Central de esterilización

**Unidad funcional de urgencias**

- Urgencias

**Unidad funcional ambulatorio y de apoyo a la atención**

- Laboratorio clínico
- Banco de sangre
- Patología
- Rehabilitación
- Gastroenterología
- Oncología
- V. Epidemiología, infecciones y estad

**Unidades de Riesgo Medio:****Unidad funcional internación médica**

- Nutrición y soporte

**Unidad funcional de quirúrgicos**

- Programación de cirugía

**Unidad funcional de urgencias**

- Referencia y contra referencia

**Unidad funcional ambulatorio y de apoyo a la atención**

- Consulta externa y citas
- Imagenología
- Servicio farmacéutico
- Sistema de atención al usuario

**Unidades de Riesgo Bajo:****Unidad administrativa**

- Gerencia
- Asesor fiscal
- Oficina de asesoría jurídica
- Oficina de asesoría de planeación y calidad
- Oficina de control disciplinario
- Oficina de control interno
- Docencia e investigación
- Gestión comercial y cartera
- Presupuesto

- Contabilidad
- Tesorería y pagaduría
- Costos
- Facturación, admisiones y auditoría de cuentas
- Gestión del talento Humano
- Seguridad y salud en el trabajo
- Tecnología de información
- compras
- Administración de inventarios
- Mantenimiento
- Gestión documental
- Gestión ambiental y servicios de apoyo logístico.

**Unidades Sin Riesgo:**

- Desagües y bajantes de aguas lluvias
- Drenaje pasillos externos y andenes
- Drenaje parqueaderos y rutas

**Red de alcantarillado Hospital Federico Lleras Acosta**

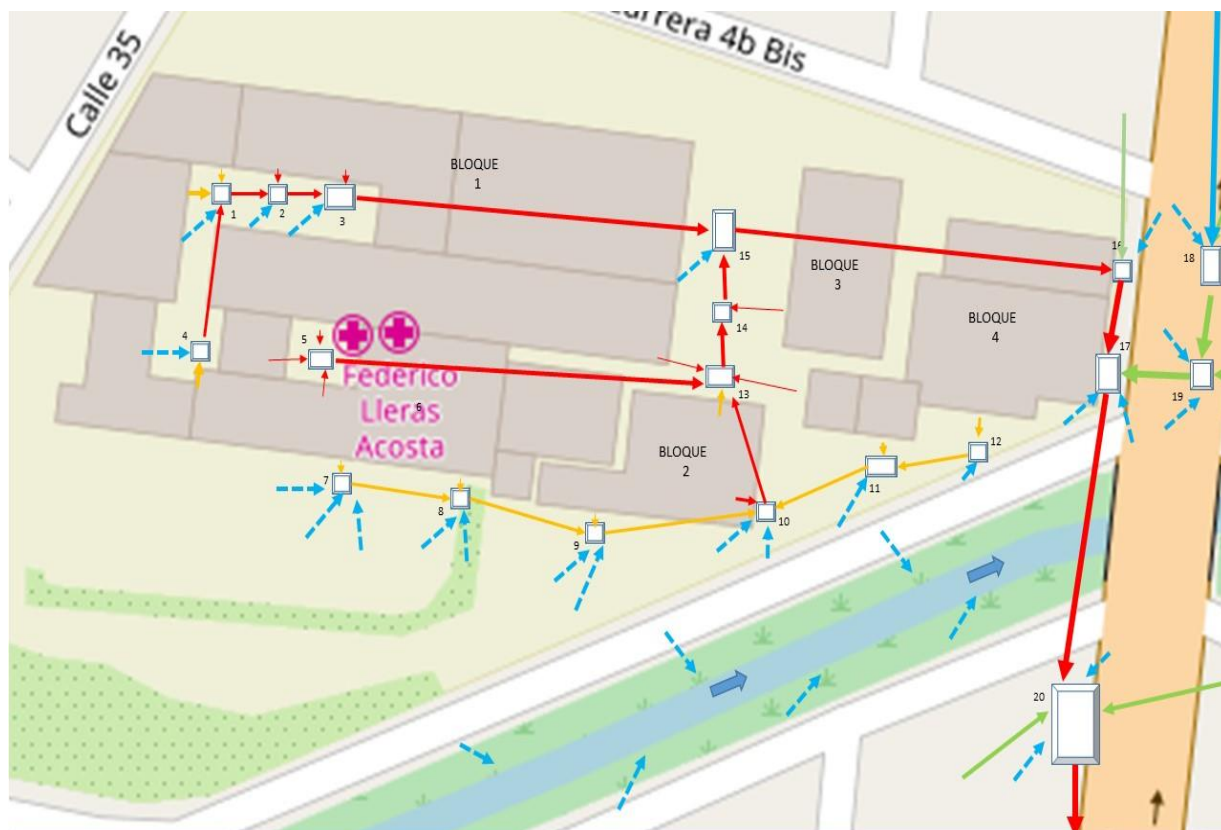


Figura 9. Red de alcantarillado Hospital Federico Lleras Acosta.  
Fuente: Google Earth. (2019) Red de Alcantarillado. Ibagué. Colombia

- Alto Riesgo
- Medio Riesgo
- Bajo Riesgo
- - - → Sin Riesgo
- Caja de inspección

La red de alcantarillado funcional del Hospital Federico Lleras Acosta está compuesta principalmente de 15 Cajillas de inspección que recogen las aguas de las diferentes áreas descritas anteriormente con una longitud de 40.380 metros, la cajilla de inspección número 15 es la de mayor envergadura y la que recepciona las aguas de todas las unidades, las combina y redirecciona hacia la cajilla externa número 1, marcada en la imagen 3 con el número 16, se encuentra situada en el andén peatonal de la carrera 37 frente al hospital.



### 3.2. Identificación de Red de alcantarillado conectado al Hospital, hasta su disposición final.

Para la identificación de la red conectada al hospital se realizó un seguimiento en campo a través de las cajillas de inspección, pozos y colectores, se trazó una ruta tomando como punto de referencia cada caja de inspección con una numeración que inicia desde la caja que recibe las aguas del hospital Federico Lleras Acosta nombrada Ci y acompañada del número correspondiente en orden creciente ejemplo: **Ci 1, Ci 2, Ci 3** y así sucesivamente hasta el punto de vertimiento en el río Combeima, también se identificaron los principales puntos de exposición de la comunidad a la red de alcantarillado en esta ruta nombrados PE y acompañada del número correspondiente en orden creciente ejemplo: PE 1, PE 2, PE 3 y así sucesivamente hasta el punto de vertimiento en el río Combeima

Para identificar las cajillas y los puntos de exposición en la ruta de estas aguas se realizó una revisión de campo sobre el plano del alcantarillado suministrados por la Empresa Ibaguereña de Acueducto y Alcantarillado IBAL, en conjunto con funcionarios de la secretaría de salud departamental y el grupo de inspección de redes y matrices de alcantarillado del IBAL con equipo Video Robot en el perímetro Hidrosanitario correspondiente.



**Figura 10.** Tramo 1 Red de Alcantarillado Conectado al Hospital Federico Lleras Acosta.  
Fuente: Google Earth. (2019) Red de Alcantarillado. Ibagué. Colombia

El tramo 1 se compone de los siguientes elementos: (Ci 1, Ci 2, Ci 3, Ci 4, Ci 5, Ci 6, PE 1, PE 2, PE 3, PE 4, PE 5).



**Figura 11.** Tramo 2 Red de Alcantarillado Conectado al Hospital Federico Lleras Acosta.  
Fuente: Google Earth. (2019) Red de Alcantarillado. Ibagué. Colombia

El tramo 2 se compone de los siguientes elementos: (Ci 6, Ci 7, Ci 8, PE 5, PE 6).



**Figura 12.** Tramo 3 Red de Alcantarillado Conectado al Hospital Federico Lleras Acosta.  
Fuente: Google Earth. (2019) Red de Alcantarillado. Ibagué. Colombia



El tramo 3 se compone de los siguientes elementos: (Ci 7, Ci 8, Ci 9, Ci 10, Ci 11, Ci 12, Ci 13, Ci 14, Ci 15, PE 6, PE 7).



**Figura 13.** Tramo 4 Red de Alcantarillado Conectado al Hospital Federico Lleras Acosta. Fuente: Google Earth. (2019) Red de Alcantarillado. Ibagué. Colombia

El tramo 4 se compone de los siguientes elementos: ( Ci 15, Ci 16, Ci 17, Ci 18, Ci 19, PE 8, PE 9, PE 10)



**Figura 14.** Tramo 5 Red de Alcantarillado Conectado al Hospital Federico Lleras Acosta. Fuente: Google Earth. (2019) Red de Alcantarillado. Ibagué. Colombia

El tramo 5 se compone de los siguientes elementos: ( Ci 19, Ci 20, Ci 21, PE 9, PE 10, PE 11, PE 12).

**Distribución de la red de alcantarillado conectado al Hospital Federico Lleras Acosta:**

Segmento	Descripción	Distancia (metros)
0	Hospital C 15 - Ci 1	72.7 m
1	Ci 1 - Ci 2	11.7 m
2	Ci 2 - Ci 3	22.7 m
3	Ci 3 - Ci 4	119. m
4	Ci 4 - Ci 5	71.7 m
5	Ci 5 - Ci 6	48.2 m
6	Ci 6 - Ci 7	300. m
7	Ci 7 - Ci 8	2.98 m
8	Ci 8 - Ci 9	42.6 m
9	Ci 9- Ci 10	7.14 m
10	Ci 10- Ci 11	49.0 m
11	Ci 11- Ci 12	20.0 m
12	Ci 12 - Ci 13	3.81 m
13	Ci 13 - Ci 14	20.8 m
14	Ci 14 - Ci 15	42.8 m
15	Ci 15 - Ci 16	96.8 m
16	Ci 16 - Ci 17	99.2 m
17	Ci 17 - Ci 18	25.3 m
18	Ci 18 - Ci 19	25.9 m
19	Ci 19 - Ci 20	46.6 m
20	Ci 20 - Ci 21	28.7 m
21	Ci 21 - Punto de vertimiento	106. m

*Tabla 18.* Distribución Red de Alcantarillado Conectada al Hospital  
Fuente: Autoría Propia

La red de alcantarillado funcional conectada al Hospital Federico Lleras Acosta se compone de 21 cajillas de inspección externas con un total de 1190.93 metros de longitud, que recogen las aguas de los diferentes sectores por donde pasa, para verterlas finalmente al río Combeima, la cajilla de inspección número Ci 1, es la que recepciona las aguas del hospital y es el punto en donde comienzan a combinarse con las aguas residuales y aguas lluvias de los sectores continuos, esta cajilla se encuentra situada en el andén peatonal de la carrera 37 frente al hospital, se identificaron los 12 principales puntos de exposición a la red de alcantarillado, compuestos por rejillas de desagüe y drenajes de aguas lluvias que se encuentran conectadas a las cajillas de inspección y pozos de aguas residuales a una longitud menor o igual a tres metros.

### **3.3. Selección de puntos de muestreo**

#### **3.3.1. Criterios de selección de los puntos de muestreo:**

**Representatividad:** Para el caso del hospital, se analizó la relación de los pozos y cajas de aguas de inspección con las unidades de generación, de manera que en este punto se tenga las aguas residuales combinadas de todo el hospital.

**Posición:** La posición dentro de la red de alcantarillado conectada al hospital, debe de tener una distancia similar entre el punto de generación y el punto de disposición final o vertimiento.

**Afluencia:** El punto de muestreo en la red de alcantarillado conectado al hospital, debe de tener la menor afluencia de vertimientos de diferentes sectores, es decir que ya están combinadas las aguas o que se combinen lo menos posible en dicho punto.

**Conexión:** Todos los puntos de muestreo deben de estar conectados a la red de alcantarillado del hospital.

**Distancia:** En el caso de puntos de muestreo en las fuente hídricas la distancia sea entre el vertimiento y el punto de muestreo será entre 10m y 30m.

**Accesible:** Todos los puntos de muestreo deben ser accesible y no representar un riesgo para el personal que tome la muestra.

**Punto de muestreo 1:** En cada unidad o dependencia del hospital se generan contaminantes biológicos y químicos con niveles de riesgo diferentes, las cajillas secundarias reciben las aguas de cada unidad y las vierten a una caja mayor, en este espacio se combina con las aguas residuales de otras unidades, aguas grises de los lavados, de otras zonas y aguas de lluvia, en la red de alcantarillado del hospital, la caja número 15 es una cajilla de inspección mayor que recibe las



aguas combinadas de todo el hospital y las vierte directamente a la red de alcantarillado municipal, dando la información de los contaminantes y elementos que estas aguas representan.



*Figura 15.* Punto de Muestreo 1

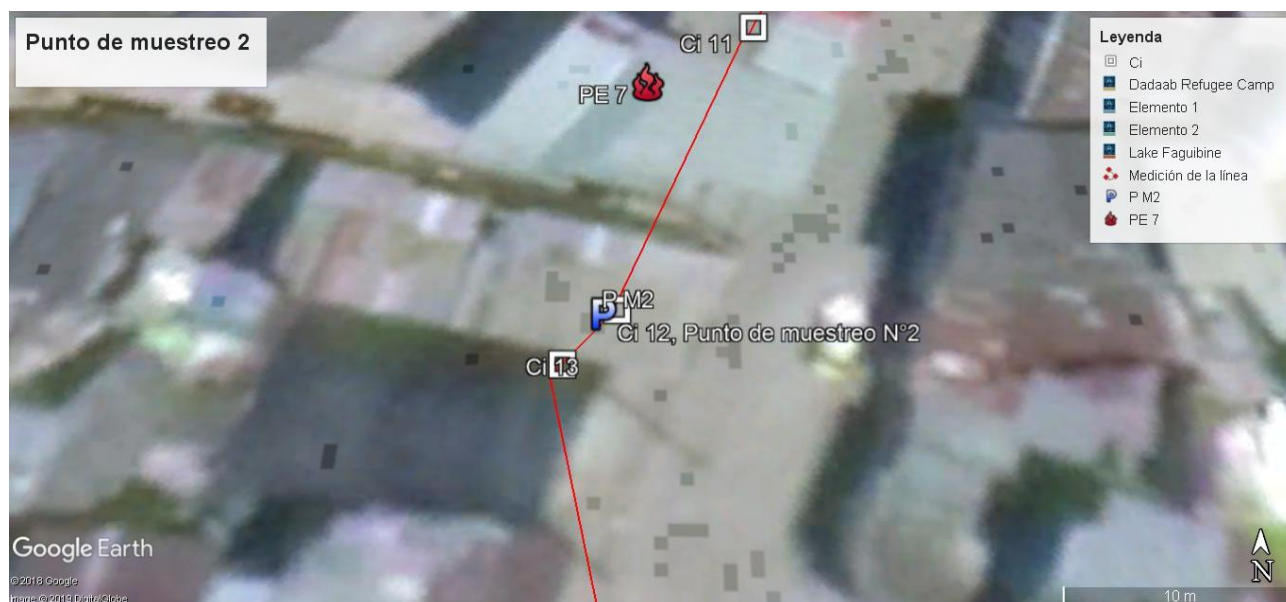
Fuente: Google Earth. (2019). Punto de Muestreo 1. Ibagué. Colombia



*Figura 16.* Cajilla de inspección Interna Número 15, Hospital Federico Lleras Acosta

Fuente: Google Earth. (2019). Cajilla de inspección Interior Hospital Federico Lleras Acosta Ibagué. Colombia

**Punto de muestreo 2:** Este punto corresponde a la cajilla de inspección número 12 de la red de alcantarillado conectado al hospital, ubicada en una calle 36a que corta con la carrera 3a, a 698.83 metros de distancia del punto de generación y 492.1 metros del punto de disposición final, en esta cajilla no se evidencia mezclas de aguas residuales con otros sectores que puedan alterar los análisis, tiene baja profundidad y es de fácil acceso por cualquier medio.



*Figura 17. Punto de Muestreo 2.*

Fuente: Google Earth. (2019). Punto de Muestreo 2. Ibagué. Colombia

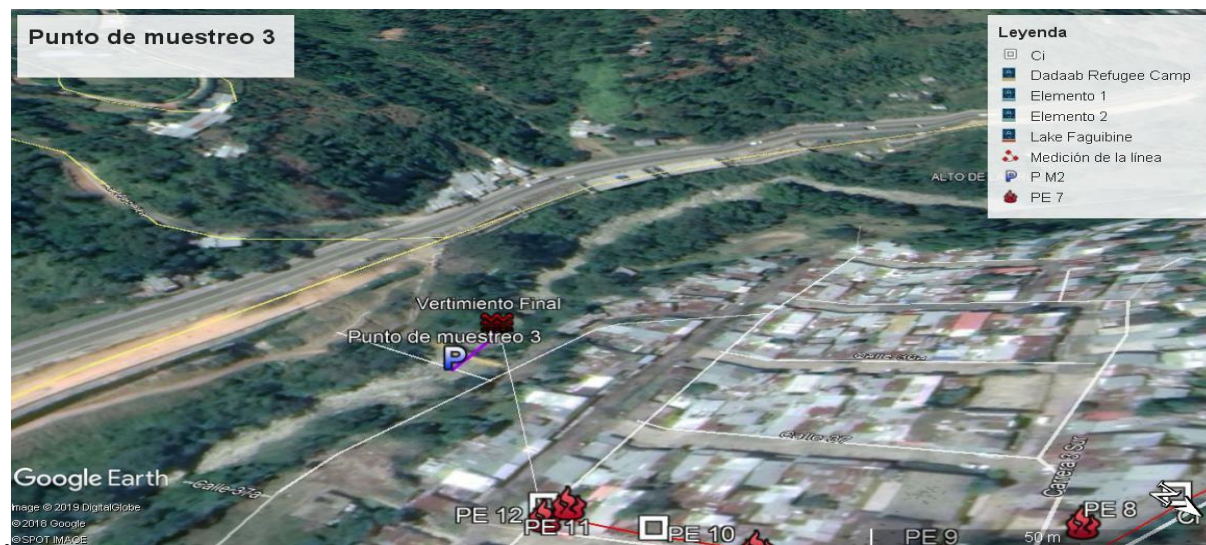


*Figura 18. Cajilla de Inspección Externa Número 12*

Fuente: Google Earth. (2019). Cajilla de inspección. Ibagué. Colombia

Punto de muestreo 3: Este punto se encuentra sobre el río Combeima, 29.8 metros aguas abajo del punto de vertimiento de la red de alcantarillado conectado al Hospital Federico Lleras Acosta.





*Figura 19A.* Punto de Muestreo 3

Fuente: Google Earth. (2019). Puente de Muestreo 3. Río Combeima. Ibagué. Colombia



*Figura 19B.* Punto de Muestreo 3. Río Combeima

Fuente: Google Earth. (2019). Puente de Muestreo 3. Río Combeima. Ibagué. Colombia



Punto de muestreo	Descripción	Latitud	Longitud
PM 1	Cajilla de inspección interna N° 15, Hospital Federico Lleras Acosta	4°25'59.92"N	75°13'6.75"O
PM 2	Cajilla de inspección externa N° 12, Red de alcantarillado conecto.	4°25'38.50"N	75°13'6.63"O
PM 3	Río Combeima, 29.8m aguas abajo del punto de vertimiento.	4°25'26.86"N	75°13'1.70"O

*Tabla 19.* Ubicación Geográfica Puntos de Muestreo

Fuente: Autoría Propia

### 3.4 Selección de medicamentos

#### 3.4.1. Criterios de selección:

1. Especializados para Infecciones causadas por bacterias Gram-negativas (*Escherichia coli* y *Pseudomonas aeruginosa*).
2. Antibióticos recomendados por la Revista Biomédica Colombiana para pruebas de susceptibilidad de microorganismos Gram negativos de antibiograma de disco
3. Alto consumo: Entre los medicamentos más consumidos en la región.
4. Incluidos en el POS: Dentro del Plan Obligatorio de Salud.
5. Suministrados por el centro de salud.
6. Grupo antibiótico de interés para el estudio.
7. Farmacología.
8. Mecanismo de Acción.

#### 3.4.2. Medicamentos seleccionados:

1. Nalidixic Acid Na 30 ug
2. Cefotaxime Ctx 30 ug
3. Ciprofloxacina Cip 5 ug
4. Trimethoprim Tm 2.5 ug
5. Amoxicillin Aml 30 ug
6. Ceftriaxone 30 ug
7. Penicilina 10 ug

Se escogieron estos antibióticos Ceftriaxone, Penicilina, Amoxicillin y Cefotaxime por ser bactericidas de amplio espectro para bacilos Gram negativos, Betalactámicos, inhibidores de la síntesis de la pared bacteriana. El Ceftriaxone cefalosporinas de tercera generación como marcador

de esta familia contra bacterias Gram negativas, La Penicilina por ser más activa en cocos Gram negativos y organismos anaerobios que no producen  $\beta$ -lactamasa, el Amoxicillin Aminopenicilina semisintética bactericida por actuar inhibiendo la biosíntesis del mucopéptido de la pared celular bacteriana, El Cefotaxime cefalosporinas de tercera generación con una buena actividad frente a un amplio espectro de bacterias aerobias Gram negativas, El ácido Nalidixic en relación con la resistencia a las quinolonas se caracteriza por desarrollar resistencia rápidamente durante el tratamiento, El Ciprofloxacín en relación con la resistencia a las Fluoroquinolonas especialmente efectivo contra *Pseudomonas aeruginosa*, Inhibe la síntesis del ADN bacteriano dejando la bacteria incapacitada para dividirse y finalmente muere sin proliferar, y el Trimethoprim en relación con la resistencia a las Diaminopirimidinas bactericida, presenta un espectro antibacteriano moderadamente amplio, actuando sobre bacilos Gram negativos aeróbicos, en especial sobre enterobacterias, inhibe el crecimiento bacteriano al interferir en la síntesis de ácidos nucleicos.

### **3.5 Frecuencia de aislamiento microbiológico**

Se garantizará la pureza de las bacterias mediante tres frecuencias aislamientos microbiológicos de manera manual, a partir de una muestra de agua residual, realizando 5 diluciones en relación 1 : 10 v/v de  $10^{-1}$  hasta  $10^{-5}$  de una solución madre de 100ml al 10% de la muestra, en solución salina de NaCl 1 molar, se siembra cada factor de dilución por duplicado en medio sólido “Agar MacConkey” con técnica de agotamiento, se extraen las colonias aisladas identificadas mediante el análisis de morfología colonial y bacteriana, así como pruebas de lactosa positiva en el caso de la *E. Coli* y fluorescencia para la *Pseudomona Aeruginosa*, se contrasta comportamiento y resultados de las bacterias extraídas con cepas puras pertenecientes al laboratorio de biología celular de la universidad del Tolima, se realiza un segundo aislamiento por duplicado en Agar MacConkey y finalmente un aislamiento por duplicado en agar Mueller Hinton, haciendo un total de 14 pruebas por cada muestra incluyendo las repeticiones.

### **3.6 Método de concentración microbiana sobre medios selectivos.**

Para determinar la concentración microbiana se realizaron siembras consecutivas empleando 5 factores de dilución de  $10^{-2}$  hasta  $10^{-6}$  de una solución madre de 100ml al 10% de la muestra, en solución salina de NaCl 1 molar, se siembra cada factor de dilución por duplicado en medio sólido “Agar MacConkey” con técnica de agotamiento, haciendo un total de 10 pruebas por cada muestra incluyendo las repeticiones para la obtención de los resultados se consideraron los promedios obtenidos a partir de los factores de dilución FD3.  $10^{-4}$  y FD4.  $10^{-5}$ , los factores de dilución FD1.  $10^{-2}$  y FD2.  $10^{-3}$  no se tomaron en cuenta por presentar UFC incontables, y el factor de dilución FD5.  $10^{-6}$  no se tomó en cuenta por presentar UFC poco continuas e irregulares.

Para el análisis de la concentración microbiana se realizó el cálculo de UFC por ml, haciendo comparaciones entre las concentraciones de cada uno de los puntos de muestreo, de los diferentes

monitoreos y los resultados preestablecidos para agua residual doméstica.

### 3.7 Normalización de la Técnica de Kirby-Bauer

Normalización de la técnica de Kirby-Bauer para determinar la resistencia bacteriana con antibiograma de discos basado en el manual de la revista Biomédica del Instituto Nacional de Salud elaborado por Maye Bernal R de la Unidad de Bacteriología Clínica. Grupo de Microbiología e Inmunología. Y el grupo de Micobacterias. Instituto Nacional de Salud – Bogotá y Miguel Guzmán U, Jefe grupo de microbiología e Inmunología. Instituto Nacional de Salud - Bogotá. Profesor Asociado Facultad de medicina, Universidad Nacional de Colombia. (Bernal, 1984)

#### 3.7.1 Disco para antibiograma

Cada disco contiene una concentración predeterminada que permite una correlación más o menos precisa con la concentración mínima inhibitoria que dicho antibiótico alcanza "in vivo" según los resultados de resistencia o susceptibilidad.

Los discos se mantuvieron refrigerados de 4-5°C o almacenados a -20°C en el caso de las drogas de la familia de la penicilina o de las cefalosporinas. (Bernal, 1984)

#### 3.7.2 Control de calidad

Para desarrollar un control de calidad interno se emplearon cepas de E. Coli y P. Aeruginosa las cuales tienen un patrón de sensibilidad ya conocido frente a los antimicrobianos, una cepa multisensible de Escherichia Coli (ATCC25922) con el conjunto de discos para microorganismos Gram negativos. Una cepa control de Pseudomonas Aeruginosa (ATCC27853). (Bernal, 1984)

Antimicrobiano	Potencia del disco	E. Coli ATCC 25922	P. Aeruginosa ATCC 27853
Ácido Nalidixic	30 mcg	21 - 25	xxxxxx
Cefotaxime	30 mcg	xxxxxx	xxxxxx
Ciprofloxacín	5 mcg	21 - 25	xxxxxx
Trimethoprim	2.5 mcg	24 - 32	xxxxxx

Amoxicillin	30 mcg	15-20	xxxxxx
Ceftriaxone	30 mcg	xxxxxx	xxxxxx
Penicilina	10 mcg	xxxxxx	xxxxxx

Tabla 20. Sensibilidad en Cepas Control, Zona de Inhibición en mm.

Fuente: Extraído de

<https://www.revistabiomedica.org/index.php/biomedica/article/viewFile/1891/1917>

### 3.7.3 Antibióticos recomendados en un antibiograma de disco por el Instituto Nacional de Salud.

OPCION	GRAM NEGATIVOS				GRAM POSITIVOS		
	INTESTINAL	URINARIA	SANGRE TEJIDOS	<i>Ps.</i> <i>aeruginosa</i>	Staphylococcus	Streptococcus <i>faecalis</i> (D)	OTROS
PRIMERA	Ampicilina	Acido oxolinico	Amikacina	Carbenicilina	Penicilina G.	Ampicilina	Ampicilina
	Gentamicina	Acido nalidixico	Ampicilina	Amikacina	Oxacilina	Cloranfenicol	Penicilina G
	Cloranfenicol	Norfloxacin	Gentamicina	Gentamicina	Eritromicina	Tetraciclina	Oxacilina
	Trimetoprim-Sulfa	Nitrofurantoina	Cloranfenicol	Tobramicina	Cloranfenicol	Eritromicina	Clindamicina
	Tetraciclina	Sulfisoxazole	Cefamandole	Polimixina B	Clindamicina*	Penicilina G	Eritromicina Tetraciclina
SEGUNDA		Ampicilina	Cefoxitina	Colistina	Gentamicina		Gentamicina
		Cloranfenicol	Cefotaxima		Netilmicina		Trimetoprim-Sulfa
		Gentamicina	Kanamicina		Vancomicina		Cloranfenicol

Tabla 21. Guía para la Selección de Antimicrobianos

Fuente: Extraído de: <https://www.revistabiomedica.org/index.php/biomedica/article/viewFile/1891/1917>

Se toman en cuenta la Guía básica para la Selección de Antibióticos para antibiograma de discos en bacterias Gram-negativas (*Escherichia Coli* y *Pseudomonas Aeruginosa*), reemplazando algunos antibióticos basados en los criterios contemplados por el estudio, tratando de emplear antibióticos que presentan funciones, mecanismos de acción, nivel en el esquema básico de

administración y en lo posible pertenecientes a la misma familia que los antibióticos aquí recomendados.

#### - Medio de cultivo

Para la prueba se utilizó el medio de Mueller-Hinton Pronadisa CAT 1058.00 Bacth number 603033, preparado de acuerdo con las instrucciones de la casa manufacturera se ajustó el pH a 7.2-7.4 con solución de NaOH 0.1N, se esterilizó en autoclave a una temperatura de 150°C por 20 minutos, se mantuvo en baño maría hasta que alcanza la temperatura sea de 48-50°C, se distribuye el medio en cantidad aproximada de 25 C.C. en cajas de Petri de 15 x 150 ml, estériles, se eliminó el contenido sobrante / el recipiente conforme a la legislación vigente de tratamiento de residuos.

### 3.8 Análisis de resistencia Bacteriana

Después de 48 horas de incubación se lee el diámetro de las zonas de completa inhibición con un pie de rey, Se determinó la resistencia bacteriana de las bacterias aisladas por el método de kirby bauer empleando 7 antibióticos de amplio espectro, y se analizan los resultados basados en los esquemas para la interpretación de resistencia de la revista Biomédica del Instituto Nacional de Salud Colombiano.

Antimicrobiano	Disco mcg	Zona de inhibición mm			Observaciones
		R ( $\leq$ )	I	S ( $\geq$ )	
Ácido Nalidixic	30 mcg	13	14 - 18	19	Entéricos – enterococos y p. Aeruginosa
Cefotaxime	30 mcg	14	15 - 17	18	
Ciprofloxacina	5 mcg	13	14 - 18	19	Infección urinaria
Trimethoprim	2.5 mcg	10	11 - 18	19	
Amoxicillin	30 mcg	11	12 - 21	22	
Ceftriaxone	30 mcg	14	15 - 17	18	
Penicilina	10 mcg	11	12 - 21	22	Diferentes a staphilacoccus

Tabla 21. Sensibilidad Antibiogramas de Disco Interpretación de Resultados

Fuente: Autoría Propia

### **3.9 Biotoxicidad**

Para definir el nivel de la biotoxicidad de las aguas residuales se tomaron en cuenta cuatro aspectos:

1. Concentración de cepas bacterianas de E. Coli y P. Aeruginosa.
2. Capacidad de adaptabilidad de las cepas aisladas de E. Coli y P. Aeruginosa.
3. Expresión toxicológica de las cepas aisladas de E. Coli y P. Aeruginosa.
4. Resistencia bacteriana de las cepas aisladas de E. Coli y P. Aeruginosa.
5. Patogenicidad de las bacterias E. Coli y P. Aeruginosa.

### **3.10 Revisión por comité de ética**

El presente estudio fue aprobado por el Comité de Ética para Investigación del Hospital Universitario Federico Lleras Acosta de la ciudad de Ibagué - Tolima, catalogado como estudio con riesgo menor que el mínimo

### **3.11 Revisión por comité de Docencia, Investigación e Innovación**

El presente estudio fue aprobado por el Comité de Docencia, Investigación e Innovación del Hospital Universitario Federico Lleras Acosta de la ciudad de Ibagué - Tolima, catalogado como estudio viable, y contando con la participación en el procesamiento y análisis de las muestras durante el desarrollo del trabajo y evaluación mediante informes trimestrales del avance del proyecto e informe final.

## Capítulo 4. Resultados

### 4.1 Concentración microbiana

#### 4.1.1 Concentración microbiana monitoreo 1

Punto de muestreo	Bacteria	Factor de dilución	Recuento de UFC Prueba 1	Recuento de UFC Repetición	Concentración Promedio UFC/ml
PM. 1	E. Coli	FD4. $10^{-5}$	3	2	$2.5 \times 10^5$
		FD3. $10^{-4}$	30	32	$3.1 \times 10^5$
	Pseudomona. A	FD4. $10^{-5}$	1	2	$1.5 \times 10^5$
		FD3. $10^{-4}$	15	20	$1.75 \times 10^5$
PM. 2	E. Coli	FD4. $10^{-5}$	2	2	$2 \times 10^5$
		FD3. $10^{-4}$	32	40	$3.1 \times 10^5$
	Pseudomona. A	FD4. $10^{-5}$	4	3	$3.5 \times 10^5$
		FD3. $10^{-4}$	16	17	$1.65 \times 10^5$
PM. 3	E. Coli	FD4. $10^{-5}$	1	2	$1.5 \times 10^5$
		FD3. $10^{-4}$	10	15	$2.5 \times 10^5$
	Pseudomona. A	FD4. $10^{-5}$	1	1	$1 \times 10^5$
		FD3. $10^{-4}$	14	15	$2.9 \times 10^5$

Tabla 22. Concentración Microbiana: Monitoreo 1

Fuente: Autoría Propia

El punto de muestreo 1 posicionado en la red de alcantarillado interna del Hospital Federico Lleras Acosta presentó la concentración más alta de E. Coli durante el primer monitoreo con una

concentración promedio de  $2.8 \times 10^5$  UFC/ml, la concentración más baja se presentó en el punto de muestreo 3 posicionado en el río Combeima con una concentración promedio de  $2 \times 10^5$  UFC/ml, mientras en el punto de muestreo 2 ubicado en la red de alcantarillado municipal entre el punto de muestreo 1 y 3 se encontró una concentración promedio de  $2.6 \times 10^5$  UFC/ml.

<b>Muestra</b>	<b>Concentración</b>
PM 1	$2.8 \times 10^5$ UFC/ml
PM 2	$2.6 \times 10^5$ UFC/ml
PM 3	$2 \times 10^5$ UFC/ml

*Tabla 23. Concentración Media de E.Coli Monitoreo 1*

Fuente: Autoría Propia

El punto de muestreo 1 posicionado en la red de alcantarillado interna del Hospital Federico Lleras Acosta presentó la concentración más alta de P. Aeruginosa durante el primer monitoreo con una concentración promedio de  $3.25 \times 10^5$  UFC/ml, la concentración más baja se presentó en el punto de muestreo 2 ubicado en la red de alcantarillado municipal entre el punto de muestreo 1 y 3 con una concentración promedio de  $1.62 \times 10^5$  UFC/ml. En el punto de muestreo 3 posicionado en el río Combeima se encontró una concentración de  $2.57 \times 10^5$  UFC/ superando la concentración presente en la red de alcantarillado.

<b>Muestra</b>	<b>Concentración</b>
PM 1	$3.25 \times 10^5$ UFC/ml
PM 2	$1.62 \times 10^5$ UFC/ml
PM 3	$2.57 \times 10^5$ UFC/ml

*Tabla 24. Concentración Media P. Aeruginosa, Monitoreo 1*

Fuente: Autoría Propia



#### 4.1.2 Concentración microbiana monitoreo 2

Punto de muestreo	Bacteria	Factor de dilución	Recuento de UFC Prueba 1	Recuento de UFC Repetición	Concentración Promedio UFC/ml
PM. 1	E. Coli	FD4. $10^{-5}$	5	7	$6 \times 10^5$
		FD3. $10^{-4}$	23	30	$2.65 \times 10^5$
	Pseudomona. A	FD4. $10^{-5}$	3	2	$2.5 \times 10^5$
		FD3. $10^{-4}$	18	20	$1.9 \times 10^5$
PM. 2	E. Coli	FD4. $10^{-5}$	5	4	$4.5 \times 10^5$
		FD3. $10^{-4}$	23	20	$2.15 \times 10^5$
	Pseudomona. A	FD4. $10^{-5}$	4	3	$3.5 \times 10^5$
		FD3. $10^{-4}$	18	17	$1.75 \times 10^5$
PM. 3	E. Coli	FD4. $10^{-5}$	3	2	$2.5 \times 10^5$
		FD3. $10^{-4}$	13	15	$1.4 \times 10^5$
	Pseudomona. A	FD4. $10^{-5}$	3	1	$2 \times 10^5$
		FD3. $10^{-4}$	16	15	$1.55 \times 10^5$

Tabla 25. Concentración Microbiana Monitoreo 1

Fuente: Autoría Propia

El punto de muestreo 1 posicionado en la red de alcantarillado interna del Hospital Federico Lleras Acosta presentó la concentración más alta de E.Coli durante el segundo monitoreo con una concentración promedio de  $4.32 \times 10^5$  UFC/ml con un incremento de  $1.52 \times 10^5$  UFC/ml en comparación con el mismo punto de muestreo en el monitoreo 1, la concentración más baja se presentó en el punto de muestreo 3 posicionado en el río Combeima con una concentración

promedio de  $1.95 \times 10^5$  UFC/ml con una reducción de  $0.5 \times 10^5$  UFC/ml en comparación con el mismo punto de muestreo en el monitoreo 1, mientras en el punto de muestreo 2 ubicado en la red de alcantarillado municipal entre el punto de muestreo 1 y 3 se encontró una concentración promedio de  $3.32 \times 10^5$  UFC/ml con un incremento de  $0.72 \times 10^5$  UFC/ml en comparación con el mismo punto de muestreo en el monitoreo 1, en general la concentración microbiana en los tres puntos se mantiene muy cercana y se va reduciendo un poco desde que sale del punto de generación.

Muestra	Concentración
PM 1	$4.32 \times 10^5$ UFC/ml
PM 2	$3.32 \times 10^5$ UFC/ml
PM 3	$1.95 \times 10^5$ UFC/ml

Tabla 26. Concentración Media de E.Coli, Monitoreo 2

Fuente: Autoría Propia

En el punto de muestreo 2 ubicado en la red de alcantarillado municipal entre el punto de muestreo 1 y 3 se encontró la concentración más alta de *P. Aeruginosa* del segundo monitoreo con una concentración promedio de  $2.62 \times 10^5$  UFC/ml con un incremento de  $1 \times 10^5$  UFC/ml en comparación con el mismo punto de muestreo en el monitoreo 1 y con una reducción de  $0.63 \times 10^5$  UFC/ml en comparación con el punto de muestreo 1 que obtuvo la concentración más alta en el monitoreo 1, la concentración más baja se presentó en el punto de muestreo 3 posicionado en el río Combeima con una concentración de  $1.77 \times 10^5$  UFC/ml y con una reducción de  $0.7 \times 10^5$  UFC/ml en comparación con el mismo punto de muestreo en el monitoreo 1, y por último el punto de muestreo 1 posicionado en la red de alcantarillado interna del Hospital Federico Lleras Acosta presentó una concentración  $2.2 \times 10^5$  UFC/ml con una reducción de  $1.05 \times 10^5$  UFC/ml en comparación con el mismo punto de muestreo en el monitoreo 1, en general la concentración microbiana en los tres puntos se mantiene muy cercana y se evidencia una acumulación bacteriana de *P. Aeruginosa* en el punto de muestreo 2.

Muestra	Concentración
PM 1	$2.2 \times 10^5$ UFC/ml
PM 2	$2.62 \times 10^5$ UFC/ml
PM 3	$1.77 \times 10^5$ UFC/ml

Tabla 27. Concentración Promedio de *P. Aeruginosa*, Monitoreo 2

Fuente: Autoría Propia

### 4.1.3 Concentración microbiana promedio

Para la E. Coli la concentración más alta se presentó en el hospital para los dos monitoreos con concentraciones muy cercanas en cada prueba y una concentración promedio de  $3.56 \times 10^5$  UFC/ml, en la red de alcantarillado encontramos una concentración un poco más bajo que en el hospital en los dos monitoreos, con concentraciones similares y una concentración promedio de  $2.96 \times 10^5$  UFC/ml, en el Río Combeima encontramos una concentración muy significativa de E.Coli un poco más bajas que en la red de alcantarillado y que en el hospital, con una concentración promedio de  $1.97 \times 10^5$  UFC/ml, estas aguas presentan altos niveles de contaminación debido principalmente a los numerosos vertimientos de aguas residuales que realiza la ciudad de Ibagué sobre este.

Muestra	Concentración
PM 1	$3.56 \times 10^5$ UFC/ml
PM 2	$2.96 \times 10^5$ UFC/ml
PM 3	$1.97 \times 10^5$ UFC/ml

Tabla 28. Concentración Promedio E.Coli  
Fuente: Autoría Propia

La concentración promedio más alta de P. Aeruginosa se presentó en el hospital con una concentración de  $2.72 \times 10^5$  UFC/ml, sin embargo no coincidieron los dos monitoreos, pues en el segundo monitoreo la red de alcantarillado presento un poco más alta la concentración de P. Aeruginosa que el hospital, aunque en los dos monitoreos se tienen cifras muy cercanas, la red de alcantarillado presenta la concentración promedio más baja y en los dos monitoreos concentraciones similares, con una concentración promedio de  $2.12 \times 10^5$  UFC/ml, en el Río Combeima encontramos una concentración levemente más alta que en la red de alcantarillado, y una concentración promedio de  $2.17 \times 10^5$  UFC/ml, lo que claramente representa la acumulación de estos microorganismos sobre la fuente hídrica un gran impacto ambiental sobre el ecosistema.

Muestra	Concentración
PM 1	$2.72 \times 10^5$ UFC/ml
PM 2	$2.12 \times 10^5$ UFC/ml

PM 3	2.17 x 10 <sup>5</sup> UFC/ml
------	-------------------------------

Tabla 29. Concentración Promedio P. Aeruginosa  
Fuente: Autoría Propia

## 4.2 Resistencia Bacteriana

### 4.2.1 Resultados resistencia bacteriana monitoreo 1:

Para la representación de los medicamentos y los puntos de muestreo en las tablas se han manejado la siguiente nomenclatura:

No	ANTIBIÓTICO
1	CEFOTAXINA
2	AMOXICILINA
3	PENICILINA
4	CIPROFLOXACINA
5	SULFAMETROPIN
6	ÁCIDO NALIDIXICO
7	CEFTRAXONE

Tabla 30. Antibióticos Seleccionados  
Fuente: Autoría Propia

<b>M1</b>	<b>Muestra PM1:</b> Cajilla de inspección interna N° 15, Hospital Federico Lleras Acosta.
<b>RM1</b>	<b>Repetición muestra PM1:</b> Cajilla de inspección interna N° 15, Hospital Federico Lleras Acosta.
<b>M2</b>	<b>Muestra PM2:</b> Cajilla de inspección externa N° 12, Red de alcantarillado conectado.

<b>RM2</b>	<b>Repetición muestra PM2:</b> Cajilla de inspección externa N° 12, Red de alcantarillado conector.
<b>M3</b>	<b>Muestra PM3:</b> Aguas abajo del punto de vertimiento al río Combeima.
<b>RM3</b>	<b>Repetición muestra PM3:</b> Aguas abajo del punto de vertimiento al río Combeima.

Tabla 31. Puntos de Muestreo

Fuente: Autoría Propia

Muestra Antibiótico	E - COLI					
	M1	RM1	M2	RM2	M3	RM3
1	2,0 : 2,0	2,0 : 2,2	X	1,9 : 2,0	2,4 : 2,0	2,1 : 2,3
2	1,4 : 1,5	1,5 : 1,3	X	X	X	X
3	X	X	X	X	X	X
4	3,3 : 3,0	3,0 : 2,7	X	2,8 : 2,9	2,7 : 2,5	2,6 : 2,5
5	2,3 : 2,2	2,0 : 1,9	2,5 : 2,4	2,5 : 2,3	2,2 : 2,1	X
6	1,8 : 1,8	1,7 : 1,7	X	X	2,1 : 2,2	1,9 : 2,0
7	2,3 : 2,4	2,0 : 2,2	2,7 : 2,6	2,7 : 2,4	2,0 : 1,9	1,7 : 1,9
1	2,3 : 2,0	2,0 : 2,1	2,4 : 2,8	2,5 : 2,6	2,0 : 1,9	2,2 : 2,0
2	1,4 : 1,6	1,6 : 1,5	X	X	X	X
3	X	X	X	X	X	X
5	2,3 : 2,3	2,3 : 2,2	1,9 : 1,9	2,0 : 2,0	2,0 : 2,0	2,0 : 2,0

6	1,8 : 1,9	1,9 : 2,0	X	X	1,8 : 2,0	1,8 : 2,0
3	X	X	X	X	X	X
4	4,0 : 3,2	3,7 : 3,5	2,6 : 2,9	2,8 : 2,9	2,3 : 2,2	2,7 : 2,5
6	2,0 : 2,0	2,0 : 1,9	X	X	2,1 : 1,9	2,1 : 2,2
7	2,8 : 2,9	2,6 : 2,5	2,9 : 2,9	2,8 : 2,9	2,1 : 2,2	1,8 : 1,9

Tabla 32. Halo de Inhibición de Cepas de E.Coli aisladas en el Monitoreo 1.

Fuente: Autoría Propia

#### 4.2.1.1 Resultados resistencia bacteriana de E. Coli, monitoreo 1:

Antimicrobiano	Potencia del disco	Halo de inhibición (mm)	Categorización
Ácido Nalidixic	30 mcg	20:05	Sensible
Cefotaxime	30 mcg	14:00	Resistente
Ciprofloxacín	5 mcg	xxx - xxx	Resistente
Trimethoprim	2.5 mcg	29:75	Sensible
Amoxicillin	30 mcg	20:05	Sensible
Ceftriaxone	30 mcg	18:50	Sensible
Penicilina	10 mcg	20:45	Intermedio
Ácido Nalidixic	30 mcg	14.75	Intermedio
Cefotaxime	30 mcg	15:25	Intermedio
Ciprofloxacín	5 mcg	xxx - xxx	Resistente

<b>Amoxicillin</b>	<b>30 mcg</b>	<b>22.75</b>	<b>Sensible</b>
<b>Ceftriaxone</b>	<b>30 mcg</b>	<b>19:00</b>	<b>Sensible</b>
<b>Ciprofloxacín</b>	<b>5 mcg</b>	<b>xxx - xxx</b>	<b>Resistente</b>
<b>Trimethoprim</b>	<b>2.5 mcg</b>	<b>36:00</b>	<b>Sensible</b>
<b>Ceftriaxone</b>	<b>30 mcg</b>	<b>19:75</b>	<b>Sensible</b>
<b>Penicilina</b>	<b>10 mcg</b>	<b>27:00</b>	<b>Sensible</b>

Tabla 33. Sensibilidad de Cepas de E. Coli Aisladas del Punto de Muestreo 1

Fuente: Autoría Propia

En el monitoreo 1, las cepas de E.Coli aisladas del punto de muestreo 1 presentaron total resistencia a Cefotaxime y Ciprofloxacín, una resistencia intermedia a Amoxicillin, Penicilina y Ácido Nalidixic, así como sensibilidad a Trimethoprim y Ceftriaxone.

<b>Antimicrobiano</b>	<b>Potencia del disco</b>	<b>Halo de inhibición (mm)</b>	<b>Categorización</b>
<b>Ácido Nalidixic</b>	<b>30 mcg</b>	<b>xxx - xxx</b>	<b>Resistente</b>
<b>Cefotaxime</b>	<b>30 mcg</b>	<b>xxx - xxx</b>	<b>Resistente</b>
<b>Ciprofloxacín</b>	<b>5 mcg</b>	<b>xxx - xxx</b>	<b>Resistente</b>
<b>Trimethoprim</b>	<b>2.5 mcg</b>	<b>xxx - xxx</b>	<b>Resistente</b>
<b>Amoxicillin</b>	<b>30 mcg</b>	<b>24:75</b>	<b>Sensible</b>
<b>Ceftriaxone</b>	<b>30 mcg</b>	<b>18:50</b>	<b>Sensible</b>
<b>Penicilina</b>	<b>10 mcg</b>	<b>20:45</b>	<b>Intermedio</b>
<b>Ácido Nalidixic</b>	<b>30 mcg</b>	<b>14.75</b>	<b>Intermedio</b>

<b>Cefotaxime</b>	<b>30 mcg</b>	<b>15:25</b>	<b>Intermedio</b>
<b>Ciprofloxacín</b>	<b>5 mcg</b>	<b>xxx - xxx</b>	<b>Resistente</b>
<b>Amoxicillin</b>	<b>30 mcg</b>	<b>22.75</b>	<b>Sensible</b>
<b>Ceftriaxone</b>	<b>30 mcg</b>	<b>19:00</b>	<b>Sensible</b>
<b>Ciprofloxacín</b>	<b>5 mcg</b>	<b>xxx - xxx</b>	<b>Resistente</b>
<b>Trimethoprim</b>	<b>2.5 mcg</b>	<b>36:00</b>	<b>Sensible</b>
<b>Ceftriaxone</b>	<b>30 mcg</b>	<b>19:75</b>	<b>Sensible</b>
<b>Penicilina</b>	<b>10 mcg</b>	<b>27:00</b>	<b>Sensible</b>

Tabla 34. Sensibilidad de cCepas de E. Coli Aisladas del Punto de Muestreo 2.

Fuente: Autoría Propia

Las cepas de E.Coli aisladas del punto de muestreo 2 presentaron total resistencia al Ácido Nalidíxic, Cefotaxime, Ciprofloxacín y Trimethoprim, una resistencia intermedia a la Penicilina y sensibilidad al Amoxicillin y Ceftriaxone.

<b>Antimicrobiano</b>	<b>Potencia del disco</b>	<b>Halo de inhibición (mm)</b>	<b>Categorización</b>
<b>Ácido Nalidixic</b>	<b>30 mcg</b>	<b>22:00</b>	<b>Sensible</b>
<b>Cefotaxime</b>	<b>30 mcg</b>	<b>xxx - xxx</b>	<b>Resistente</b>
<b>Ciprofloxacín</b>	<b>5 mcg</b>	<b>xxx - xxx</b>	<b>Resistente</b>
<b>Trimethoprim</b>	<b>2.5 mcg</b>	<b>25:75</b>	<b>Sensible</b>
<b>Amoxicillin</b>	<b>30 mcg</b>	<b>xxx - xxx</b>	<b>Resistente</b>
<b>Ceftriaxone</b>	<b>30 mcg</b>	<b>20:50</b>	<b>Sensible</b>





3	X	X	X	X	X	X
4	3,4 : 3,6	3,6 : 3,7	2,2 : 2,3	2,5 : 2,5	3,0 : 3,1	3,1 : 3,2
5	1,8 : 1,9	2,0 : 2,0	1,7 : 1,7	2,0 : 2,1	2,3 : 2,4	2,4 : 2,6
6	1,7 : 1,6	2,1 : 2,0	2,2 : 2,1	2,0 : 1,9	X	X
7	2,0 : 2,0	2,0 : 2,0	2,0 : 2,1	2,7 : 2,2	3,2 : 3,4	3,5 : 3,4
1	1,4 : 1,6	2,2 : 2,2	2,0 : 2,1	2,1 : 2,2	2,4 : 2,5	2,5 : 2,4
2	X	X	X	X	X	X
3	X	X	X	X	X	X
5	2,0 : 2,1	2,0 : 2,0	2,0 : 2,1	1,8 : 1,9	2,8 : 2,7	X
6	2,2 : 2,3	2,1 : 2,2	2,1 : 1,9	2,0 : 2,1	X	X
3	X	X	X	X	X	X
4	2,8 : 2,9	3,2 : 3,1	2,7 : 2,6	2,8 : 2,7	2,8 : 2,9	X
6	2,1 : 2,0	2,0 : 1,9	2,2 : 2,1	2,0 : 2,1	X	X
7	2,0 : 2,1	2,2 : 2,2	2,0 : 1,9	2,2 : 2,3	2,8 : 2,9	X

Tabla 36. Halo de Inhibición de Cepas de P. Aeruginosa Aisladas en el monitoreo 1.  
Fuente: Autoría Propia

#### 4.2.1.2 Resultados de resistencia bacteriana de *P. Aeruginosa*, monitoreo 1:

Antimicrobiano	Potencia del disco	Halo de inhibición (mm)	Categorización
Ácido Nalidixic	30 mcg	21:75	Sensible
Cefotaxime	30 mcg	xxx - xxx	Resistente
Ciprofloxacín	5 mcg	xxx - xxx	Resistente
Trimethoprim	2.5 mcg	35:75	Sensible
Amoxicillin	30 mcg	19:25	Intermedio
Ceftriaxone	30 mcg	18:50	Sensible
Penicilina	10 mcg	20:00	Intermedio
Ácido Nalidixic	30 mcg	18:50	Intermedio
Cefotaxime	30 mcg	xxx - xxx	Resistente
Ciprofloxacín	5 mcg	xxx - xxx	Resistente
Amoxicillin	30 mcg	20:25	Intermedio
Ceftriaxone	30 mcg	22:50	Sensible
Ciprofloxacín	5 mcg	xxx - xxx	Resistente
Trimethoprim	2.5 mcg	30:00	Sensible
Ceftriaxone	30 mcg	20:00	Sensible
Penicilina	10 mcg	21:25	Intermedio

Tabla 37. Sensibilidad de Cepas de *P. Aeruginosa* Aisladas del Punto de Muestreo 1  
Fuente: Autoría Propia

En el monitoreo 1, las cepas de *P. Aeruginosa* aisladas del punto de muestreo 1 presentaron total resistencia a Cefotaxime y Ciprofloxacín, una resistencia intermedia a Amoxicillin, Penicilina y Ácido Nalidixic, así como sensibilidad a Trimethoprim y Ceftriaxone.

<b>Antimicrobiano</b>	<b>Potencia del disco</b>	<b>Halo de inhibición (mm)</b>	<b>Categorización</b>
Ácido Nalidixic	30 mcg	20:50	Sensible
Cefotaxime	30 mcg	xxx - xxx	Resistente
Ciprofloxacín	5 mcg	xxx - xxx	Resistente
Trimethoprim	2.5 mcg	23:75	Sensible
Amoxicillin	30 mcg	18:75	Intermedio
Ceftriaxone	30 mcg	23:50	Sensible
Penicilina	10 mcg	22:50	Sensible
Ácido Nalidixic	30 mcg	21:00	Sensible
Cefotaxime	30 mcg	xxx - xxx	Resistente
Ciprofloxacín	5 mcg	xxx - xxx	Resistente
Amoxicillin	30 mcg	19:50	Intermedio
Ceftriaxone	30 mcg	20:25	Sensible
Ciprofloxacín	5 mcg	xxx - xxx	Resistente
Trimethoprim	2.5 mcg	27:00	Sensible
Ceftriaxone	30 mcg	21:00	Sensible

<b>Penicilina</b>	<b>10 mcg</b>	<b>21:00</b>	<b>Intermedio</b>
-------------------	---------------	--------------	-------------------

*Tabla 38.* Sensibilidad en Cepas de P. Aeruginosa Aisladas del Punto de Muestreo 2.  
Fuente: Autoría Propia

Las cepas de P. Aeruginosa aisladas del punto de muestreo 2 presentaron total resistencia a Cefotaxime y Ciprofloxacina, una resistencia intermedia a Amoxicillin y Penicilina, así como sensibilidad al Ácido Nalidixico, Trimethoprim y Ceftriaxone.

<b>Antimicrobiano</b>	<b>Potencia del disco</b>	<b>Halo de inhibición (mm)</b>	<b>Categorización</b>
<b>Ácido Nalidixic</b>	<b>30 mcg</b>	<b>24:25</b>	<b>Sensible</b>
<b>Cefotaxime</b>	<b>30 mcg</b>	<b>xxx - xxx</b>	<b>Resistente</b>
<b>Ciprofloxacina</b>	<b>5 mcg</b>	<b>xxx - xxx</b>	<b>Resistente</b>
<b>Trimethoprim</b>	<b>2.5 mcg</b>	<b>31:00</b>	<b>Sensible</b>
<b>Amoxicillin</b>	<b>30 mcg</b>	<b>24:25</b>	<b>Sensible</b>
<b>Ceftriaxone</b>	<b>30 mcg</b>	<b>xxx - xxx</b>	<b>Resistente</b>
<b>Penicilina</b>	<b>10 mcg</b>	<b>33:75</b>	<b>Sensible</b>
<b>Ácido Nalidixic</b>	<b>30 mcg</b>	<b>24:50</b>	<b>Sensible</b>
<b>Cefotaxime</b>	<b>30 mcg</b>	<b>xxx - xxx</b>	<b>Resistente</b>
<b>Ciprofloxacina</b>	<b>5 mcg</b>	<b>xxx - xxx</b>	<b>Resistente</b>
<b>Amoxicillin</b>	<b>30 mcg</b>	<b>xxx - xxx</b>	<b>Resistente</b>
<b>Ceftriaxone</b>	<b>30 mcg</b>	<b>xxx - xxx</b>	<b>Resistente</b>
<b>Ciprofloxacina</b>	<b>5 mcg</b>	<b>xxx - xxx</b>	<b>Resistente</b>

<b>Trimethoprim</b>	<b>2.5 mcg</b>	<b>xxx - xxx</b>	<b>Resistente</b>
<b>Ceftriaxone</b>	<b>30 mcg</b>	<b>xxx - xxx</b>	<b>Resistente</b>
<b>Penicilina</b>	<b>10 mcg</b>	<b>xxx - xxx</b>	<b>Resistente</b>

Tabla 39. Sensibilidad en Cepas de P. Aeruginosa Aisladas del Punto de Muestreo 3.

Fuente: Autoría Propia

Las cepas de P. Aeruginosa aisladas del punto de muestreo 3 presentaron total resistencia a Cefotaxime, Ciprofloxacina, Amoxicillin, Ceftriaxone, Trimethoprim y Penicilina, y sensibilidad al Ácido Nalidixic.

#### 4.2.2 Resultados resistencia bacteriana monitoreo 2:

Muestra Antibiótico	E - COLI					
	M1	RM1	M2	RM2	M3	RM3
1	3,1 : 2,9	3,1 : 2,9	3,3 : 3,4	3,6 : 3,5	3,5 : 3,3	3,3 : 3,3
2	X	X	2,4 : 2,4	2,5 : 2,5	1,8 : 1,9	1,8 : 1,9
3	X	X	X	X	X	X
4	3,6 : 3,5	3,4 : 3,6	2,9 : 2,9	2,7 : 2,9	3,6 : 3,4	3,5 : 3,4
5	2,7 : 2,5	2,5 : 2,4	2,1 : 2,1	2,3 : 2,3	2,3 : 2,2	2,4 : 2,3
6	2,3 : 2,3	2,3 : 2,3	2,2 : 2,1	2,2 : 2,2	2,1 : 2,2	2,1 : 2,2
7	3,0 : 3,0	2,9 : 3,1	3,5 : 3,4	3,5 : 3,4	3,0 : 3,0	2,8 : 2,7
1	3,0 : 2,9	2,9 : 2,9	3,4 : 3,3	3,4 : 3,3	3,0 : 2,9	2,5 : 2,4

2	X	X	2,7 : 2,7	2,3 : 2,3	1,9 : 1,9	1,7 : 1,7
3	X	X	1,9 : 1,9	1,9 : 1,9	X	X
5	2,4 : 2,3	2,4 : 2,3	2,7 : 2,7	2,2 : 2,3	2,1 : 2,2	2,7 : 2,6
6	2,2 : 2,2	2,2 : 2,2	2,0 : 2,1	2,0 : 2,0	2,4 : 2,4	2,4 : 2,4
3	X	X	1,8 : 1,8	1,8 : 1,8	X	X
4	3,4 : 3,5	3,7 : 3,6	2,3 : 2,2	2,7 : 2,8	3,2 : 3,3	3,4 : 3,5
6	2,3 : 2,2	2,3 : 2,2	2,0 : 2,0	2,0 : 2,0	2,4 : 2,4	2,4 : 2,4
7	3,1 : 3,0	3,3 : 3,2	3,4 : 3,4	3,5 : 3,3	3,0 : 2,8	3,3 : 3,2

Tabla 40. Halo de Inhibición de E.Coli Monitoreo 2.

Fuente: Autoría Propia

#### 4.2.2.1 Resultados de resistencia bacteriana de E.Coli, monitoreo 2:

Antimicrobiano	Potencia del disco	Halo de inhibición (mm)	Categorización
Ácido Nalidixic	30 mcg	30:00	Sensible
Cefotaxime	30 mcg	xxx - xxx	Resistente
Ciprofloxacina	5 mcg	xxx - xxx	Resistente
Trimethoprim	2.5 mcg	35:25	Sensible
Amoxicillin	30 mcg	25:25	Sensible
Ceftriaxone	30 mcg	23:00	Sensible

<b>Penicilina</b>	10 mcg	30:00	Sensible
<b>Ácido Nalidixic</b>	30 mcg	29:25	Sensible
<b>Cefotaxime</b>	30 mcg	xxx - xxx	Resistente
<b>Ciprofloxacín</b>	5 mcg	xxx - xxx	Resistente
<b>Amoxicillin</b>	30 mcg	23:50	Sensible
<b>Ceftriaxone</b>	30 mcg	22:00	Sensible
<b>Ciprofloxacín</b>	5 mcg	xxx - xxx	Resistente
<b>Trimethoprim</b>	2.5 mcg	35:50	Sensible
<b>Ceftriaxone</b>	30 mcg	22:50	Sensible
<b>Penicilina</b>	10 mcg	31:50	Sensible

Tabla 41. Sensibilidad en Cepas de E. Coli Aisladas del Punto de Muestreo 1.

Fuente: Autoría Propia

En el monitoreo 2, las cepas de E.Coli aisladas del punto de muestreo 1 presentaron total resistencia al, Cefotaxime y Ciprofloxacín y sensibilidad al Ácido Nalidixic, Trimethoprim, Amoxicillin y Ceftriaxone, Penicilina.

<b>Antimicrobiano</b>	<b>Potencia del disco</b>	<b>Halo de inhibición (mm)</b>	<b>Categorización</b>
<b>Ácido Nalidixic</b>	30 mcg	34:50	Sensible
<b>Cefotaxime</b>	30 mcg	24:50	Sensible
<b>Ciprofloxacín</b>	5 mcg	xxx - xxx	Resistente
<b>Trimethoprim</b>	2.5 mcg	28:00	Sensible



<b>Amoxicillin</b>	30 mcg	22:00	Sensible
<b>Ceftriaxone</b>	30 mcg	21:75	Sensible
<b>Penicilina</b>	10 mcg	34:50	Sensible
<b>Ácido Nalidixic</b>	30 mcg	33:50	Sensible
<b>Cefotaxime</b>	30 mcg	25:00	Sensible
<b>Ciprofloxacín</b>	5 mcg	19:00	Sensible
<b>Amoxicillin</b>	30 mcg	24.75	Sensible
<b>Ceftriaxone</b>	30 mcg	20:25	Sensible
<b>Ciprofloxacín</b>	5 mcg	18:00	Intermedio
<b>Trimethoprim</b>	2.5 mcg	25:00	Sensible
<b>Ceftriaxone</b>	30 mcg	20:00	Sensible
<b>Penicilina</b>	10 mcg	34:00	Sensible

*Tabla 42.* Sensibilidad en Cepas de E. Coli Aisladas del Punto de Muestreo 2  
Fuente: Autoría Propia

Las cepas de E.Coli aisladas del punto de muestreo 2 presentaron total resistencia al Ciprofloxacín y sensibilidad al Ácido Nalidixic, Cefotaxime, Trimethoprim, Amoxicillin, Ceftriaxone y Penicilina.

<b>Antimicrobiano</b>	<b>Potencia del disco</b>	<b>Halo de inhibición (mm)</b>	<b>Categorización</b>
<b>Ácido Nalidixic</b>	30 mcg	33:50	Sensible
<b>Cefotaxime</b>	30 mcg	18:50	Sensible

<b>Ciprofloxacín</b>	5 mcg	xxx - xxx	Resistente
<b>Trimethoprim</b>	2.5 mcg	34:75	Sensible
<b>Amoxicillin</b>	30 mcg	23:00	Sensible
<b>Ceftriaxone</b>	30 mcg	21:50	Sensible
<b>Penicilina</b>	10 mcg	28:75	Sensible
<b>Ácido Nalidixic</b>	30 mcg	27:50	Sensible
<b>Cefotaxime</b>	30 mcg	18:00	Sensible
<b>Ciprofloxacín</b>	5 mcg	xxx - xxx	Resistente
<b>Amoxicillin</b>	30 mcg	24:00	Sensible
<b>Ceftriaxone</b>	30 mcg	24:00	Sensible
<b>Ciprofloxacín</b>	5 mcg	xxx - xxx	Resistente
<b>Trimethoprim</b>	2.5 mcg	33:50	Sensible
<b>Ceftriaxone</b>	30 mcg	24:00	Sensible
<b>Penicilina</b>	10 mcg	30:75	Intermedio

Tabla 43. Sensibilidad en Cepas de E. Coli Aisladas del Punto de Muestreo 3.

Fuente: Autoría Propia

Las cepas de E.Coli aisladas del punto de muestreo 3 presentaron total resistencia al Ciprofloxacín y sensibilidad al Ácido Nalidixic, Cefotaxime, Trimethoprim, Amoxicillin, Ceftriaxone y Penicilina.

Muestra Antibiótico	P. AERUGINOSA					
	M1	RM1	M2	RM2	M3	RM3
1	3,0 : 3,2	2,8 : 3,0	3,2 : 3,2	3,1 : 3,2	3,0 : 3,0	2,5 : 2,6
2	X	X	X	X	X	X
3	X	X	X	X	X	X
4	3,0 : 3,1	3,1 : 3,1	2,5 : 2,6	2,4 : 2,5	1,0 : 1,0	1,0 : 1,0
5	2,0 : 2,1	2,4 : 2,3	X	X	X	X
6	2,5 : 2,5	2,5 : 2,5	X	X	X	X
7	2,7 : 2,8	2,8 : 2,7	2,6 : 2,7	3,0 : 3,1	3,0 : 3,0	2,5 : 2,5
1	2,5 : 2,6	2,8 : 2,8	2,8 : 2,9	3,2 : 3,3	2,8 : 2,9	2,4 : 2,4
2	X	X	X	X	X	X
3	X	X	X	X	X	X
5	2,0 : 2,1	2,0 : 2,0	X	X	X	X
6	2,4 : 2,4	2,4 : 2,4	X	X	X	X
3	X	X	X	X	X	X
4	3,0 : 3,0	3,0 : 3,0	2,2 : 2,3	2,1 : 2,2	1,0 : 1,0	1,0 : 1,0

6	2,0 : 2,1	2,0 : 2,1	2,0 : 2,2	2,0 : 2,1	2,0 : 2,0	2,0 : 2,0
7	2,8 : 2,9	3,0 : 3,0	2,8 : 2,9	2,8 : 2,8	2,5 : 2,6	2,5 : 2,6

Tabla 44. Halo de Inhibición de P. Aeruginosa Monitoreo 2.

Fuente: Autoría Propia

#### 4.2.2.2 Resultados de resistencia bacteriana de P. Aeruginosa, monitoreo 2:

Antimicrobiano	Potencia del disco	Halo de inhibición (mm)	Categorización
Ácido Nalidixic	30 mcg	30:00	Sensible
Cefotaxime	30 mcg	xxx - xxx	Resistente
Ciprofloxacín	5 mcg	xxx - xxx	Resistente
Trimethoprim	2.5 mcg	30:75	Sensible
Amoxicillin	30 mcg	22:00	Sensible
Ceftriaxone	30 mcg	25:00	Sensible
Penicilina	10 mcg	27:00	Sensible
Ácido Nalidixic	30 mcg	26:75	Sensible
Cefotaxime	30 mcg	xxx - xxx	Resistente
Ciprofloxacín	5 mcg	xxx - xxx	Resistente
Amoxicillin	30 mcg	20:25	Intermedio
Ceftriaxone	30 mcg	24:00	Sensible

<b>Ciprofloxacín</b>	5 mcg	xxx - xxx	Resistente
<b>Trimethoprim</b>	2.5 mcg	30:00	Sensible
<b>Ceftriaxone</b>	30 mcg	20:50	Sensible
<b>Penicilina</b>	10 mcg	29:25	Sensible

Tabla 45. Sensibilidad en cepas de P. Aeruginosa Aisladas del Punto de Muestreo 1.

Fuente: Autoría Propia

En el monitoreo 2, las cepas P. Aeruginosa aisladas del punto de muestreo 1 presentaron total resistencia al, Cefotaxime y Ciprofloxacín, resistencia intermedia al Amoxicillin y sensibilidad al Ácido Nalidixic, Trimethoprim, y Ceftriaxone, Penicilina.

<b>Antimicrobiano</b>	<b>Potencia del disco</b>	<b>Halo de inhibición (mm)</b>	<b>Categorización</b>
<b>Ácido Nalidixic</b>	30 mcg	21:25	Sensible
<b>Cefotaxime</b>	30 mcg	xxx - xxx	Resistente
<b>Ciprofloxacín</b>	5 mcg	xxx - xxx	Resistente
<b>Trimethoprim</b>	2.5 mcg	25:00	Sensible
<b>Amoxicillin</b>	30 mcg	xxx - xxx	Resistente
<b>Ceftriaxone</b>	30 mcg	xxx - xxx	Resistente
<b>Penicilina</b>	10 mcg	28:50	Sensible
<b>Ácido Nalidixic</b>	30 mcg	30:50	Sensible
<b>Cefotaxime</b>	30 mcg	xxx - xxx	Resistente
<b>Ciprofloxacín</b>	5 mcg	xxx - xxx	Resistente

<b>Amoxicillin</b>	30 mcg	xxx - xxx	Resistente
<b>Ceftriaxone</b>	30 mcg	xxx - xxx	Resistente
<b>Ciprofloxacín</b>	5 mcg	xxx - xxx	Resistente
<b>Trimethoprim</b>	2.5 mcg	22:00	Sensible
<b>Ceftriaxone</b>	30 mcg	20:75	Sensible
<b>Penicilina</b>	10 mcg	28:75	Sensible

*Tabla 46.* Sensibilidad en Cepas de *P. Aeruginosa* Aisladas del Punto de Muestreo 2.  
Fuente: Autoría Propia

Las cepas *P. Aeruginosa* aisladas del punto de muestreo 2 presentaron total resistencia al, Cefotaxime, Ciprofloxacín, Amoxicillin y Trimethoprim y sensibilidad al Ácido Nalidixic, Ceftriaxone y Penicilina.

<b>Antimicrobiano</b>	<b>Potencia del disco</b>	<b>Halo de inhibición (mm)</b>	<b>Categorización</b>
<b>Ácido Nalidixic</b>	30 mcg	27:75	Sensible
<b>Cefotaxime</b>	30 mcg	xxx - xxx	Resistente
<b>Ciprofloxacín</b>	5 mcg	xxx - xxx	Resistente
<b>Trimethoprim</b>	2.5 mcg	10:00	Resistente
<b>Amoxicillin</b>	30 mcg	xxx - xxx	Resistente
<b>Ceftriaxone</b>	30 mcg	xxx - xxx	Resistente
<b>Penicilina</b>	10 mcg	27:50	Sensible
<b>Ácido Nalidixic</b>	30 mcg	26:25	Sensible

<b>Cefotaxime</b>	30 mcg	xxx - xxx	Resistente
<b>Ciprofloxacín</b>	5 mcg	xxx - xxx	Resistente
<b>Amoxicillin</b>	30 mcg	xxx - xxx	Resistente
<b>Ceftriaxone</b>	30 mcg	xxx - xxx	Resistente
<b>Ciprofloxacín</b>	5 mcg	xxx - xxx	Resistente
<b>Trimethoprim</b>	2.5 mcg	10:00	Resistente
<b>Ceftriaxone</b>	30 mcg	20:00	Sensible
<b>Penicilina</b>	10 mcg	25:50	Sensible

*Tabla 47.* Sensibilidad en Cepas de *P. Aeruginosa* Aisladas del Punto de Muestreo 3.

Fuente: Autoría Propia

Las cepas de *P. Aeruginosa* aisladas del punto de muestreo 3 presentaron total resistencia al, Cefotaxime, Ciprofloxacín, Amoxicillin, Trimethoprim y Ceftriaxone y sensibilidad al Ácido Nalidixic y Penicilina.

#### **4.2.3. Sensibilidad bacteriana en el punto de muestreo 1**

En el monitoreo 1, las cepas de *E.Coli* y *P Aeruginosa* aisladas del punto de muestreo 1 presentaron el mismo comportamiento ante los diferentes antimicrobianos empleados con una total resistencia al Cefotaxime y Ciprofloxacín, una resistencia intermedia a Amoxicillin, Penicilina y Ácido Nalidixic, así como sensibilidad a Trimethoprim y Ceftriaxone.

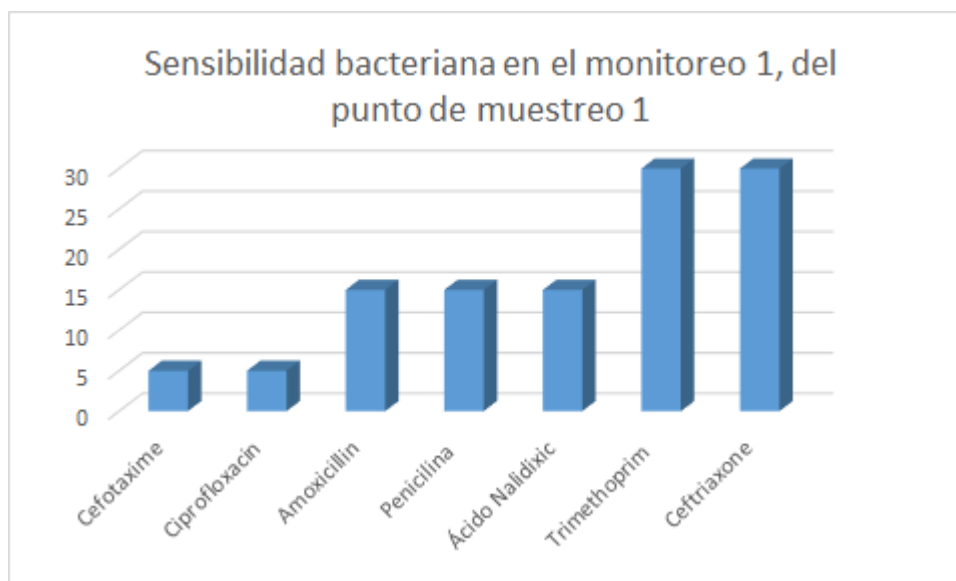


Figura 20. Sensibilidad Bacteriana; Monitoreo 1, Punto de Muestreo 1.

En el monitoreo 2, las cepas de E.Coli y P. Aeruginosa aisladas del punto de muestreo 1 presentaron total resistencia al, Cefotaxime y Ciprofloxacín, en el caso de la P. Aeruginosa también se presentó resistencia intermedia al Amoxicillin y sensibilidad de los dos grupos bacterianos al Ácido Nalidixic, Trimethoprim, Ceftriaxone y Penicilina, para el caso de la E.Coli también sensibilidad al Amoxicillin.

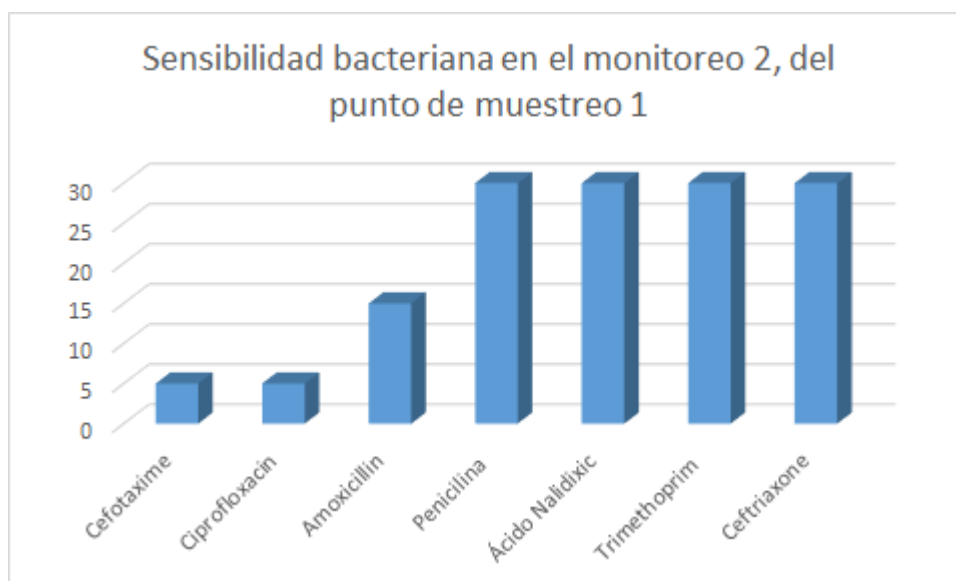


Figura 21. Sensibilidad bacteriana; monitoreo 2, punto de muestreo 1.

Para el análisis de la resistencia bacteriana de este punto se realizaron 16 pruebas con los antibióticos seleccionados, con su respectiva repetición sobre cada uno de los agentes microbianos



utilizados, para cada monitoreo, haciendo un total de 128 pruebas para el estudio del punto de muestreo 1.

En términos generales se puede apreciar que durante los dos monitoreos tanto las capas aisladas de E.Coli como de P. Aeruginosa presentaron total resistencia al Cefotaxime y Ciprofloxacín, además durante el monitoreo 2 se presentó resistencia intermedia al Amoxicillin, Penicilina y Ácido Nalidixic, mientras en el monitoreo 1 solo se presentó resistencia intermedia en la P. Aeruginosa al Amoxicillin, en ambos monitoreos los dos grupos bacterianos presentaron sensibilidad al Trimethoprim y Ceftriaxone.

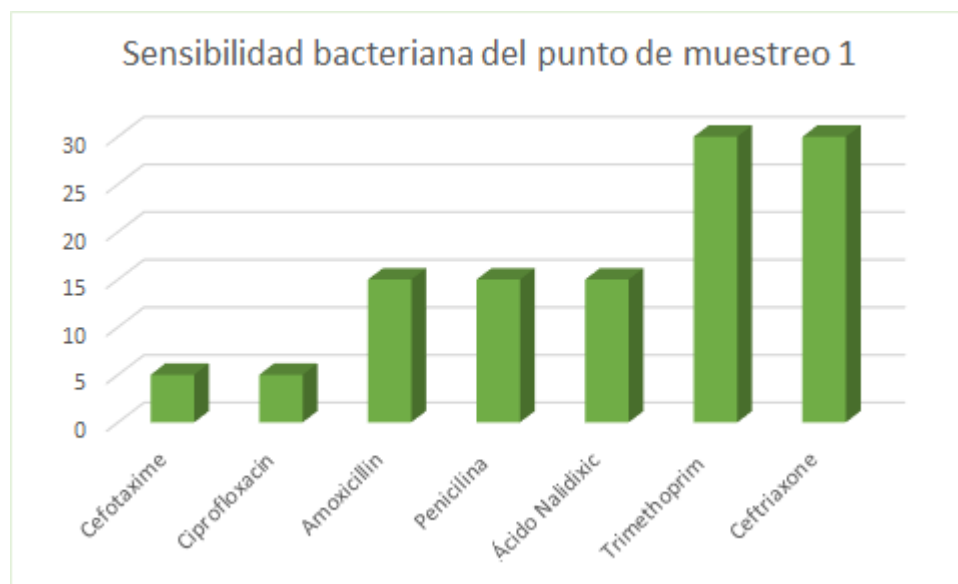


Figura 22. Sensibilidad Bacteriana en el Punto de Muestreo 1.

#### 4.2.4. Sensibilidad bacteriana en el punto de muestreo 2

En el monitoreo 1, las cepas de E.Coli y P Aeruginosa aisladas del punto de muestreo 2 tuvieron algunas diferencias en su comportamiento ante los diferentes antimicrobianos empleados, los dos grupos bacterianos presentaron una total resistencia al Cefotaxime y Ciprofloxacín, en el caso de la E.Coli también al Ácido Nalidixic y Trimethoprim, una resistencia intermedia a la Penicilina, en el caso de la P. Aeruginosa también al Amoxicillin, para ambos microorganismos se da una sensibilidad al Ceftriaxone, en el caso de la P Aeruginosa también al Ácido Nalidixic, Trimethoprim y Ceftriaxone.

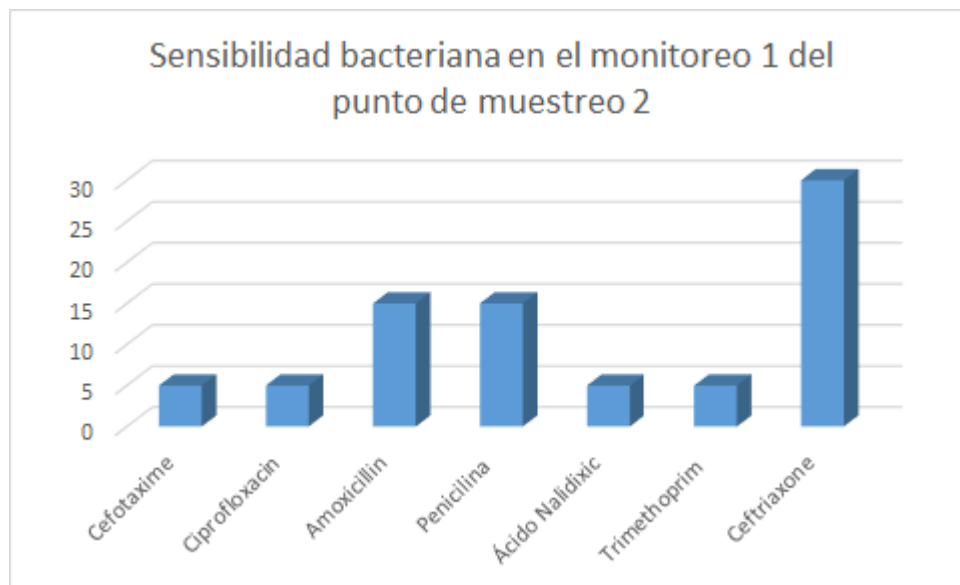


Figura 23. Sensibilidad Bacteriana; Monitoreo 1, Punto de Muestreo 2.

En el monitoreo 2, las cepas de E.Coli y P. Aeruginosa aisladas del punto de muestreo 2 tienen muchas diferencias en su comportamiento. Las cepas de E.Coli presentaron total resistencia al Ciprofloxacin y sensibilidad al Ácido Nalidixic, Cefotaxime, Trimethoprim, Amoxicillin, Ceftriaxone y Penicilina, mientras en el caso de las cepas de P. Aeruginosa se dio una menor sensibilidad a los antibióticos empleados, con total resistencia al, Cefotaxime, Ciprofloxacin, Amoxicillin y Trimethoprim y sensibilidad al Ácido Nalidixic, Ceftriaxone y Penicilina.

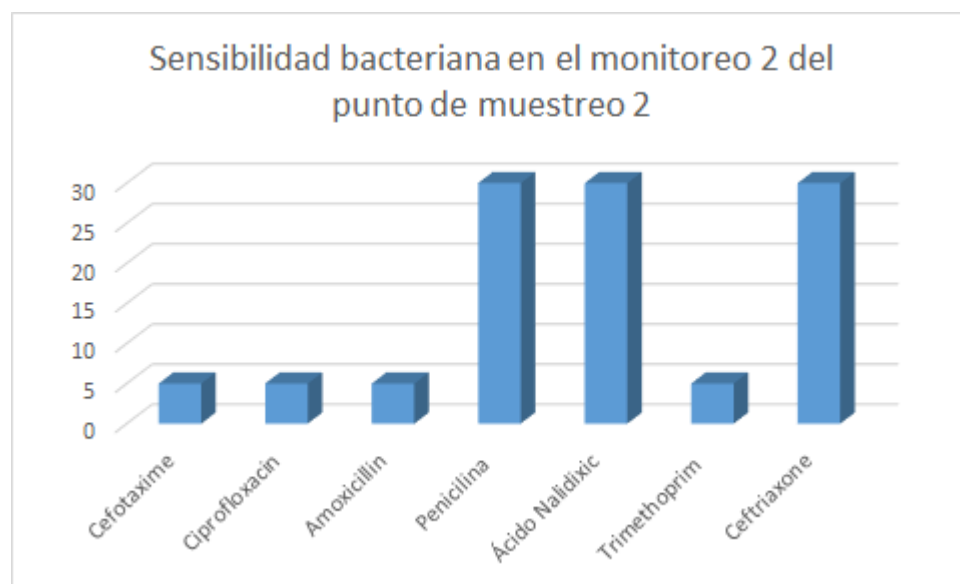


Figura 24. Sensibilidad Bacteriana; Monitoreo 2, Punto de Muestreo 2.

Para el análisis de la resistencia bacteriana de este punto se realizaron 16 pruebas con los antibióticos seleccionados, con su respectiva repetición sobre cada uno de los agentes microbianos utilizados, para cada monitoreo, haciendo un total de 128 pruebas para el estudio del punto de muestreo 2.

En términos generales se puede apreciar que durante los dos monitoreos tanto las cepas de E.Coli como de P. Aeruginosa aisladas del punto de muestreo 2, presentaron total resistencia al Ácido Nalidixic, Cefotaxime, Ciprofloxacín y Trimethoprim, además durante el monitoreo 2 también se presentó total resistencia al Amoxicillin, y una resistencia intermedia a la Penicilina, en ambos monitoreos los dos grupos bacterianos presentaron sensibilidad al Ceftriaxone.

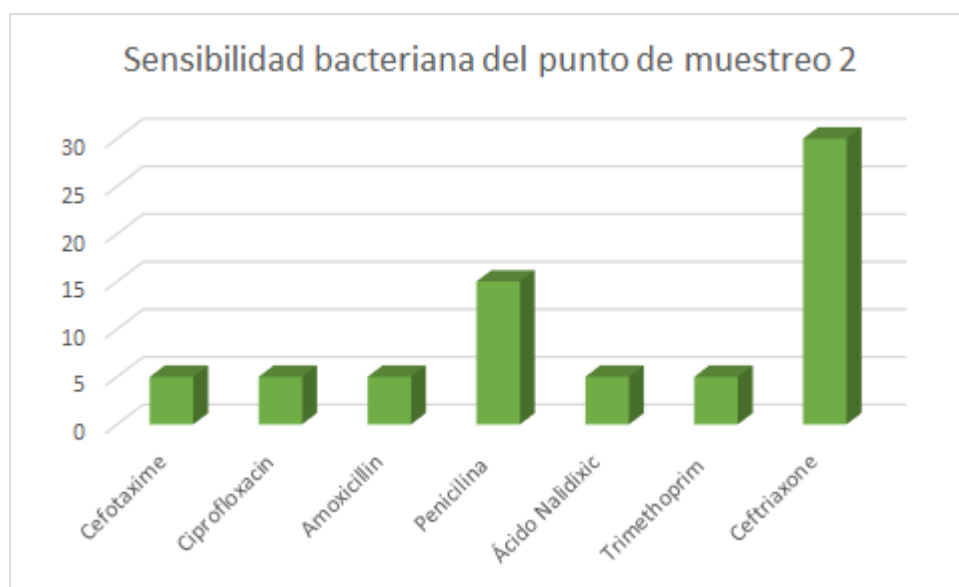
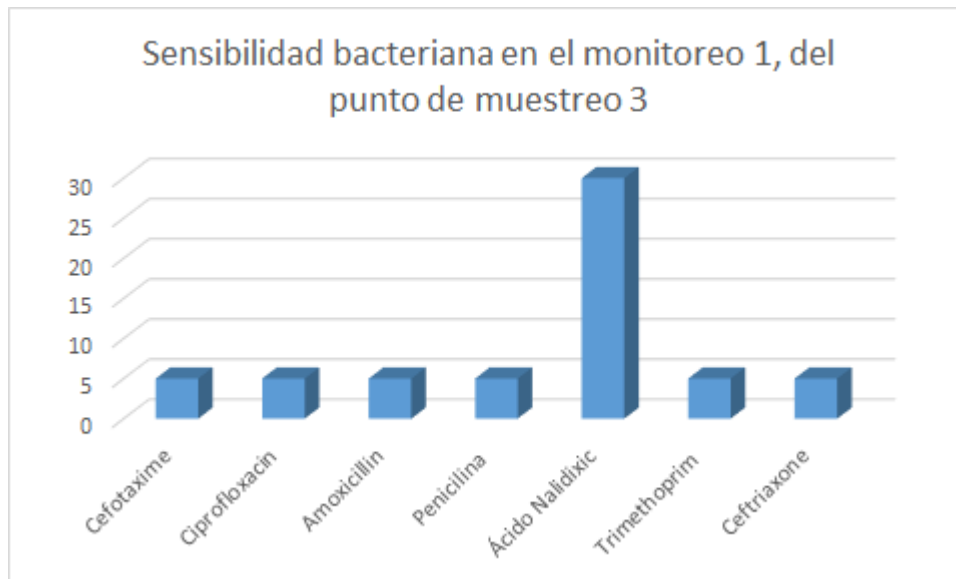


Figura 25. Sensibilidad Bacteriana Punto de Muestreo 2.

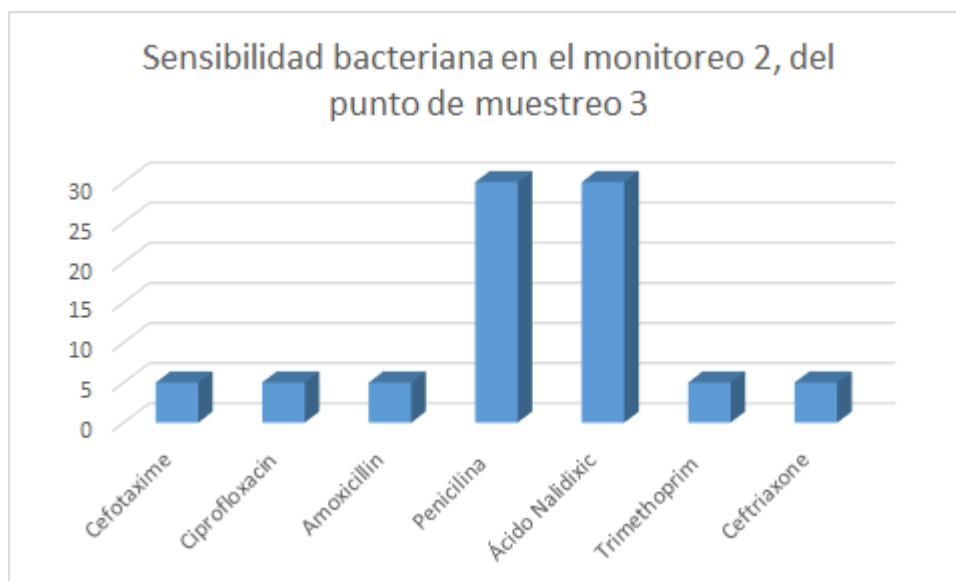
#### 4.2.5. Sensibilidad bacteriana en el punto de muestreo 3

En el monitoreo 1 Las cepas de E.Coli y P. Aeruginosa aisladas del punto de muestreo 3 presentaron total resistencia al Cefotaxime, Ciprofloxacín y Amoxicillin, en el caso de la P. Aeruginosa también al Ceftriaxone, Trimethoprim y Penicilina, para ambos microorganismos se generó sensibilidad al Ácido Nalidixic, en el caso de la E.Coli también al Ceftriaxone y Trimethoprim.



*Figura 26.* Sensibilidad Bacteriana; Monitoreo 1, Punto de Muestreo 3.

En el monitoreo 2, las cepas de E.Coli y P. Aeruginosa aisladas del punto de muestreo 3 presentaron total resistencia al Ciprofloxacín, en el caso de la P. Aeruginosa también se presentó resistencia total al Cefotaxime, Amoxicillin, Trimethoprim y Ceftriaxone, y sensibilidad de los dos grupos bacterianos al Ácido Nalidixic y Penicilina, para el caso de la E.Coli también sensibilidad al Cefotaxime, Trimethoprim, Amoxicillin y Ceftriaxone.



*Figura 27.* Sensibilidad bacteriana; monitoreo 2, punto de muestreo 3.

Para el análisis de la resistencia bacteriana de este punto se realizaron 16 pruebas con los antibióticos seleccionados, con su respectiva repetición sobre cada uno de los agentes microbianos

utilizados, para cada monitoreo, haciendo un total de 128 pruebas para el estudio del punto de muestreo 1.

En términos generales se puede apreciar que durante los dos monitoreos tanto las capas de E.Coli como de P. Aeruginosa aisladas del punto de muestreo 3 se presentó total resistencia al Cefotaxime, Ciprofloxacín, Amoxicillin, Trimethoprim y Ceftriaxone, durante el monitoreo 1 también se encontró total resistencia a la Penicilina, en ambos monitoreos los dos grupos bacterianos presentaron sensibilidad al Ácido Nalidixic.

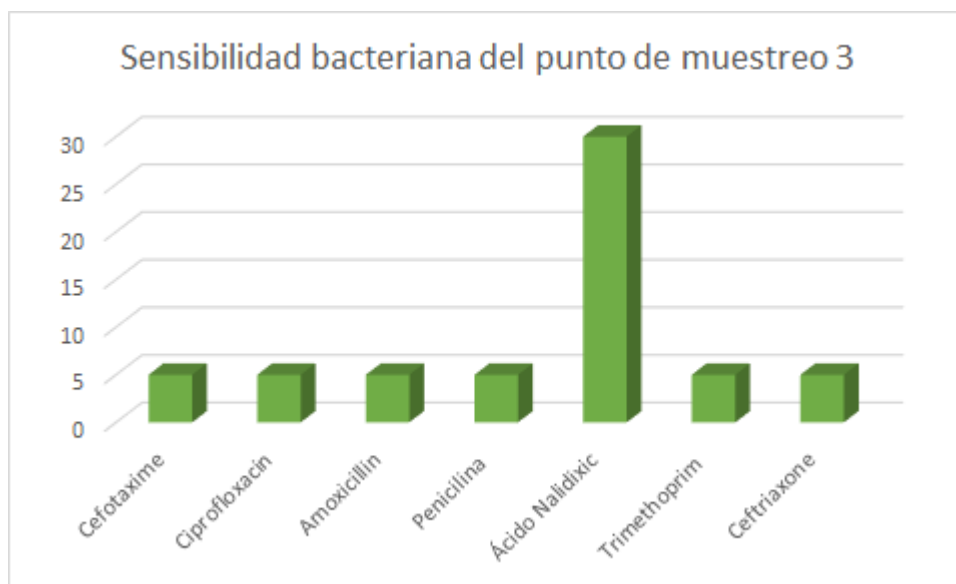


Figura 28. Sensibilidad Bacteriana del Punto de Muestreo 3.

Fuente:

### 4.3. Toxicidad biológica generada por las aguas residuales hospitalarias

Biotoxicidad:

Las aguas residuales del hospital Federico Lleras Acosta generan efectos nocivos en la salud de la población y en el medio ambiente, con niveles de toxicidad biológica muy altas, concentraciones microbianas promedio entre  $1.97 \times 10^5$  UFC/ml a  $3.56 \times 10^5$  UFC/ml en el caso de la E.Coli, y  $2.12 \times 10^5$  UFC/ml a  $2.72 \times 10^5$  UFC/ml en el caso de la P. Aeruginosa, además presenta cepas de E.Coli y P. Aeruginosa aisladas de la red de alcantarillado conectada al hospital y de la fuente hídrica donde se vierten finalmente estas aguas, con total resistencia bacteriana al Cefotaxime, Ciprofloxacín, Amoxicillin, Ceftriaxone, Trimethoprim, Penicilina, y Ácido Nalidixic.

Entre los factores de virulencia que se contemplaron para el análisis de la biotoxicidad en este estudio se encuentran; Sensibilidad antimicrobiana, concentraciones bacterianas máximas, capacidad de adaptación, mecanismos de infección y velocidad de contagio entre otros, estos factores se relacionan con las patologías que pueden llegar generar los diferentes microorganismos

que se encuentran en ellas, otros importantes factores de virulencia en estos microorganismos son los Pili, el flagelo, la matriz de polisacáridos (alginato), los pigmentos, las elastasas, las proteasas alcalinas, las lecitinas solubles, la fosfolipasa C y diversas toxinas, las cuales pueden indicar diferentes grados de contaminación.

La toxina Verotoxina o Shiga generada por cepas de la bacteria E.Coli, Inactivan a la subunidad 60S de los ribosomas eucariotas por medio de la ruptura del ARNr. De esta manera, las toxinas inhiben la síntesis de proteínas. La principal manifestación de la actividad de la toxina Shiga son los daños ocasionados al epitelio intestinal, sin embargo también puede causar daño en las células endoteliales glomerulares en un pequeño número de pacientes, lo que da lugar a insuficiencia renal (Agencia de salud pública en Barcelona, 2015)

Otro importante grupo de toxinas para este estudio son la Endotoxina, Exotoxina A, Exoenzima S, Exoenzima T, y la Exoenzima U, que son generadas por cepas de la bacteria P. Aeruginosa, la Endotoxina es responsable de la estimulación excesiva del sistema inmunitario, y puede provocar shock séptico y producir la muerte, Exotoxina A es citotóxica, inhibe la síntesis proteica celular, es responsable de necrosis tisular y afecta la respuesta del hospedador a la infección, las Exoenzima S y la Exoenzima T son Citotóxicas, Facilitan la adhesión de la bacteria a las células epiteliales y la necrosis tisular, y por último la Exoenzima U es citotóxica. Produce lesiones en las células epiteliales, es responsable de bacteriemia e, incluso, de shock tóxico.

#### **4.4 Impacto sobre los ecosistemas acuáticos naturales**

De frente a los resultados obtenidos se puede decir con certeza que en las concentraciones y con la resistencia a los antibióticos mencionada anteriormente, las bacterias que se vierten en estas aguas provenientes del Hospital Federico Lleras Acosta surten un efecto perjudicial en el ecosistema acuático natural del río Combeima y por ende sobre la cuenca hidrográfica, alterando los componentes ambientales de gran parte de la flora (algas y macrófitos), plantas acuáticas (espadañas, tuncos y totoras) y en el componente fauna afectando a la mayoría de individuos compuesto principalmente en 75 especies de aves, 24 reptiles, 35 anfibios y la mayor abundancia de murciélagos entre los ecosistemas presentes en el Tolima. (Cortolima, 2002), que hace parte fundamental de este entorno. De acuerdo a la bibliografía consultada, “*la propagación de genes de resistencia en los ecosistemas naturales puede desafiar la dinámica poblacional y la fisiología de las poblaciones microbianas naturales* (Parisien et al. 2008).” (Acevedo y colaboradores, 2015)

También se encontró que en el área de la cuenca hidrográfica del río Combeima donde se realiza el vertimiento puntual de las aguas residuales provenientes del Hospital Federico Lleras acosta a la fuente hídrica, se encuentra con un alto grado de deterioro de sus componentes ambientales, debido al vertimiento permanente de grandes caudales de aguas residuales generadas por la ciudad, lo que hace que sea menos visible para los entes de control el efecto que generan las aguas residuales sobre la flora y fauna de la misma.

## Capítulo 5

### **Discusión de resultados:**

Los programas de vigilancia de la resistencia bacteriana son sistemas muy habituales en hospitales y centros de salud, estos permiten conocer el comportamiento de los microorganismos frente a un antimicrobiano en especial cuando se requiere dar un tratamiento o en el desarrollo y estudio de fármacos, este tipo de estudios proporcionan información sobre los mecanismos de resistencia a los diferentes antibióticos empleados en una región o en una institución prestadora de servicios de salud, en Colombia se han desarrollado diferentes estudios para caracterizar el nivel de riesgo biológico que se genera en cada área de los centros de salud, así como su comportamiento en las diferentes regiones, y de esta forma poder reducir el riesgo generado por estas instituciones, por lo regular esta información suele ser tenida en cuenta al momento de implementar sistemas de tratamiento insito, planes de contención epidemiológicos, y en la evaluación de los sistemas de tratamiento de aguas residuales hospitalarias, sin embargo el monitoreo y control de estas instituciones están enfocadas solo a las áreas de mayor riesgo, obviando el riesgo que representan las aguas residuales generadas en otras unidades, actualmente en Colombia no se tiene información concreta acerca del impacto ambiental y los efectos sobre la salud pública, que generan las aguas residuales hospitalarias que provienen de unidades como baterías sanitarias, lavados, laboratorios, entre otras, además de que en los programas de vigilancia epidemiológica no se toman en cuenta como un factor influyente en los niveles de morbilidad y mortalidad de la región, en la ciudad de Ibagué más del 88% de estas aguas se vierten directamente sobre las fuentes hídricas superficiales en grandes caudales y muchas de ellas en zonas muy cerca al perímetro urbano por lo regular en sectores vulnerables y marginados.

Algunos autores a nivel internacional han evaluado el impacto ambiental generado por las aguas residuales hospitalarias, analizando los contaminantes químicos presentes en estas aguas principalmente fármacos, antibióticos, analgésicos, desinfectantes, entre otros llamados habitualmente contaminantes emergentes, En la publicación realizada por (Sánchez, 2013), se realiza un esquema para la valoración del impacto ambiental generado por contaminantes emergentes en aguas residuales hospitalarias empleando la metodología de control borroso basado en diferente reportes de estas sustancias generados por algunos investigadores españoles,

obteniendo que el impacto ambiental está entre 16,3 y 25,5 (en escala de 0 a 100), lo cual indica que el efecto de los fármacos presentes en las aguas residuales sobre el ecosistema se caracteriza por los términos: ‘bajo’ y ‘considerable’, tendiendo a extenderse hacia la zona ‘considerable’, lo cual es de gran preocupación ambiental. Sánchez B (2015)

En el trabajo presentado por González y Rodríguez (2013). Los investigadores calculan el impacto ambiental generado por las aguas residuales hospitalarias, analizando las concentraciones de los fármacos que se encuentran en las aguas residuales del Hospital de Galdakao, España, con un vertido de 103.000 m<sup>3</sup>/año, del cual se analizaron 21 muestras en el segundo semestre del año 2011. Los autores clasificaron las sustancias por familias de contaminantes, a partir de su tipología y función. Empleando el método de cromatografía líquida acoplada a espectrometría de masas. Se evaluaron más de 100 compuestos seleccionados de forma simultánea (González y Rodríguez 2013). En el estudio publicado por Henríquez (2012) se reportan las concentraciones a las cuales los fármacos comienzan a tener actividad eco tóxica. Y en el trabajo publicado por Hernando et al. (2004), los fármacos del tipo reguladores lipídicos (ácidos clofibrato, bezafibrato, gemfibrocil, fenofibrato) y beta bloqueantes (atenolol, sotalol, metoprolol, betaxolol) tienen efectos tóxicos individuales bajos, sin embargo los efectos tóxicos sinérgicos son importantes a concentraciones muy bajas (2000 µg/l), correspondiendo al valor en donde el impacto ambiental es elevado (Sánchez, 2013)

Se estima que el análisis del impacto ambiental generado por las aguas residuales hospitalarias evaluando las concentraciones de contaminantes emergentes es subjetivo, contemplan muchas variables y consideraciones para cada metodología empleada por los diferentes investigadores, además de las características de los centros hospitalarios, por lo que las evaluaciones de dichos impactos ambientales no deben de ser comparados entre sí o con otras metodologías como la evaluación de la toxicología biológica a través de concentraciones microbianas y resistencia bacteriana, en estos estudios se reportaron según las características de los contaminantes y sus concentraciones un impacto ambiental ‘bajo’ y ‘considerable’ con un grado de verdad de 0,68, tendiendo a trasladarse hacia la zona ‘considerable’. Que representa una grave afectación sobre el medio ambiente y la salud pública, e implica que los sistemas de tratamiento empleados en los centros de salud y las PETAR analizadas son insuficientes para el tratamiento de las aguas residuales hospitalarias y requieren sistemas de tratamiento especiales.

La determinación del impacto ambiental generado por las aguas residuales del hospital Federico Lleras Acosta de la ciudad de Ibagué se realiza empleando tres parámetros, el primero, las concentraciones microbianas máximas y las concentraciones microbianas promedio para *Pseudomonas Aeruginosa* (ver Tabla 26). Y *Escherichia Coli*, (ver Tabla 25). Las concentraciones máximas indican el impacto sobre cada punto de muestreo en un instante de tiempo “t” en donde las aguas alcanzan esta concentración. El segundo aspecto es la resistencia bacteriana, este estudio se enfoca en los valores máximos obtenidos para *Pseudomonas Aeruginosa* Y *Escherichia Coli*



para cada uno de los ensayos y sus repeticiones, se emplearon los valores lingüísticos y los rangos establecidos por el instituto nacional de salud categorizados como “Sensible, intermedio y resistente”, se emplea el método de kirby bauer para el desarrollo de los antibiogramas empleando siete antibióticos de amplio espectro seleccionados a partir de las recomendaciones del manual de la revista biomedica colombiana para antibiogramas en disco así como de alto consumo clínico en la región y en el centro hospitalario (ver Tabla 27). El tercer aspecto es la biotoxicidad que relaciona tanto la concentración bacteriana, como los niveles máximos de resistencia que presentaron estos microorganismos, también otros factores de virulencia como el mecanismo de infección, la capacidad de adaptación, el flagelo, la matriz de polisacáridos (alginato), los pigmentos, las elastasas, las proteasas alcalinas, las lecitinas solubles, la fosfolipasa C y diversas toxinas.

En el Tolima los estudios sobre la biotoxicidad de las aguas residuales hospitalarias son insuficientes o nulos, por lo que aún no se ha estimado el impacto que estas pueden generar sobre los ecosistemas acuáticos naturales y la salud pública, en países como España y Estados unidos ya se han adelantado algunos estudios que definen los efectos negativos de estas aguas sobre la salud y el medio ambiente después de haber pasado por algunos sistemas de tratamiento in situ y PTAR, por el contrario en la ciudad de Ibagué, el hospital Federico Lleras Acosta vierte sus aguas residuales directamente a la red de alcantarillado generando un importante foco de contaminación para la población y posteriormente al río Combeima que aguas abajo se encuentra limitando con múltiples comunidades, además de tratarse de la principal fuente de abastecimiento de agua de la ciudad de Ibagué, situación que agrava la problemática.

De frente a los resultados obtenidos se puede decir con certeza que las bacterias resistentes a los antibióticos surten un efecto perjudicial en el ecosistema acuático del río Combeima, alterando la flora y la fauna que hace parte de este entorno. De acuerdo a la bibliografía consultada, “la propagación de genes de resistencia en los ecosistemas naturales puede desafiar la dinámica poblacional y la fisiología de las poblaciones microbianas naturales (Parisien et al. 2008).”

## 6. Conclusiones

- La legislación colombiana omite parámetros importantes para el análisis y monitoreo de las aguas residuales hospitalarias como la presencia, concentración y resistencia bacteriana de microorganismos patógenos de carácter nosocomial.
- Para el manejo integral de las aguas residuales hospitalarias se debe de implementar sistemas de tratamiento especiales In situ y PTAR de manera que se evite una propagación de agentes infecciosos y contaminantes emergentes a través de la red de alcantarillado.
- El abuso de medicamentos y la mala medicación que se genera en los centros hospitalarios de la ciudad de Ibagué genera una problemática que trasciende de los centros prestadores de servicios de salud a la ciudad a través del vertimiento de sus aguas.
- Las aguas residuales del Hospital Federico Lleras Acosta presentaron niveles de biotoxicidad altas, con concentraciones microbianas promedio entre  $1.97 \times 10^5$  UFC/ml a  $3.56 \times 10^5$  UFC/ml en el caso de la E.Coli, y  $2.12 \times 10^5$  UFC/ml a  $2.72 \times 10^5$  UFC/ml en el caso de la P. Aeruginosa, además presenta cepas de E. Coli y P. Aeruginosa aisladas de la red de alcantarillado conectada al hospital y de la fuente hídrica donde se vierten finalmente estas aguas, con total resistencia bacteriana al Cefotaxime, Ciprofloxacina, Amoxicillin, Ceftriaxone, Trimethoprim, Penicilina, y Ácido Nalidixic.
- El hospital Federico Lleras Acosta vierte sus aguas residuales directamente a la red de alcantarillado generando un foco de contaminación para la población y posteriormente al río Combeima que aguas abajo se encuentra limitando con múltiples comunidades, además de tratarse de la principal fuente de abastecimiento de agua de la ciudad de Ibagué, situación que agrava la problemática.
- Los análisis de biotoxicidad en las aguas residuales hospitalarias analizan importantes parámetros y riesgos tanto para la población como para el medio ambiente que no se contemplan en la normatividad actual, así como en los estudios y evaluaciones de impactos ambientales en Colombia.

## 7. Recomendaciones

- Es indispensable implementar sistemas de tratamiento de aguas residuales integrales en los centros prestadores de servicios de salud que permitan controlar y reducir la problemática generada por el mal manejo de las mismas en la ciudad de Ibagué.
- La secretaria de salud y el ente de control ambiental del Tolima deben de tomar como un punto vital para el sostenimiento de la ciudad el manejo integral de los vertimientos de aguas residuales tanto domésticas como hospitalarias en el municipio.
- Incluir parámetros para el estudio y monitoreo de las aguas residuales hospitalarias como la presencia de los agentes microbianos de mayor relevancia para el centro de salud.
- Incluir parámetros para el estudio y monitoreo de las aguas residuales hospitalarias como concentración de fármacos, medicamentos, bactericidas y desinfectantes empleados en estos centros.
- Incluir parámetros para el estudio y monitoreo de las aguas residuales hospitalarias como la resistencia bacteriana de manera que sea más fácil mitigar el riesgo biológico que esta representa a la población.

## 8. Bibliografía

- Acevedo, R. Severiche, C. y Jaimes, J. (2015). *Bacterias resistentes a antibióticos en ecosistemas acuáticos*. *Producción + Limpia*, 10(2), 160-172. Recuperado el 10 de abril 2019, de [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1909-04552015000200015&lng=en&tlng=es](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1909-04552015000200015&lng=en&tlng=es)
- Agencia de salud pública en Barcelona (2015). *Escherichia coli verotoxigénica o productoras de toxina shiga (VTEC/STEC)*. Recuperado de: [www.aspb.cat/wp-content/uploads/2016/10/Infecciones-E-coli.pdf](http://www.aspb.cat/wp-content/uploads/2016/10/Infecciones-E-coli.pdf)
- Apella, M. Araujo, P. *Microbiología del agua. Conceptos básicos*. Recuperado de [https://www.psa.es/es/projects/solarsafewater/documents/libro/02\\_Capitulo\\_02.pdf](https://www.psa.es/es/projects/solarsafewater/documents/libro/02_Capitulo_02.pdf)
- Bernal. M. Guzmán, M. (1984) *El antibiograma de disco. Normalización de la técnica de Kirby-Bauer*. *Revista biomédica*. Vol. 4, No 3 y 4 Recuperado de <https://www.revistabiomedica.org/index.php/biomedica/article/viewFile/189>
- Buitrago, E. Hernández, C. Pallares, C. Pacheco, R. Hurtado, K. Recalde, M. (2014). *Frequency and antibiotics resistance profiles of microbiological isolates at 13 clinics and referral hospitals in Santiago de Cali - Colombia* (English) In *INFECTIO*. January-March 2014 18(1):3-11 Language: Spanish; Castilian. DOI: 10.1016/S0123-9392(14)70734-9, Base de datos: Science Direct
- CITMA. *Estrategia Ambiental Nacional 2007-2010*, Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente, Cuba. La Habana: Editorial Academia; 2007.
- CITMA. *Programa Nacional de lucha Contra la Contaminación Ambiental*, Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente, Cuba. La Habana: Editorial GAIA; 2009. 13
- Cercerano, E., & Saavedra-Lozano, J. (2011). *El antibiograma. Interpretación y conceptos generales*. *Anales de Pediatría continuada*, VII (4), 34-58. Recuperado de <http://www.apcontinuada.com/es-el-antibiograma-interpretacion-del-antibiograma-articulo-S1696281809719274?referer=buscador>

Comité de Medicamentos de la Asociación Española de Pediatría. Pediamécum. Edición 2015. Amoxicilina. Disponible en: [pediamecum.es/wp-content/farmacos/Amoxicilina.pdf](http://pediamecum.es/wp-content/farmacos/Amoxicilina.pdf)

Comité de Medicamentos de la Asociación Española de Pediatría. Pediamécum. Edición 2015. Ciprofloxacino. Tomado de: [pediamecum.es/wp-content/farmacos/Ciprofloxacino.pdf](http://pediamecum.es/wp-content/farmacos/Ciprofloxacino.pdf)

Departamento de Salud y Servicios Humanos (2009). *Módulo I - Introducción a la toxicología. Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades* Recuperado de [https://www.atsdr.cdc.gov/es/training/toxicology\\_curriculum/modules/1/es\\_lecture\\_notes.html](https://www.atsdr.cdc.gov/es/training/toxicology_curriculum/modules/1/es_lecture_notes.html)

Dr. Lozano, D. Dra. Larrondo, H. Dra. Herrera, M, Dr. Rivero, E. Prof. Dr. Zamora, R. y Dr. Araujo, L. (1998) *Penicilinas. ACTA MÉDICA* 1998; 8(1):28-39 Recuperado de [bvs.sld.cu/revistas/act/vol8\\_1\\_98/act04198.pdf](http://bvs.sld.cu/revistas/act/vol8_1_98/act04198.pdf)

Duarte, C. Gutiérrez, F. (2013) *Tratamiento de Agua Residual Hospitalaria Previamente Ozonizada Utilizando un Reactor Anaerobio de Lecho Fijo*. Informe Trabajo final de grado. Universidad Militar Nueva Granada. Bogotá D.C. Recuperado de <https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/11357/DuarteBarreroCarlosEduardo2013.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Ergueta, F. (2016, Junio) *Tratamiento de aguas residuales hospitalarias. Revista P y C* Recuperado de: <http://revistapyc.com/Articulos/Grupo62/ART-62-G.pdf>

Farías, B. *Conocimientos básicos sobre Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (Módulo I) iagua*. Recuperado de <https://www.iagua.es/blogs/bettys-farias-marquez/conocimientos-basicos-plantas-tratamiento-aguas-residuales-ptar-modulo-i>

Fernandez, J.; Cermeño, L. Rudas, E. *Nefrología*, July 01, 2015, 35(4):418-419 *Language: English; Spanish; Castilian (2005). Gentamicin- based prophylaxis in tunnelled*

*indwelling central venous catheter limbs for haemodialysis do not result in bacterial resistances after a 9 year follow up period.* Grupo Aula Medica S.A. DOI: 10.1016/j.nefro.2015.02.005, Base de datos: Scopus®

Fuentes, A. (2017). *E. Coli.* Recuperado de <https://es.slideshare.net/AlexeiCaleroFuentesR/e-coli-75761916>

García, P. Lozano, G. (2018). *Construcción de cierre de malla de red de acueducto en seis Pulgadas en PVC de 21 en el distrito siete de Ibagué sector Salado.* Universidad Cooperativa de Colombia Facultad de Ingeniería Civil. Ibagué Tolima. Recuperado de [http://repository.ucc.edu.co/bitstream/ucc/6361/1/2018\\_Construccion\\_Cierre\\_Malla.pdf](http://repository.ucc.edu.co/bitstream/ucc/6361/1/2018_Construccion_Cierre_Malla.pdf).

Garrido, D. (2017) *Nuevas Tecnologías en el Manejo de Aguas Residuales Domésticas e Industriales en Rio de Janeiro – Brasil.* Universidad Católica de Colombia. Facultad de Ingeniería. Programa de Ingeniería Civil. Bogotá D.C. Recuperado de <https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/14544/1/MONOGRAFIA%20BRASIL%20FINAL%2017%20DE%20MAYO%20FINAL.pdf>.

Geminy A, (2013) *Aislamiento bacteriano.* Recuperado de <https://es.slideshare.net/axeldaza/aislamiento-bacteriano>

Gil, J. (2018). *Propuesta para el sistema de tratamiento de aguas residuales en la E.S.E hospital departamental universitario del Quindío San Juan de Dios.* Fundación Universidad de América. Facultad de Ingenierías. Programa de Ingeniería Química. Bogotá, D.C. Recuperado de <http://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/6761/1/6062043-2018-1-IQ.pdf>.

Gómez, C. Leal, A. Pérez, M. y Navarrete, M. (2005). *Mecanismos de resistencia en Pseudomonas Aeruginosa: entendiendo a un peligroso enemigo.* Revista de la Facultad de Medicina, 53(1), 27-34. Recuperado de [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S012000112005000100004&lng=en&tlng=es](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S012000112005000100004&lng=en&tlng=es).

- Grisales, D., Ortega, J. y Rodríguez, T. (2012, marzo). *Remoción de la materia orgánica y toxicidad en aguas residuales hospitalarias aplicando ozono*. Bdigital, portal de revistas UN Recuperado de <https://revistas.unal.edu.co/index.php/dyna/article/view/30753/39034>
- Heberer Th. (2002) *Occurrence, fate and removal of pharmaceutical residues in the aquatic environment: a review of recent research data*. Toxicology Letters; 131(5):5-7.
- Henríquez, D. (2012). *Presencia de contaminantes emergentes en aguas y su impacto en el ecosistema. Estudio de caso: productos farmacéuticos en la cuenca del río Biobío, Región del Biobío, Chile*. Recuperado de <http://repositorio.uchile.cl/handle/2250/102748>
- Hospital Federico Lleras Acosta. Funciones y Deberes* (2017) Recuperado de <http://www.hflleras.gov.co/funciones-y-deberes>
- Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación ICONTEC (1996). *Norma Técnica Colombiana NTC-ISO 5667-6: "por medio de la cual se establece los principios que se aplican al diseño de programas de muestreo, técnicas de muestreo y manejo de muestras de agua de ríos y corrientes para su posterior evaluación física, química y microbiológica en laboratorio"*.
- Joshi, S (2010) *Antibiograma del hospital.: una necesidad*. Indian J Med Microbiol. 2010; 28: 277–80. Recuperado de <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/20966554>
- Leiva, W (2008). *Aguas Residuales Generadas en Hospitales*. Universidad Nacional Autónoma de Honduras. Recuperado de [https://www.academia.edu/8117344/Aguas\\_residuales\\_generadas\\_en\\_hospitales](https://www.academia.edu/8117344/Aguas_residuales_generadas_en_hospitales)
- León, M. (2015) *Caracterización físico – química, biológica y ecotoxicológica del agua residual de un hospital de la ciudad de Cuenca*. Universidad de Cuenca. Facultad de ciencias químicas. Cuenca – Ecuador. Recuperado de <https://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/21222/1/TESIS.pdf>
- M. Paz, H. Muzio, V. Gemini, A. Magdaleno, S. Rossi, S. Korol, J. Moretton (2004) *Aguas residuales de un Centro Hospitalario de Buenos Aires, Argentina* Hig. Sanid. Ambient. 4: 83-88 (2004) Recuperado de [https://www.researchgate.net/publication/228912200\\_Aguas\\_residuales\\_de\\_un\\_centro\\_hospitalario\\_de\\_Buenos\\_Aires\\_Argentina\\_caracteristicas\\_quimicas\\_biologicas\\_y\\_toxicologicas](https://www.researchgate.net/publication/228912200_Aguas_residuales_de_un_centro_hospitalario_de_Buenos_Aires_Argentina_caracteristicas_quimicas_biologicas_y_toxicologicas)

Mandell, D. Bennet. (2002) *Enfermedades Infecciosas: Principios y Prácticas*. 5ª Ed. Buenos Aires: Editorial Médica Panamericana SA 2002; 2802-2834.

*Manual de procedimientos para la gestión integral de residuos hospitalarios y similares en Colombia MPGIRH*. Ministerio del Medio Ambiente, Ministerio de Salud. Colombia

<https://www.uis.edu.co/webUIS/es/gestionAmbiental/documentos/manuales/PGIRH%20MinAmbiente.pdf>

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. *Resolución No. 0631 del 17 de marzo 2015*. "Por lo cual se establecen los parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público y se dictan otras disposiciones. Pág. 102

Ministerio de Salud y Protección Social. Decreto-1298-1994 - Recuperado de <https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/INEC/IGUB/Decreto-1298-1994.pdf>

Ministerio de sanidad, política social e igualdad. (2019) *Agencia española de medicamentos y productos sanitarios*. Recuperado de [https://cima.aemps.es/cima/pdfs/es/ft/62484/62484\\_ft.pdf](https://cima.aemps.es/cima/pdfs/es/ft/62484/62484_ft.pdf).

Muñoz, C. Chaparro, T. (2014) *Combinación de procesos de oxidación avanzada y procesos anaerobios para tratamiento de aguas residuales hospitalarias*. Revista de química teórica y aplicada, ISSN 0001-9704, Vol. 71, N°.565,2014, págs. 63-67 Recuperado de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4676471>

Naciones Unidas. *Medidas adoptadas para organizar las actividades del Decenio Internacional para la acción "El agua, fuente de vida" 2005-2015*. Informe del secretario general. 2005. Recuperado de <http://www.un.org/spanish/events/waterday/2005/>

Núñez, M. (2015). *Aislamiento, cultivo y crecimiento celular. Unidad 4*. Recuperado de : <https://es.calameo.com/read/00423593122e5e18198d7>

Ortega, S. Colin, C. Hernández, M. Lopez, E. Franco, R. (2015) *Microbiological characteristics and patterns of resistance in prosthetic joint infections in a referral hospital (English) In Cirugía y Cirujanos*. September-October 2015 83(5):371-377



Language: Spanish; Castilian. DOI: 10.1016/j.circir.2015.05.030, Base de datos: Science Direct

- Ospina, O (2015) *Análisis de la Contaminación Microbiológica en el Río Combeima, Municipio de Ibagué (Tolima, Colombia)* Recuperado de [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S190904552015000200009](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S190904552015000200009)
- Pallares, C. y Martínez, E. (2012) *Implementación de un programa de uso regulado de antibióticos en 2 unidades de cuidado intensivo médico-quirúrgico en un hospital universitario de tercer nivel en Colombia. Infect.* [Online]. 2012, vol.16, n.4, pp.192-198. ISSN 0123-9392. Recuperado de [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S012393922012000400002](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S012393922012000400002)
- Peláez, Omar E. Santamaría, Y. (2010) *Agenda Ambiental del Municipio de Ibagué. CORTOLIMA- Alcaldía Municipal de Ibagué. Ibagué, Colombia. 198 p.*
- R. Vignoli V. Seija, *Principales mecanismos de resistencia antibiótica. Temas de Bacteriología y Virología Médica.* Pág. 649 Recuperado de <http://www.higiene.edu.uy/cefa/2008/Principalesmecanismosderesistenciaantibioti.ca.pdf>.
- Ramos C. Espinosa M. López M. Pellón A. (2005) *Tratamiento de las aguas residuales provenientes de la industria de medicamentos.* Revista CENIC Ciencias Químicas 2005; 36(1):39-44.
- Rodríguez, C. Obrador G. *Fichero Farmacológico. Capítulo 11: Antibióticos fluoroquinolonas, quinolinas y antisépticos urinarios.* Recuperado de <https://accessmedicina.mhmedical.com/content.aspx?bookid=1510&sectionid=980088481/1917>
- Rodríguez, G. (2002). *Principales características y diagnóstico de los grupos patógenos de Escherichia coli.* Salud Pública de México, 44(5), 464-475. Recuperado de: [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S003636342002000500011&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S003636342002000500011&lng=es&tlng=es).
- S.S.A. *Catálogo de Medicamentos Genéricos Intercambiables para farmacias y público en general al 3 de agosto de 2007.* Tomado de: [http://www.facmed.unam.mx/bmd/gi\\_2k8/prods/PRODS/Cefotaxima.htm](http://www.facmed.unam.mx/bmd/gi_2k8/prods/PRODS/Cefotaxima.htm)

Sánchez, L. (2015) *Control borroso para la valoración del impacto ambiental generado por contaminantes emergentes en aguas residuales hospitalarias*. Gestión y Ambiente, [S.l.], v. 18, n. 1, p. 81-93, ene. 2015. ISSN 2357-5905.

Recuperado de <https://revistas.unal.edu.co/index.php/gestion/article/view/43541>

Sánchez, D. (2013) *Métodos de evaluación de impacto ambiental 1) Identificación de Impactos*. Recuperado de [http://blog.uclm.es/davidsanchezramos/files/2013/12/6\\_MEIA\\_I-resumen.pdf](http://blog.uclm.es/davidsanchezramos/files/2013/12/6_MEIA_I-resumen.pdf).

Serra, M. (2017) *La resistencia microbiana en el contexto actual y la importancia del conocimiento y aplicación en la política antimicrobiana*. Rev haban cienc méd [online]. 2017, vol.16, n.3, pp.402-419. ISSN 1729- 519X. Recuperado de [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1729-519X2017000300011](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1729-519X2017000300011)

Servicio de Prevención de Valencia CSIC *Toxicidad de productos químicos*. Recuperado de <http://w1.iata.csic.es/IATA/segl/Riesgos/TOXICIDAD%20DE%20AGENTES%20QUIMICOS.pdf>.

Solé, J.; Rodríguez, G.; Grahit, V. Juncadella G, E. (2004). *Consumption of antibiotics and their possible relationship with bacterial resistance in the "costa de ponent" health region: analysis of evolution through the initial and end periods of the last decade (English)*. In Atención Primaria. 2004 34(3):128-134 Language: Spanish; Castilian. DOI: 10.1016/S0212-6567(04)79482-2, Base de datos: ScienceDirect

Tejada, C. Quiñonez, E. Peña, M. (2014) *Contaminantes Emergentes en Aguas: Metabolitos de Fármacos*. Una Revisión. Universidad Militar Nueva Granada. Recuperado de <https://revistas.unimilitar.edu.co/index.php/rfcb/article/viewFile/341/137>.

Ternes TA. Occurrence of drugs in German sewage treatment plants and rivers. Water Res 1998; 32(11):3245-60.

Thomas KV, Langford K. (2007) *Fate and occurrence of pharmaceuticals in the water cycle*. En: Petrovi M, ed. *Analysis, Fate and Removal of Pharmaceuticals in the Water Cycle* 2007; 50:1-564.

Título D. *Sistemas de recolección y evacuación de aguas residuales domésticas y aguas lluvias. Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS*. Minvivienda. Bogotá 2016  
[www.minvivienda.gov.co/Documents/ViceministerioAgua/TITULO\\_D.pdf](http://www.minvivienda.gov.co/Documents/ViceministerioAgua/TITULO_D.pdf)

Vanegas, M. (2002) *Sistemas Integrados de Tratamiento y Uso de Aguas Residuales en América Latina: Realidad y Potencial. Estudio complementario del caso Ibagué, Colombia*. Convenio IDRC–OPS/HEP/CEPIS Recuperado de <http://www.bvsde.paho.org/bvsaar/e/proyecto/complemen/casos/ibague.pdf>

V. Seija, R. Vignoli *Principales grupos de antibióticos*. Temas de Bacteriología y Virología Médica. Pág. 631 Tomado de:  
<http://www.higiene.edu.uy/cefa/2008/BacteCEFA34.pdf>.

Vera, J. *La Cuenca del Río Combeima y el Abastecimiento de Agua en Ibagué Amenazadas por la Megaminería*. Recuperado de <https://www.ocmal.org/wp-content/uploads/2017/03/LA.pdf>.

Villalobos, A. Diaz, M. Barrero, L. Rivera, S. Henriquez, D. Villegas, M. Robledo, C. Leal, A. (2011) *Trends of bacterial resistance phenotypes in high-complexity public and private hospitals in Colombia*. Revista Panamericana de Salud Pública. Dec 2011, Vol. 30 Issue 6, p627-633