

1. TÍTULO DEL PROYECTO;
EVALUACION Y FORMULACION DE MICROORGANISMOS EFICACES PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES GENERADAS POR LA INDUSTRIA PORCICOLA EN RISARALDA

2. IDENTIFICACIÓN DE INVESTIGADOR PRINCIPAL Y CO-INVESTIGADORES

MSc. Duverney Gaviria Arias

MSc. Elizabeth Castaño Moreno

Docentes investigadores Facultad de Ciencias de la Salud

Programa de Microbiología

Grupo de Investigación Microbiotec, Microbiología y Biotecnología

Auxiliares de Investigación

Jhonatan Gonzalez Algecira

Ana Milena Arboleda Ocampo

Estudiantes VII Semestre programa Microbiología

3. RESUMEN EJECUTIVO:

Durante los últimos 15 años, el sector porcícola en Colombia ha experimentado un importante crecimiento y ha mejorado significativamente su productividad, lo cual ha permitido un avance en su competitividad al interior de la cadena, e incrementar su participación en el mercado interno con algunas opciones en el mercado exterior. La producción porcícola en el departamento de Risaralda ocupa el 4 puesto en el país y el departamento ocupa el tercer puesto en consumo de carne de cerdo después de Antioquia y Valle del Cauca con 9,4 kg de carne de cerdo al año por persona. En la medida en que las explotaciones han ido creciendo y concentrándose en ciertas regiones del país, han surgido algunos inconvenientes con el manejo de los residuos generados. Estos residuos pueden ser de tipo orgánico (estiércol sólido o fresco y animales muertos) o inorgánicos (jeringas, envase de biológicos, frascos, empaques, etc.). Pero sin lugar a dudas uno de los residuos que genera mayor controversia es la excreta porcina debido al volumen generado y a sus características físico-químicas que dificultan su manejo.

En el medio acuático, el oxígeno es un elemento que interviene en los procesos de oxidación. Si se altera este equilibrio, introduciendo compuestos que necesitan oxígeno para su descomposición, se produce una demanda de oxígeno superior a los niveles existentes, originando una deficiencia de oxígeno disuelto en el agua que genera una serie de efectos no deseados. El vertido de los residuos generados en una granja porcina puede afectar a las masas de agua tanto superficiales como subterráneas, con incidencias distintas según el componente de las excretas que se considere.

Los microorganismos eficaces (ME) corresponden a la mezcla de bacterias foto-tróficas, bacterias productoras de ácido láctico, levaduras y hongos de fermentación

que descomponen la materia orgánica encontrada en las aguas residuales, ayudando a disminuir la contaminación en el medio ambiente. La tecnología de los microorganismos eficaces se desarrolló durante la década de 1970 en la Universidad de Ryukyus, Okinawa, Japón en donde su uso se ha implementado en la agricultura, la ganadería, jardinería, paisajismo, compostaje, bio-rremediación, limpieza de tanques y fosas sépticas, bio-rremediación, control de algas y tratamiento de aguas residuales de origen residencial e industrial.

En el presente estudio, se pretende evaluar microorganismos eficaces para el tratamiento de las aguas residuales producidas en la industria porcícola bajo condiciones de laboratorio, evaluando su efecto sobre las variables de demanda química y biológica de oxígeno y los valores de sólidos disueltos.

4. PALABRAS CLAVE

- a. Bioindicadores
- b. Contaminación
- c. Calidad de aguas
- d.
- e. Agua residual

5. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA:

La carne de cerdo –a pesar de las prohibiciones religiosas– es la carne de mayor producción y consumo en el mundo, esta presenta, con la carne de aves, las tasas de crecimiento más elevadas a escala mundial. Varios son los factores que se han conjugado para generar este fenómeno: por el lado de la demanda, han influido 1) Los cambios en los hábitos alimenticios derivados de los procesos de urbanización y del efecto de la publicidad en el consumo, 2) el crecimiento de la población y 3) el crecimiento del ingreso per cápita. Por el lado de la oferta, la implantación de un modelo tecnológico altamente eficiente al cual se pueden cuestionar su impacto ambiental, el trato poco humanitario a los animales y la inocuidad de los productos obtenidos.

El desarrollo de la industria porcícola en Colombia ha sido desde hace tres décadas una de las actividades agrícolas que ocupa un espacio de gran importancia en la producción y comercialización de ganado porcino, y en la generación de fuentes de trabajo para aquellos granjeros y agricultores que ven en ésta actividad una fuente de sustento económico.

Según las estadísticas suministradas por la asociación colombiana de porcicultores para el año 2013, el Departamento de Risaralda contaba con un inventario porcino de 135.634 cabezas (3,2% del inventario porcino nacional), ocupando el 4^{to} puesto en el país y con una tasa de crecimiento del 24%. Pereira es la ciudad que concentra el 41,5% de este inventario, seguido por Santa Rosa de Cabal con una participación del 23,7%. En lo que respecta a beneficio formal y de acuerdo con las cifras consolidadas en el Sistema Nacional de Recaudo, Risaralda reportó un total de 106.906 porcinos beneficiados durante el año 2011, lo que significó un crecimiento de 4,3% con relación al año 2010. Si se tiene en cuenta que el consumo per cápita de carne de cerdo en Risaralda es el tercero más alto a nivel nacional, 2,2Kg por

encima del promedio nacional, siendo este último de 7,2kg (Asociación colombiana de poricultores, 2015).

Actualmente en Colombia, el tratamiento y aprovechamiento de los subproductos que resultan de la porcicultura, son manejados de forma convencional con alternativas de reducción y mitigación de posibles impactos ambientales que pueden llegar a generar dichos productos. El manejo inadecuado de las aguas residuales ha generado un problema a nivel mundial, la presencia de gran cantidad de materia orgánica y otros compuestos que emanan olores muy fuertes al ambiente, además de la aparición de vectores infecciosos como las moscas y el crecimiento de las poblaciones de microorganismos patógenos. El reúso de estas aguas sin el tratamiento adecuado, produce contaminación de los productos agrícolas causando enfermedades debido a la presencia de microorganismos patógenos.

La normatividad nacional relacionada con el manejo del agua, establece una serie de estrategias plasmadas en los siguientes documentos:

- Conpes 3458 de 2007, relacionado con política nacional de sanidad e inocuidad para la cadena porcícola, cuyo objetivo es mejorar el estatus sanitario y de inocuidad de la industria porcícola nacional, con el fin de proteger la salud y vida de las personas, los animales y preservar la calidad del medio ambiente, creando unas condiciones óptimas para el consumidor, mejorando la competitividad de la industria nacional y garantizando la admisibilidad sanitaria de sus productos en los mercados internacionales. (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2007).
- Resolución 2640 de 2007, Por la cual se reglamentan las condiciones sanitarias y de inocuidad en la producción primaria de ganado porcino destinado al sacrificio para consumo humano. La presente resolución tiene por objeto establecer los requisitos sanitarios que deben cumplir las granjas de producción primaria, dedicadas a la producción de porcinos destinados para el consumo humano, con el fin de proteger la vida, la salud humana y el ambiente. Las disposiciones contenidas en la presente resolución aplicarán en el territorio nacional a: las granjas de producción porcina; Los animales de la especie porcina cuya carne y productos cárnicos comestibles sean destinados al consumo humano; exceptuando del cumplimiento de la presente resolución, las explotaciones porcícolas dedicadas a la producción para autoconsumo (INSTITUTO COLOMBIANO AGROPECUARIO, 2007).
- Decreto 1500 de 2007, por el cual se establece el reglamento técnico a través del cual se crea el Sistema Oficial de Inspección, Vigilancia y Control de la Carne, Productos Cárnicos Comestibles y Derivados Cárnicos, destinados para el Consumo Humano y los requisitos sanitarios y de inocuidad que se deben cumplir en su producción primaria, beneficio, desposte, desprese, procesamiento, almacenamiento, transporte, comercialización, expendio, importación o exportación (MINISTERIO DE LA PROTECCION SOCIAL, 2007).

Cada una de estas normas incluye el tema de contaminación del agua; plantea acciones relacionadas con la descontaminación hídrica a través de la armonización del marco normativo, y desarrollo de una política integral del recurso hídrico.

Esto ha permitido lograr avances en el desarrollo de los procesos de descontaminación del recurso hídrico; así como el ampliar la cobertura de saneamiento básico y reducir los impactos sanitarios y ambientales más significativos. En este contexto, se han desarrollado e implementado diferentes instrumentos y estrategias, entre las cuales se destacan la política ambiental, en cuyo marco se han desarrollado diagnósticos, guías y modelos de priorización para la gestión de las aguas residuales; contribuyendo al fortalecimiento de la gestión para la descontaminación de las mismas. La ley 373 de 1997, aunque con énfasis en el uso eficiente y ahorro del agua, contribuye de manera indirecta a la menor generación de aguas residuales y fomenta el desarrollo del reúso de las aguas residuales como una alternativa de bajo costo que debe ser valorada.

La legislación colombiana, establece criterios de calidad del agua para vertimientos industriales, obligando a que se establezcan estrategias para favorecer la reducción de la carga contaminante (DBO, DQO, ST) y así poder destinar dichas aguas para las actividades agrícolas y pecuarias, sin que constituyan un riesgo significativo para el medio ambiente y la salud. Por ejemplo, el Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial reportó que para el año 2001 más de \$2'783 millones de dólares fueron gastados en los pacientes ambulatorios tratados por enfermedades de origen hídrico. Adicionalmente el costo total de hospitalización para el año 2000 de pacientes con enfermedades de origen hídrico (aproximadamente 5.7% del total de casos presentados), se estimó en \$556.737 dólares, para un total de \$3'340 millones de dólares para los años 2001 y 2001.

Sin embargo, la aplicación de la legislación se ha visto afectada por diferentes factores, tales como: la debilidad institucional para fijar objetivos y metas de calidad ambiental, y llevar a cabo programas de control y seguimiento; la insuficiente información existente y disponible; el desconocimiento de las obligaciones ambientales pertinentes por parte de las personas y los entes territoriales; la insuficiencia de recursos financieros y la falta de continuidad en el desarrollo de programas de asistencia técnica por parte de los entes ejecutores.

Entre los principales residuos generados por las granjas porcícolas, que generan mayores problemas ambientales, se encuentra el agua que resulta del lavado de las cocheras, según el Decreto 3930 de 2010, esta, debe ser tratada para su posterior vertimiento en los afluentes de aguas. El principal tratamiento que se da a los residuos emitidos de esta actividad, consiste en un pre tratamiento del agua por procesos de floculación, y remoción de la turbiedad y el color, tratamientos directos mediante biodigestores para obtener gas metano y fertilizantes orgánicos, el agua que sale de los biodigestores es tratada por tratamientos en planta de aguas residuales, los cuales son costosos. Debido a la inadecuada o inexistente recolección, tratamiento y disposición de los vertimientos generados por actividades como la agricultura, la industria, y de las aguas residuales de origen doméstico, en el país se han incrementado problemas de salubridad y de calidad del agua en

varias regiones. La situación comienza a ser insostenible, en la medida en que los cuerpos de agua receptores alcanzan su capacidad de asimilar estos contaminantes, y tiene como consecuencia la alteración de la calidad del recurso para su uso posterior, añadiendo un costo adicional por su tratamiento (PRESIDENCIA DE LA REPÚBLICA DE COLOMBIA, 2010).

A lo largo de los años el incremento en la generación de aguas residuales, ha llevado a buscar nuevas alternativas en cuanto a depuración de la materia contaminante, sistemas económicamente viables y de fácil manejo. Una alternativa es el tratamiento de dichas aguas con mezclas de microorganismos eficientes, para lograr la remoción de las bacterias contaminantes, a través de la adsorción de la materia orgánica presente en el agua producida por una alta carga de contaminantes químicos y biológicos; sistemas que provocan la disminución de la carga orgánica mediante la degradación microbiana. Estos procesos además reducen la carga tóxica presente en los efluentes. La actividad porcícola, es uno de los sectores que resulta de gran interés para mejorar los sistemas de tratamiento de las aguas residuales, por el aporte de descargas contaminantes a las microcuencas aledañas de las granjas. El daño ambiental generado por las labores realizadas en la porcicultura, tiene implicaciones en el suelo, agua y aire, produciendo problemas de olores, plagas y enfermedades.

Se plantea la pregunta: será posible disminuir las variables de DBO, DQO y ST en aguas residuales de la industria porcícola en una granja certificada por el ICA en BPA?

6. JUSTIFICACIÓN:

La planeación ambiental es un conjunto de lineamientos básicos que deben considerarse en la formulación de un proyecto productivo, con el objeto de que éste responda adecuadamente a los propósitos de conservación del entorno natural, la eficiente utilización de los recursos, el aumento en la productividad y el cumplimiento de la normatividad ambiental. La planeación ambiental parte del reconocimiento de que las actividades que desarrollamos se relacionan directamente con el entorno natural, al utilizar de éste insumos fundamentales y devolverle productos y desechos. Con la planeación ambiental buscamos minimizar los efectos negativos de nuestra actividad en el entorno, al tiempo que se pretende maximizar sus beneficios. Sin embargo, en algunas oportunidades, esta planeación productiva desconoce algunos aspectos relevantes respecto a la relación que existe entre el medio ambiente y las actividades propias de la producción. Ello se presenta especialmente cuando los efectos sobre el medio ambiente no afectan directamente al productor. Así, por tanto, con la planeación ambiental se pretende incorporar los aspectos ambientales al proceso de planificación productiva. Mediante este nuevo marco de planeación se consideran no solamente los tradicionales aspectos productivos sino también aquellos elementos que se relacionan con el cumplimiento de las normas ambientales, la identificación de la relación existente entre el proceso productivo y el entorno, así como el adecuado uso y disposición de los recursos naturales y los productos y subproductos generados. La porcicultura, como

cualquier otra actividad, no es ajena a estos lineamientos y está sometida cada día a una mayor presión debido a unas exigencias económicas, a un desarrollo tecnológico y a un manejo ambiental adecuado para ser una industria más competitiva. Por lo tanto, todo profesional del sector agropecuario debe tomar decisiones que obedecen o están directamente condicionadas por:

- Necesidades de producción: para lo cual se requiere conocer infraestructura necesaria, mano de obra, cronograma de actividades, y niveles de producción.
- El consumo.
- Normatividad vigente Decisiones legislativas, reglamentarias y presupuestales.
- Decisiones de ordenación del territorio, urbanística e industrial.

La adecuada planificación de una explotación debe tener por objeto aprovechar debidamente todos los recursos para sacar el máximo rendimiento. En forma integrada con su entorno y el equilibrio del buen uso de los factores internos la empresa debe buscar como mínimo cuatro tipos de directrices:

- Optimo Físico–Biológico. Integrando los recursos físicos (clima, suelo, topografía), y condiciones de la región, de acuerdo con la comparación de un uso actual vs. un uso potencial, establecer el óptimo de relaciones insumo producto y el óptimo físico – biológico.
- Optimo Económico. Hace relación a la necesidad de buscar las óptimas relaciones económicas tales como control de costos, relación beneficio – costo, ingreso familiar, es decir el problema dual “minimizar costos y maximizar beneficios”.
- Optimo social. Se pretende en este aspecto obtener apropiados resultados dentro del proyecto en las áreas de ocupación de mano de obra, niveles superiores de ingresos familiares que superen el “mínimo”, niveles óptimos de salud, nutrición, educación, vivienda, servicios, organización rural y comunal.
- Optimo ecológico. Es fundamental incluir un óptimo uso de los recursos naturales donde prevalezca el criterio de sostenibilidad.

Respecto a este último punto, la actividad porcícola para lograr situarse en una posición competitiva, ventajosa, requiere realizar una adecuada gestión medioambiental y comenzar a adecuarse a las legislaciones y normativas medioambientales establecidas. Destaca en todo ello un objetivo común: Identificar y minimizar los impactos ambientales o alteraciones que el desarrollo de una actividad pueda producir sobre el medioambiente. El cambio de mentalidad de los últimos años, la preocupación por el Efecto Ambiental que pueden generar las explotaciones intensivas, las exigencias legislativas que en materia de medio ambiente vienen haciéndose necesarias, entre otros factores, justifican hablar de “gestión medioambiental”, y hacen imprescindible un cambio de concepción que permita incorporar la protección del medio ambiente como un parámetro más de calidad de la propia empresa. En el caso de una explotación porcina intensiva, una gestión medioambiental adecuada no sólo puede repercutir favorablemente en el entorno, sino directamente en la propia explotación logrando: una disminución en el

consumo de insumos, mejora en el proceso productivo, los residuos (subproductos) pueden ser rentabilizados, no hay sanción legal, se mejora la salubridad del entorno inmediato, puede aumentarse el prestigio del propio producto (MINISTERIO DE AMBIENTE, 2002).

Muchas medidas que se ponen en práctica en pro de la “ecología” pueden considerarse caras a priori, pero analizadas cuidadosamente e integradas en los costos de producción, pueden ser sin duda una magnífica garantía para el buen funcionamiento de la granja. En términos generales la porcicultura no produce residuos, sino subproductos (estiércol), los cuales de no ser reutilizados y redistribuidos adecuadamente para el uso en agricultura pueden convertirse en excedentes y posteriormente en residuos; lo cual implica a su vez que no suponen un ingreso como abono orgánico sino un costo que debe soportar el ganadero para eliminarlos. Teniendo en cuenta que el estiércol es el principal subproducto que se genera en una explotación porcina y el que más controversia causa, se deben buscar soluciones globales y de carácter integrador, con implicación de todas las partes afectadas a fin de poder ofrecer soluciones a las condiciones de producción (MINISTERIO DE AMBIENTE, 2002).

- Minimizar la carga del estiércol (acciones en la alimentación).
- Minimizar el volumen (acciones en la granja).
- Mejorar las prácticas de manejo del estiércol.
- Integración entre agricultura y porcicultura.
- Cooperación entre entidades ambientales, de investigación, universidades y productores.

Para una adecuada gestión ambiental en una explotación porcina se debe tener en cuenta, en primer lugar: Identificar las principales entradas y salidas que se producen. Comprender cómo una granja intensiva que está incidiendo en el entorno requiere una primera aproximación global, ya que en ella tiene lugar infinidad de procesos biológicos complejos. Localizar residuos, procesos generadores y fugas energéticas. Cuando se realiza un manejo inadecuado, las aguas residuales de la explotación como el estiércol, se convierten en las principales fuentes de contaminación, aunque un manejo o tratamiento adecuados pueden convertirlos en un recurso interesante desde el punto de vista agrícola o forestal. Introducir índices con valor medioambiental, como el consumo de agua, volumen de residuos generados o el consumo energético entre otros, a través del seguimiento periódico, relacionándolos respecto a la producción de carne a lo largo del tiempo. Actuar. Criterios generales para llevar a la práctica un plan o proyecto de saneamiento medioambiental en una granja porcina. Con la información obtenida podrían aplicarse en los puntos conflictivos, criterios de actuación que de forma resumida se condensan en reducir, reutilizar y reciclar. Así, observamos que la gestión en las explotaciones porcícolas van a tener que regirse por estos criterios medioambientales: ajuste, ahorro, reutilización y reciclado, enfocado a: “minimizar y autogestionar los propios residuos y proporcionar un ámbito medioambientalmente correcto de la actividad (MINISTERIO DE AMBIENTE, 2002). Estos criterios se refieren a los siguientes campos de actuación:

- Ajuste: referente a la comida (dietas, digestibilidad, etc.), razas (selección eficiencia transformadora) y reducción del volumen.
- Ahorro: recursos (diseño, construcción e infraestructura, limpieza, clasificación de desechos, conducciones y almacenamiento).
- Reciclado: aplicación del estiércol en actividades agrícolas o forestales.

7. OBJETIVOS:

a. Objetivo General:

Identificar mezclas de M.E. eficaces para tratar (Disminuir) las condiciones físico-químicas (DQO, DBO y ST) y microbiológicas de las aguas residuales de un predio productor porcícola certificado por el ICA en el departamento de Risaralda

Objetivos Específicos:

- Caracterizar físico-química y microbiológicamente las aguas residuales de un predio porcícola certificado por el ICA.
- Formular diferentes tipos mezclas de microorganismos eficaces (ME) durante el tratamiento de las aguas residuales de esta industria en un predio porcícola certificado por el ica.
- Evaluar la eficiencia de las mezclas de micro-organismos estudiadas sobre las características físico-químicas y microbiológicas de las aguas residuales del predio certificado y en estudio.
- Identificar las mezclas de micro-organismos más eficientes para recuperar las características físico-químicas y microbiológicas de las aguas residuales del predio certificado en estudio.

8. MARCOS DE REFERENCIA:

a. AGUA RESIDUAL

Las aguas residuales son materiales derivados de los residuos domésticos o de procesos industriales, los cuales por razones de salud pública y por consideraciones de recreación económica y estética, no pueden desecharse vertiéndolas sin tratamiento a los cuerpos de aguas naturales. Los materiales inorgánicos como la arcilla, sedimentos y otros residuos se pueden eliminar por métodos mecánicos y químicos; sin embargo, si el material que debe ser eliminado es de naturaleza orgánica, el tratamiento implica usualmente actividades de microorganismos que oxidan y convierten la materia orgánica en CO₂, es por esto que los tratamientos de las aguas de desecho son procesos en los cuales los microorganismos juegan papeles cruciales.

El tratamiento de las aguas residuales da como resultado la eliminación de microorganismos patógenos, evitando así que estos microorganismos lleguen a los ríos. Específicamente el tratamiento biológico de las aguas residuales es

considerado un tratamiento secundario ya que este está ligado íntimamente a dos procesos microbiológicos, los cuales pueden ser aerobios y anaerobios.

El tratamiento secundario de las aguas residuales comprende una serie de reacciones complejas de digestión y fermentación efectuadas por un huésped de diferentes especies bacterianas, el resultado neto es la conversión de materiales orgánicos en CO₂ y gas metano.

La calidad del agua es un factor que limita la disponibilidad del recurso hídrico y restringe su uso. El aumento en la demanda de agua tiene como consecuencia un aumento en el volumen de los residuos líquidos, cuya descarga, sin una adecuada recolección, evacuación y tratamiento, deteriora la calidad de las aguas y contribuye con los problemas de disponibilidad del recurso hídrico. Los cuerpos receptores son utilizados como sitio de disposición de los vertimientos de residuos líquidos de actividades tanto productivas como domiciliarias. La materia orgánica generada por las actividades domésticas en 1999 fue 482.193 ton (1.321 ton/día) medida como DBO, de las cuales se trató apenas 4%, para un vertimiento neto de 462.759 ton. En ese mismo año la generación total de DBO para el sector industrial fue de aproximadamente 162.000 ton. Un estimativo del caudal de aguas residuales generado por los centros urbanos identifica que en Colombia se están arrojando a los cuerpos de agua cerca de 67m³/s, en donde Bogotá representa más del 15.3 %, Antioquia el 13 %, Valle del Cauca el 9.87% y los demás departamentos están por debajo del 5%. Esta proporcionalidad condiciona el grado de impacto sobre las corrientes hídricas, y marca una tendencia de impacto en las regiones. Los diagnósticos realizados evidencian que en la mayoría de municipios, principalmente de la zona andina, se vierten directamente las aguas residuales a los cuerpos de agua ubicados dentro del perímetro urbano. Esto constituye un factor de complejidad y una prioridad para que se plantee inicialmente una solución que permita recuperar estos cuerpos receptores urbanos a un costo razonable. En la actualidad son muchas las corrientes hídricas que se ven afectadas por la creciente contaminación generada por los vertimientos de aguas residuales, generando condiciones anóxicas (casos ríos Bogotá, Medellín, Cali, Sogamoso, etc.).

También se ha incrementado la problemática de eutrofización o colmatación de cuerpos de agua, como sucede en las Lagunas de Fúquene y Sonzo, y los humedales en la Sabana de Bogotá. Según el Inventario Nacional del Sector de Agua Potable y Saneamiento, cerca de 1.300 cuerpos de agua están siendo contaminados por ser los receptores de los vertimientos municipales. La oferta hídrica se ha reducido notablemente, en términos de calidad, debido a la presencia de elementos nocivos para los diferentes usos del recurso, por el vertimiento de sustancias patógenas, tóxicas, mutagénicas, corrosivas o abrasivas. Los principales impactos asociados con el sector de agua potable y saneamiento en el país se relacionan con la salud pública. La falta de acceso a servicios de agua potable y alcantarillado, unido a bajos niveles económicos y falta de educación e higiene, conforman un cuadro de alto riesgo para la salud de la población, especialmente para la infantil. La poca disponibilidad de agua potable, la contaminación con residuos fecales, e inadecuados hábitos de higiene personal están asociados con enfermedades diarreicas, hepatitis A, tifoidea, cólera, y shigellosis, entre otras.

Enfermedades como las diarreicas tienen un costo económico significativo y están asociadas con dolor físico particularmente para la población infantil. Enfermedades como cólera, tifoidea, shigellosis requieren medicamentos como antibióticos y exigen hospitalización. Al costo de los tratamientos médicos de enfermedades como la hepatitis, el cólera o la tifoidea se debe adicionar el costo de la pérdida laboral. Las pérdidas de días de trabajo en enfermedades como el cólera están en 8 a 35 días, hepatitis A de 10 a 15 días, shigellosis entre 4 y 8 días, amebiasis de 2 a 10 días, y tifoidea de 5 a 20 días. En Colombia, la enfermedad diarreica aguda ocupa el segundo lugar en morbilidad en la población menor de 5 años. Aunque las tasas de mortalidad por enfermedad diarreica aguda en la población menor de 5 años han disminuido entre 1990 y 2012 del 45,4 al 21,5 con un número de defunciones que ha ido de 2.002 casos en el 1990 a 109 casos en 2012, esta sigue siendo un importante problema a nivel nacional. El costo de tratamiento de cada enfermedad se estimó en US \$30,00 y el costo de la pérdida de días de trabajo en US \$60,00. Por tanto el costo anual asociado con la morbilidad de índole diarreica anual se estima oscila entre US\$315 y 400 millones de dólares de EUA. A una tasa de descuento del 10 % anual, el valor presente neto del costo asociado se estima en más de US \$ 3000 millones.

TIPOS DE AGUAS RESIDUALES

AGUAS RESIDUALES URBANAS

Son los vertidos que se generan en los núcleos de población urbana como consecuencia de las actividades propias de éstos.

Los aportes que generan esta agua son:

- Aguas negras o fecales
- Aguas de lavado doméstico
- Aguas provenientes del sistema de drenaje de calles y avenidas
- Aguas de lluvia y lixiviados

Las aguas residuales urbanas presentan una cierta homogeneidad cuanto a composición y carga contaminante, ya que sus aportes van a ser siempre los mismos. Pero esta homogeneidad tiene unos márgenes muy amplios, ya que las características de cada vertido urbano van a depender del núcleo de población en el que se genere, influyendo parámetros tales como el número de habitantes, la existencia y tipo de industrias dentro del núcleo.

AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES

Son aquellas que proceden de cualquier actividad o negocio en cuyo proceso de producción, transformación o manipulación se utilice el agua. Son enormemente variables en cuanto a caudal y composición, difiriendo las características de los vertidos, no sólo de una industria a otra, sino también dentro de un mismo tipo de industria.

AGUAS RESIDUALES EN SISTEMAS AGRÍCOLAS

Los sistemas agrícolas son unos de los grandes productores de aguas residuales en el país. Con la intensificación de la agricultura, se ha venido aumentando el aporte de insumos externos en dichas explotaciones, dando lugar a distintas formas

de impureza en el agua; como las impurezas físicas (disueltas y por suspensión), químicas (orgánicas e inorgánicas) y biológicas

TECNOLOGÍAS EXISTENTES

Los primeros diseños de procesos y plantas de tratamiento se basaban en el empleo secuencial de métodos físicos y químicos, removiendo gran parte de los contaminantes de las aguas residuales. Estas tecnologías de descontaminación fisicoquímica son muy costosas y requieren de infraestructura muy especial para realizarse.

En la actualidad existen diversos procedimientos para la descontaminación hídrica, dichos tratamientos poseen elevados costos, y algunos presentan cerca de seis clases de tratamientos distintos: pre-tratamiento (aireación, almacenamiento, neutralización, ablandamiento), tratamientos primarios (coagulación, mezclado, sedimentación), tratamientos secundarios (filtración), desinfección, tratamientos avanzados (absorción, carbón activado, separación de compuestos halogenados) y floculación.

El uso de microorganismos como herramienta de purificación hídrica es muy reciente. Una de las premisas que se ha tomado con respecto a esta herramienta es que todos los ecosistemas naturales poseen microorganismos capaces de metabolizar los compuestos tóxicos y xenobióticos, aunque éstos suelen encontrarse en proporciones menores al 1 % de la comunidad microbiana

SISTEMAS BIOLÓGICOS DE DESCONTAMINACIÓN: BIO-REMEDIACION

El tratamiento biológico del agua residual consiste en la utilización de microorganismos para la promoción del proceso de regeneración del agua, sea, este con tratamiento aeróbico o anaeróbico, los microorganismos descomponen la materia orgánica en compuestos más simples como nitratos y fosfatos liberando dióxido de carbono.

En esta acción, ciertos tipos de microorganismos como los zimógenos reducen la materia orgánica en estados solubles, mientras que otros consumen estos nutrientes, produciendo grandes cantidades de antioxidantes. Por medio de la acción de algunos microorganismos, se puede lograr la eliminación del amoniaco y nitrato, así como también por medio de otros como las bacterias como la *Acinetobacter* se puede lograr la eliminación del fósforo.

PARÁMETROS DE CALIDAD DE LAS AGUAS

PROPIEDADES FÍSICAS

La calidad de las aguas está dada por una serie de variables físicas, como los sólidos, temperatura, turbidez, color y olor. La mayoría de las propiedades químicas están dadas por el contenido de sólidos en el agua.

La temperatura cumple un papel muy importante en la calidad de las aguas, ya que inciden en la fauna y la flora del medio, así como sobre la velocidad en que se desarrollen las distintas reacciones químicas.

La turbidez es el grado de opacidad que posee el agua debida a la materia orgánica en suspensión, de igual manera esta se relaciona con el color.

El olor es causado por la descomposición de la materia orgánica y puede ser medida por la cantidad de sustancias volátiles como el metano, mercaptanos y ácido sulfhídrico

PROPIEDADES QUÍMICAS

El oxígeno disuelto es utilizado por la fauna y flora acuática, tanto en su metabolismo como en la descomposición de materiales orgánicos y desarrollo de reacciones. Las altas demandas bioquímicas de oxígeno - DBO (cantidad de oxígeno disuelto consumido por lo microorganismos), y demanda química de oxígeno - DQO (cantidad de oxígeno necesario para oxidar las sustancias orgánicas del agua) no solo conlleva a la generación de problemas de malos olores, sino también a la pérdida de las vidas presentes en el medio.

TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN GRANJAS PORCICOLAS.

La actividad porcina es una de las actividades más antiguas de la producción animal, constituyéndose como la principal fuente de proteína de origen animal en el mundo, con una producción del 38.9% de las carnes y un consumo per cápita de 15.01 kg (año 2.000- Guía Ambiental para el Subsector Porcícola).

En el país las primeras granjas porcícolas con criterio empresarial se establecen hacia 1950, pero solo a partir de la década del 70 y comienzos del 80, es cuando se empieza a desarrollar esta industria en Colombia.

Actualmente la porcicultura se encuentra distribuida de la siguiente manera: en primer lugar se posiciona Antioquia con el 49.3% del total de las granjas porcícolas, las otras regiones que le siguen en número, tienen una participación mucho más baja, que apenas alcanza el 15.4% en la región central (Cundinamarca, Huila y Tolima), el 13.6% en el Valle del Cauca y Cauca, 11% en la región oriental (Santander, Boyacá, Meta y Casanare) y 7% en la región cafetera (Caldas, Quindío y Risaralda).

CLASIFICACIÓN DE LOS CONTAMINANTES

CONTAMINANTES ORGÁNICOS

Son compuestos cuya estructura química está compuesta fundamentalmente por carbono, hidrógeno, oxígeno y nitrógeno. Son los contaminantes mayoritarios en vertidos urbanos y vertidos generados en la industria agroalimentaria.

- Los compuestos orgánicos que pueden aparecer en las aguas residuales son: **Proteínas** que proceden fundamentalmente de excretas humanas o de desechos de productos alimentarios. Son biodegradables, bastante inestables y responsables de malos olores.
- **Carbohidratos:** Azúcares, almidones y fibras celulósicas, proceden de excretas y desperdicios.

- **Aceites y Grasas:** Son todas aquellas sustancias de naturaleza lipídica, que al ser inmiscibles con el agua, van a permanecer en la superficie dando lugar a la aparición de natas y espumas, proceden de los desperdicios alimentarios en su mayoría. Estas natas y espumas entorpecen cualquier tipo de tratamiento físico o químico, por lo que deben eliminarse en los primeros pasos del tratamiento de un agua residual.
- **Nitrógeno:** Tienen un papel fundamental en el deterioro de las masas acuáticas. Su presencia en las aguas residuales es debida a los detergentes y fertilizantes. El nitrógeno orgánico también es aportado a las aguas residuales a través de las excretas humanas.

CONTAMINANTES INORGÁNICOS

Son de origen mineral y de naturaleza variada: sales, óxidos, ácidos y bases inorgánicas, metales. Aparecen en cualquier tipo de agua residual, aunque son más abundantes en los vertidos generados por la industria. Los componentes inorgánicos de las aguas residuales estarán en función del material contaminante así como de la propia naturaleza de la fuente contaminante.

b. PARAMETROS BIOLÓGICOS

La calidad biológica del agua es definida con el uso de microorganismos indicadores ya que estos presentan un comportamiento similar a los patógenos en cuanto a su concentración, sensibilidad a factores ambientales y barreras artificiales, además, resultan más fáciles, rápidos y económicos de cuantificar (Cheng et al., 2015; Guo et al., 2015; Metcalf. & Eddy., 2003; Zhao et al., 2015) Tabla 1.

Tabla 1. Tipo y concentración de microorganismos patógenos encontrados en aguas residuales sin tratar (Metcalf. & Eddy., 2003).

ORGANISMO	UFC/ml
Coliformes totales	$10^5 - 10^6$
Coliformes fecales	$10^4 - 10^5$
Streptococos fecales	$10^3 - 10^4$
Enterococos	$10^2 - 10^3$
Shigella	Presente
Salmonella	$1 - 10^2$
<i>Pseudomona aeruginosa</i>	$10^1 - 10^2$
<i>Clostridium perfringes</i>	$10^1 - 10^3$
<i>Mycobacterium tuberculosis</i>	Presente
Quistes de protozoos	$10^1 - 10^3$
Quisted de Giardia	$10^1 - 10^2$
Quisted de Cryptosporidium	$1 - 10^1$
Huevos de Helminfos	$1 - 10^1$
Virus entericos	$10^1 - 10^2$

La gran mayoría de los países determinan los valores permitidos con base en lo estipulado por la organización Mundial de la Salud (OMS) adaptándolos a sus

propias circunstancias. En Colombia el decreto 1575 de 2007 por el cual se establece el sistema para la protección y control de la calidad del agua para el consumo humano, en el cual se exige que el agua debe cumplir con los siguientes valores admisibles desde el punto de vista microbiológico, dependiendo de dos diferentes técnicas aprobadas tanto por el instituto Nacional de Salud como por el Ministerio de Salud y Protección Social, para cuantificar coliformes totales y *E.coli*. En el caso del número más probable o la técnica enzimática de sustrato definido debe ser 0 NPM/100cm³ y de 0 UFC/ 100cm³, en la técnica de filtración por membrana respectivamente; mientras que para la técnica de tubos múltiples de fermentación los valores son 0 UFC /100cm³ y de 0 microorganismos / 100cm³. De igual manera en este documento se reportan los valores correspondientes a los demás parámetros fisicoquímicos, que permiten seleccionar un determinado tipo de tratamiento para mejorar la calidad del agua. Dentro de los organismos indicadores el más conocido es la *E.coli*, para el grupo de los coliformes fecales. Los coliformes son el grupo que cuenta con mayores especificaciones en cuanto a la concentración en la normatividad nacional (Decreto 1549 de 1984, Decreto 475 de 1998, Decreto 1575 de 2007), aunque en la actualidad el uso de bacteriófagos para el mismo fin es igualmente frecuente (Cheng et al., 2015; Guo et al., 2015; Zhao et al., 2015).

c. PARAMETROS FISICO-QUIMICOS

Existen varios parámetros fisicoquímicos de importancia que caracterizan las aguas residuales y cuyos valores se encuentran estrechamente relacionados con el grado de contaminación de la misma. Por esta razón cuantificar las concentraciones de estas sustancias es de gran interés en el tratamiento. En Colombia la resolución 0631 de 2015, por la cual se establecen los parámetros y valores límites máximos en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público y se dictan otras disposiciones permisibles. En su capítulo VI se definen los parámetros físicos y valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales de aguas residuales no domestica ARnD a cuerpos de aguas superficiales, para las actividades de la agroindustria y la ganadería (Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible, 2015) (Tabla 2).

Tabla 2. Parámetros físicos de DBO, DQO y ST y valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales de aguas residuales no domestica ARnD a cuerpos de aguas superficiales, para las actividades beneficio porcino.

Parámetro	Unidades	Ganadería de porcinos - Cría	Ganadería de porcinos - Beneficio
Demanda Química de oxígeno	mg/L O ₂	900	800
Demanda Biológica de oxígeno	mg/L O ₂	450	450

Solidos suspendidos totales	mg/L	400	200
Solidos sedimentables	mg/L	5	5

Extracto de (Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible, 2015)

d. TRATAMIENTO AGUAS RESIDUALES

La contaminación de los cuerpos de agua origina, riesgo de transmisión de enfermedades infecciosas afectando el bienestar de la población y los usos recreativos y deportivos, problemas estéticos al alterar el aspecto agradable y natural del paisaje, problemas ambientales al comprometer la supervivencia de la biota presente; además, la contaminación que demanda un mayor consumo de insumos químicos en las plantas de potabilización o de uso industrial (Unda, 1999).

Para Castro (Castro, 2003) tres aspectos básicos son analizados cuando se presenta la contaminación de los cuerpos de agua por causa de la descarga; el primero se refiere a la concentración de microorganismos del grupo *coli aerogenes* que refleja el riesgo relativo de infección; el segundo alude a la calidad física y química del agua, en especial lo relacionado con el contenido de materia orgánica en solución, suspensión o en estado coloidal, la presencia de grasas o aceites, de nutrientes como el nitrógeno y el fósforo y de sustancias tóxicas como los metales pesados. El tercero se refiere a los objetivo de calidad del agua en función de sus usos, entre los cuales se puede citar el uso humano, el doméstico, la preservación de la flora y fauna, el agrícola y el recreativo. Diversos autores argumentan que el objetivo básico del tratamiento de las aguas residuales es proteger la salud, promover el bienestar de las personas y proteger el ambiente. Para otros autores, el objetivo es modificar las características del agua de tal forma que el efluente tratado cumpla con los requisitos especificados en la legislación, para ser vertido en un cuerpo receptor sin causar impactos adversos en el ecosistema o pueda ser reutilizado en otras actividades (Bernal & Cardona, 2003).

Desde el año 1900 hasta la década de los 70, los objetivos de tratamiento fueron inicialmente la reducción del material coloidal, suspendido y material flotante. Hasta los 80 los objetivos estaban más relacionados con criterios estéticos y ambientales. Los criterios posteriores se hicieron más exigentes y empezó a considerarse la necesidad de eliminación de nutrientes (Bernal & Cardona, 2003). Posteriormente en los años 90 como consecuencia del avance tecnológico, el tratamiento de aguas residuales se enfocó en solucionar los problemas de salud pública causados por sustancias tóxicas y microorganismos patógenos presentes en el agua residual y a desarrollar prácticas que permitieran solucionar el problema en la fuente (Metcalf. & Eddy., 2003). El enfoque tradicional del tratamiento de las aguas residuales difiere totalmente del tratamiento destinado al reúso; para el primer caso, los objetivos se centran en la reducción de los compuestos orgánicos biodegradables, del material flotante y del suspendido. El tratamiento con finalidades de reúso consiste en aprovechar los nutrientes y parte de la materia orgánica, concentrándose básicamente en la reducción de patógenos (OMS, 2006). Los objetivos del reúso

pueden ser múltiples, entre ellos se encuentra evitar la sobreexplotación del recurso hídrico, fomentar el uso eficiente del agua, prevenir la contaminación, sensibilizar y concientizar a la población sobre la importancia del reúso, complementar instrumentos de prevención y control.

El tratamiento biológico, al ser una herramienta de la naturaleza, está mejor adaptada para resolver los problemas de tratamiento de las aguas residuales biodegradables, como las de origen municipal (Noyola, 1996, 2003). Los procesos anaerobios y aerobios cumplen los requisitos deseables para establecer una tecnología perdurable siempre y cuando se conozcan sus limitaciones y bondades, de manera que se ajusten buscando un beneficio en particular (objetivos de tratamiento). El debate de hace algunos años, que llevaba a oponer las tecnologías anaerobias modernas con las aerobias, ya ha sido resuelto en buena medida y por el contrario, la combinación de procesos ha madurado a través de la experimentación. Ahora lo que se acepta en forma creciente es que ambos tipos de procesos no se oponen, sino que se complementan al aportar cada uno y atenuando entre ambos sus respectivas desventajas (Noyola, 2003). De considerarse los atributos de cada proceso al momento de seleccionar una tecnología, se avanzaría aunque fuera de forma modesta en la construcción del desarrollo sustentable (Noyola, 1996, 2003).

A diferencia de los sistemas de tratamiento aerobio, las cargas de los reactores anaerobios no están limitadas por el suministro de ningún reactivo. Entre más lodo esté siendo retenido en el reactor bajo condiciones operacionales, más altas son las cargas potenciales del sistema, siempre y cuando un tiempo de contacto suficiente entre el lodo y el agua residual pueda ser mantenido (Lettinga, Man, Grin, & Hulshof, 1987). Una combinación entre ciertos procesos compactos y procesos naturales podrá en ocasiones ser una ventajosa opción, en particular cuando los costos deben ser reducidos y se tienen ciertas limitaciones de terreno (Crites & Tchobanoglus, 1998; Olaniran, Pillay, & Pillay, 2006; Orantes & Gonzalez-Martinez, 2003). En términos generales, en una planta de tratamiento de aguas residuales ocurren operaciones, procesos físicos, químicos y biológicos. Se puede considerar que las reacciones bioquímicas que se llevan a cabo en estos procesos son las mismas que se realizan en la naturaleza (ríos, lagos, suelo, etc.) sólo que en forma controlada dentro de tanques o reactores y a velocidades mayores. El tratamiento del agua residual ha experimentado una evolución constante; en la actualidad se dispone de gran variedad de tecnologías y se piensa en los objetivos de tratamiento a la hora de seleccionarlas. Sin embargo, como grandes avances, se tiene la propuesta de estrategias de minimización y control, finalmente el hecho de considerar el reúso como la opción preferida antes que la descarga a los cuerpos receptores; esta actividad contribuye a satisfacer la demanda de agua y fertilizantes, además de mejorar el manejo y la disposición final de las AR, con una reducción de la contaminación y un beneficio económico.

Los procesos biológicos utilizan microorganismos que se alimentan de la materia orgánica y reducen su concentración en las aguas residuales, además de utilizar los compuestos para la formación de nuevas células (Zhao, Chen, Zhang, & Zhu, 2010;

Zhao et al., 2015; Zhu, Li, Li, Liu, & Ma, 2014). Los procesos biológicos se clasifican en (Von-Sperling & Chernicharo, 2005):

1. **Aerobios:** realizados por microorganismos, cuyo metabolismo tiene lugar en presencia de oxígeno disuelto. Los productos finales son principalmente CO₂, H₂O y una parte es empleada para la formación de nuevos microorganismos.
2. **Anaerobios:** realizados por microorganismos cuyo metabolismo se efectúa en ausencia de oxígeno libre, pudiendo verse gravemente afectados por su presencia. Los productos finales son CH₄ y CO₂.
3. **Facultativos:** los microorganismos responsables de estos procesos (organismos facultativos) son indiferentes a la presencia de oxígeno disuelto.
4. **Anóxicos:** la presencia de oxígeno es letal para el desarrollo de este proceso, por lo tanto, se debe garantizar la ausencia total de este elemento.

Experiencias reportadas en diversos países, muestran resultados satisfactorios al acoplar procesos aerobios y anaerobios. Después de pasar por reactores anaerobios, el efluente es pulido en lagunas de estabilización (Cavalcanti, 2003), en filtros de goteo (Chernicharo & Nascimento, 2001), en filtros gasificados sumergidos (Goncalves, Araujo, & Chernicharo, 1998), en sistemas de lodos activados (Von-Sperling & Chernicharo, 2005; Von Sperling, 1995; von Sperling, Freire, & Chernicharo, 2001), en Biodiscos (Castilho, Cecchi, & Alvarez, 1997; Tawfik, Klapwijk, Gohary, & Lettinga, 2002; Tawfik, Klapwijk, Van Buuren, Gohary, & Lettinga, 2004; Tawfik et al., 2003), en humedales (Kaaseva, 2004; Mbuglie, 2004), en reactores de biomasa inmovilizada (Vieira, 1988; Vieira & Souza, 1986) y en reactores de lotes secuenciales (Sousa & Foresti, 1996; Torres & Foresti, 2001). Los tratamientos incluirán la reducción de la concentración de por lo menos uno de los cinco constituyentes más importantes del agua residual como los sólidos suspendidos; la materia orgánica (biodegradable), los nutrientes (principalmente nitrógeno y fósforo), los microorganismos patógenos y los metales pesados (Von-Sperling & Chernicharo, 2005; Von Sperling, 1995; von Sperling et al., 2001). Los diferentes tipos de tratamientos de las aguas residuales se han desarrollado en forma sencilla y general hacia dos propósitos; la captación o separación de los sólidos de acuerdo a su sedimentabilidad y la estabilización biológica de los sólidos restantes. La magnitud de estos propósitos dependerá del tipo de tratamiento empleado (Sterling, 1987). Actualmente, existe una gran variedad de tecnologías para el tratamiento de aguas residuales aunque estas deben ser seleccionadas de acuerdo a la realidad local. De manera general, se puede afirmar que en los países desarrollados el número de tecnologías factibles puede estar limitado por la existencia de normatividad ambiental más estricta; mientras que en los países en desarrollo el número de opciones tecnológicas para el tratamiento de aguas residuales podría ser más amplio debido básicamente a los diversos estándares de calidad. (Von-Sperling & Chernicharo, 2005) argumentan que todos estos factores son críticos al seleccionar preliminarmente los sistemas más adecuados para un contexto particular.

e. MICROORGANISMOS EFICACES

Los Microorganismos Eficaces (*Effective Microorganisms EM*) son una mezcla de grupos de organismos que tiene una acción revitalizante en los seres humanos, animales y el medio ambiente natural (Higa, 1995; Higa & Chinen, 1998; Higa & Wood), también ha sido descrito como una mezcla de diferentes especies de microorganismos tanto anaerobios y aerobios que coexisten y cuya actividad sinérgica es beneficiosa en diversos entornos. Las principales especies que intervienen en los ME incluyen (Daly & Stewart, 1999; Diver, 2001; Dvorak, Bidmanova, Damborsky, & Prokop, 2014; Freitag, 2000; Hader, 1999; Javaid, Bajwa, & Anjum, 2008):

1. **Bacterias lácticas:** *Lactobacillus plantarum*, *L. casei*, *Streptococcus lactis*.
2. **Bacterias fotosintéticas:** *Rhodospseudomonas palustris*, *Rhodobacter sphaeroides*
3. **Levaduras:** *Saccharomyces cerevisiae*, *Candida utilis*
4. **Actinomicetos:** *Streptomyces albus*, *S. griseus*
5. **Hongos de Fermentación:** *Aspergillus oryzae*, *Mucor hiemalis*

La tecnología de los microorganismos eficaces se desarrolló durante la década de los 70's en la Universidad de Ryukyus, Okinawa, Japón. La aplicación práctica de estos fue desarrollada por el profesor Teuro Higa quien ha dedicado gran parte de su carrera científica para aislar y seleccionar diferentes microbios con efectos beneficiosos sobre los suelos y plantas. El profesor Teuro en la década de 1970 reportó que una combinación de aproximadamente 80 microorganismos diferentes es capaz, de forma positiva, de influir en la descomposición de materia orgánica debido a que pueden coexistir en cultivos mixtos y son fisiológicamente compatibles entre sí (Crawford, 1983; Diver, 2001; Dvorak et al., 2014; Morato et al., 2014; Wei et al., 2013; Zhao et al., 2015; Zhu et al., 2014). Los estudios han demostrado que los ME puede tener un gran número de aplicaciones, incluyendo la agricultura, la ganadería, jardinería, paisajismo, compostaje, biorremediación, limpieza de tanques sépticos, biorremediación, limpieza de fosas sépticas, control de algas y tratamiento de aguas residuales de origen residencial, industrial (Higa, 1995; Higa & Chinen, 1998; Higa & Wood).

Los ME se puede utilizar para hacer aerosoles orgánicos para la mejora de la fotosíntesis y el control de insectos, plagas y enfermedades (El uso exitoso de los ME depende de técnicas de formulación adecuados), proteger semillas y mejorar el agua y los alimentos. El método de formulación aumenta su persistencia y fiabilidad en las condiciones ambientales preexistentes y siempre se puede mejorar su formulación con el fin de manejar las condiciones ambientales desfavorables, al ser mezclados con ingredientes adecuados que pueden actuar como nutrientes, adhesivos o agentes humectantes (Javaid et al., 2008).

La tecnología de ME implica el crecimiento, aplicación, gestión y el restablecimiento de altas poblaciones de microorganismos beneficiosos en un entorno o sistema (Higa, 1995; Higa & Chinen, 1998; Higa & Wood). Un problema importante que enfrentan las poblaciones en todo el mundo es el tratamiento, eliminación y / o reciclaje de desechos sólidos (Higa, 1995; Higa & Chinen, 1998; Higa & Wood). En

países como Australia y muchas naciones de Europa y Asia, incluso Japón, las empresas de gestión de residuos industriales utilizan con bastante éxito los ME. Adicionalmente, la implementación de sistemas de compostaje ha ayudado a manejar los residuos residenciales, generando de esta manera un abono rico que en algunos casos ha eliminado la necesidad de fertilizantes químicos (Freitag, 2000; C. Li et al., 2015; Lotti, Kleerebezem, Abelleira-Pereira, Abbas, & van Loosdrecht, 2015; Michailides et al., 2015; Pierra, Carmona-Martinez, Trably, Godon, & Bernet, 2015; Shangguan, Liu, Zhu, Tong, & Wu, 2015).

También se encuentra en investigación el potencial de los ME para bajar el contenido en lípidos de las fuentes de agua potable contaminadas, la tecnología de los ME puede ayudar a mitigar la crisis del agua mediante la purificación de esta para su reúso, por ejemplo, los ME actúan para purificar aguas residuales devorando todas sus toxinas y eliminando el hedor de los desechos sólidos. Varios investigadores han reportado que las bolas de barro de ME adoptadas localmente están emergiendo como uno de las soluciones ambientales para reducir los contaminantes del agua y así mejorar la calidad del agua en los ríos y desagües (Kaushik & Malik, 2009; Khatoon et al., 2014; C. Li et al., 2015; Lotti et al., 2015; Michailides et al., 2015; Pierra et al., 2015; Shangguan et al., 2015). Además, los ME también tiene la capacidad de absorber gases tóxicos (Ejemplo, sulfuro de hidrógeno y amoníaco) convirtiéndolos en ácidos orgánicos, y eliminando así su olor (Formagini, Marques, Serejo, Paulo, & Boncz, 2014; Giusti, 2009; Massoudinejad, Manshour, Khatibi, Adibzadeh, & Amini, 2008; Smet & Van Langenhove, 1998; Van Craeynest, Dewulf, Vandeburie, & Van Langenhove, 2003). Por lo tanto, el entorno de graneros y la higiene de los animales son a la vez mejorados. Por otra parte, la tecnología de ME fue utilizada en el tsunami del año 2011 ocurrido en Asia, con el fin de mitigar los olores y colaborar en el saneamiento. El compostaje también ha sido estudiado, principalmente en el tratamiento de lodos de aguas residuales municipales y residuos sólidos. Rociar una solución de ME en el material, acelera la descomposición de materia orgánica y por lo tanto requiere menos tiempo para que el proceso natural de compostaje se lleve a cabo. El uso de soluciones de ME en bio-fertilizantes también ayuda a aumentar el número de microorganismos beneficiosos en el suelo; esto a su vez mejora la salud microbiana del suelo y promueve un medio ambiente sano para las plantas (Boraste et al., 2009). Freitag (Freitag, 2000) también destacó la introducción de ME en instalaciones de tratamiento anaeróbico para reducir los desagradables subproductos de la descomposición y la producción de lodo residual. (Akbar, 1996; Qasim, 1997) también demostraron que los ME tienen el potencial para desoxidar metales pesados y convertirlos en compuestos órgano-metálicos, que no son perjudiciales para la salud humana o animal.

Numerosos experimentos de aplicación de los ME también han sido llevados a cabo en varios tipos de suelos, granos, oleaginosas, frutales y vegetales al igual que como un aditivo en los alimentos para aves de corral y ganado, los investigadores encontraron que cuando se aplica con estiércol, los ME puede reducir la necesidad de fertilizantes químicos y pesticidas, lo que mejora la rentabilidad del agricultor y protege el medio ambiente (Mohan, Rao, Prasad, & Sarma, 2005; Olaniran et al.,

2006; Zhao et al., 2010). La investigación ha demostrado que la inoculación de cultivos de ME para el ecosistema del suelo / planta puede mejorar la calidad del suelo, la salud del suelo y el crecimiento, rendimiento y calidad de los cultivos. Los EM se utilizan en la agricultura mediante diferentes estrategias. Por ejemplo, son inoculados en la rizosfera (alrededor de la raíz) con la intención de regenerar el suelo, aumentar los rendimientos o mejorar el contenido y la disponibilidad de nutrientes de los cultivos. (Sangakkara, 2002) reportó que la aplicación de ME aumenta la liberación de nutrientes de la materia orgánica, mejora la fotosíntesis y la actividad de las enzimas y proporciona una mejor penetración de raíces al mejorar las propiedades físicas de los suelos. Varias investigaciones como las realizadas en papaya en Brasil (Chagas, Tokeshi, & Alves, 1999), forraje gramíneas en Holanda (Bruggenwert et al., 2001) y Austria (Hader, 1999), verduras en Nueva Zelanda y Sri Lanka (Daly & Stewart, 1999) y las manzanas en Japón (Fujita, 2000) ilustran este fenómeno claramente.

A nivel pecuario los ME pueden mejorar la digestión y absorción de nutrientes cuando se añaden a los alimentos y el agua potable. (Gannoun, Bouallagui, Okbi, Sayadi, & Hamdi, 2009; Gljzen, 2002; W. Li, 1994) Encontró que los ME contiene muchos microorganismos de origen natural beneficiosos, que son tanto oxibioticos y anaeróbicos. Después de entrar en el cuerpo de los animales como productos alimenticios, estos microbios pueden multiplicarse rápidamente y no sólo controlar el crecimiento de microbios patógenos, sino llegar a hacer parte del micro-bioma normal dentro del cuerpo del anfitrión y de esta manera producir vitaminas, proporcionar nutrientes y prevenir los ataques de patógenos. Con una buena alimentación, se tiene una marcada mejora en el crecimiento de los animales. En Pakistán, los ME también mostraron ser unos promotores eficaces del crecimiento en pollos sin los riesgos asociados en la respuesta inmune, que conlleva el uso de los promotores tradicionales (Ahmed, Hussain, Rizvi, Gilani, & Javid, 2006).

Se ha identificado que el uso de enmiendas orgánicas, especialmente el estiércol de pollo adicionadas con ME puede aumentar significativamente el rendimiento y la producción de maíz dulce y hojas de mostaza (Sharifuddin, 1993). De igual manera los residuos de cultivos y desechos animales también pueden ser compostados eficazmente con el fin de producir biofertilizantes para el desarrollo de la agricultura (Banu, Esakkiraj, Nagendran, & Logakanthi, 2005; Crawford, 1983; Giusti, 2009; Golovleva, Aliyeva, Naumova, & Gvozdyak, 1992; Shintani, 2000).

f. MICROORGANISMOS EFICACES EN EL USO DE AGUAS RESIDUALES EN PRODUCCIÓN ANIMAL

Las operaciones de alimentación de animales concentrados han aumentado el número de animales por unidad de superficie, lo que lleva a la liberación de mal olor de las aguas residuales que afectan negativamente a la salud de los cerdos y de los trabajadores de las instalaciones de producción. Las lagunas porcinas son generalmente hoyos en la tierra de 2 a 6 m de profundidad con paredes laterales inclinadas que pueden ser alineados con bentonita arcilla, asfalto u hormigón. Las aguas residuales de los cerdos presentan una alta demanda biológica y química de oxígeno. Los compuestos malolientes liberadas incluyen ácidos de cadena pequeña, ácidos grasos volátiles, compuestos aromáticos, sulfuro de hidrógeno y amoníaco (Bouwman et al., 1997; Spoelstra, 1977). Un limitado éxito se ha se ha

logrado mediante el uso de aditivos químicos y bioquímicos para el control de la acumulación de las emisiones de olores y sólidos en lagunas de aguas residuales porcinas. Estos agentes se dividen en varias clases que incluyen agentes enmascarantes (aceites aromáticos), neutralizantes (neutralización de los aceites aromáticos), desodorantes digestivos (bacterias o enzimas), adsorbentes, aditivos para piensos (residuos reductores) y desodorantes químicos (oxidantes fuertes o germicidas) (Melse & Timmerman, 2009; Omri, Aouidi, Bouallagui, Godon, & Hamdi, 2013; Ritter, 1989). El tratamiento de aguas residuales de la producción porcina y el control del olor son importantes componentes para la producción animal sostenible. Regulaciones más estrictas de la industria ganadera que requieren a la vez eficaz se están promulgando tratamiento y control de olores. El tratamiento aerobio de aguas residuales de origen animal puede ser muy costoso y no genera productos útiles, en contraste el tratamiento anaeróbico se puede utilizar para generar gas metano, sin embargo, el amoníaco y los productos químicos productores de olores no se eliminan completamente. Así, mientras que estos tratamientos pueden ser efectivos, aún pueden ser demandantes de energía o resultar en la generación de olores molestos (Melse & Timmerman, 2009; Omri et al., 2013).

En el tratamiento de aguas residuales, el concepto de Bioaumentación o la mejora de la biomasa es la adición de preparados comercialmente cultivados bacterianos a un sistema de tratamiento de aguas residuales aumentan la densidad de bacterias deseadas y sus enzimas y lograr una meta para la operativa específica ejemplo, disminuir la producción de lodos o controlar la producción de malos olores. La adición de cultivos bacterianos aumenta la densidad de bacterias deseados sin aumentar significativamente los sólidos y los tiempos de residencia de un lodo activado o digestor anaeróbico. Además el uso suficiente de productos de bioaumentación puede permitir que un operador específico disminuya los parámetros como son la concentración MLVSS (Mixed liquor volatile suspended solids) y MCRT (Mean Cell Residence Time). Las disminuciones en MLVSS y MCRT ayudan a controlar el crecimiento no deseado de organismos filamentosos. La eficiencia del tratamiento, el cumplimiento la normatividad, y los costos operacionales en una planta de tratamiento de aguas residuales municipal los cuales son influenciados en gran medida por las actividades enzimáticas y capacidades de la gran y diversa población de bacterias del grupo coli-aerogenes.

El grupo coli-aerogens son bacterias que habitan en el tracto gastrointestinal de los seres humanos y de aguas residuales entran a las planta de tratamiento de residuos fecales. Algunos ejemplos de actividades significativas de las coli-aerogens que son de importancia para aguas residuales en plantas de tratamiento incluyen:

1. Las necesidades de nutrientes y de oxígeno disuelto
2. Los productos obtenidos a partir de la degradación de los sustratos
3. Las tasas de degradación de los sustratos tipos de sustratos que pueden ser degradados

Algunos ejemplos de las habilidades significativas de coli-aerogens que son de importancia para el tratamiento de aguas residuales incluyen Las condiciones adversas que son tolerados por estos microorganismos son:

1. La competencia con otros organismos
2. La capacidad de formación de flóculos
3. El rango de crecimiento en términos de pH y temperatura

Las actividades y capacidades de coli-aerogens son apoyados por una población más pequeña de varios géneros importante de bacterias saprofitas y nitrificantes que entran la planta de tratamiento como los organismos del suelo y del agua a través de la afluencia y la infiltración. Las bacterias saprofitas y sus sistemas enzimáticos son más eficaces en la degradación una mayor variedad de sustratos que la coli-aerogens. También, muchas bacterias saprofitas tienen habilidades únicas que les permiten sobrevivir y permanecer activas bajo las difíciles condiciones ambientales o de funcionamiento que no son tolerados bien por las bacterias del grupo coli-aerogens. Las bacterias saprofitas son los principales responsables de la degradación de la materia orgánica en la naturaleza. Sin embargo, las bacterias saprofitas no entran a las plantas de tratamiento de aguas residuales en un número significativo y no crecen en gran números en aguas residuales o lodos, debido a la presencia de un gran número de bacteria del grupo coli aerogens. Por esta razón en el tratamiento de aguas residuales las características únicas de las bacterias saprofitas como son la eficiencia en la actividad enzimática y otras habilidades únicas de las bacterias saprofitas son disminuidas por las bacterias del grupo coli-aerogenes. Debido al número relativamente pequeño de bacterias saprofitas en una planta de tratamiento de aguas residuales, en comparación con el gran número de bacterias del grupo coli-aerogens, las plantas de tratamiento de aguas residuales puede experimentar dificultades en el tratamiento específico de sustratos, tolerar condiciones adversas o corregir problemas operativos.

La adición de productos de bio-aumentación se orienta a mejorar el tratamiento correcto de diversos productos en las plantas de tratamiento de aguas residuales. Los microorganismos utilizados en una planta de tratamiento son seleccionados de acuerdo con las necesidades de tratamiento de la planta y las actividades y capacidades de los cultivos bacterianos para tratar el problema de funcionamiento. Los cultivos bacterianos se pueden añadir a varios lugares en un sistema de tratamiento de aguas residuales. La ubicación para la adición de los cultivos bacterianos se selecciona de acuerdo con las necesidades del sistema de tratamiento y el período de ajuste del microorganismo. El periodo de ajuste se orienta a permitir que los microorganismos produzcan sus enzimas en el nuevo entorno, manejando elementos como el tiempo de aireación o de digestión anaerobia. Entre más largo es el tiempo de ajuste que se requiere, mayor es la distancia (tiempo de retención) de la unidad de tratamiento en la que se agregan las bacterias. Aunque los productos de bio-aumentación se introducen en un lugar específico para su uso en un tanque, las bacterias se transfieren a lo largo del

tratamiento de las plantas es decir tanto en la región de los lodos activados, el digestor aeróbico y el digestor anaeróbico.

En general se utiliza una dosis de ≥ 2 ppm y se puede aplicar durante 2-4 semanas. En la mayoría de los casos la dosis de mantenimiento es de aproximadamente 2 ppm y puede aplicarse diaria, semanal, o cuando sea necesario. Bacterias saprofitas se reproducen en las plantas de tratamiento de aguas residuales, pero no pueden superar en número a las bacterias del grupo coli-aerogens las cuales se introducen continuamente en el proceso en números muy grandes. Las bacterias del grupo coli-aerogens están presentes en una proporción de millones por mililitro y miles de millones por gramo de partículas de flóculo, de tal manera que se añaden bacterias saprofitas a un nivel donde se puede observar el impacto de sus actividades y habilidades. Se ha observado que aunque las bacterias saprofitas usadas como bio-amentadoras no son patógenas, algunos conservantes que se utilizan para detener el crecimiento de las bacterias durante el almacenamiento y el envío puede causar una reacción alérgica con algunos individuos. Por eso se debe usar en su manejo la ropa de protección adecuada, como son uniformes de manga larga o camisas, máscaras contra el polvo, y escudos contra salpicaduras o gafas protectoras al llevar a cabo la manipulación de los microorganismos de bio-amentación, por lo que las personas que entran en contacto con los productos deben lavarse o ducharse (Cheng et al., 2015).

9. METODOLOGÍA:

RECOLECCIÓN DE MUESTRA

Las muestras de agua residual serán tomadas de una granja porcícola certificada por el ICA en buenas prácticas agropecuarias (BPA), del área que ocupan las porquerizas y del área donde el impacto ambiental es de mayor intensidad. Se recolectará 1 litro de agua de cada uno de los tres tratamientos, esta será transportada en refrigeración al laboratorio de análisis microbiológico y fisicoquímico de la Universidad Libre seccional Pereira, sede Belmonte.

TIPO DE ESTUDIO

La investigación se enfocará a un estudio descriptivo analítico, por medio del cual se caracterizará el agua residual sometida a diferentes tratamientos con microorganismos eficaces.

VERIFICACIÓN DE ALGUNAS DE LAS TÉCNICAS ANALÍTICAS FISICOQUÍMICAS.

i. **Variables a medir:** Se obtendrán datos de Demanda Biológica de Oxígeno (DBO), Demanda Química de Oxígeno (DQO), Sólidos totales (ST) y microorganismos presentes. Para la obtención de estos datos se tomará una muestra mixta con un frasco con volumen de 1 L como representativa de las unidades experimentales y serán llevados al laboratorio de análisis microbiológico y físico-químico de la Universidad Libre seccional Pereira, sede Belmonte, para obtener los datos de la DBO, DQO, ST y análisis microbiológico se utilizará la norma AAOAC para aguas antes y después de haber realizado la intervención.

ii. **Demanda Biológica de Oxígeno (DBO):** Es una medida de la cantidad de oxígeno consumido en la degradación de la materia orgánica mediante procesos biológicos aerobios (principalmente por bacterias y protozoarios), se utiliza para determinar la contaminación de las aguas. Si el valor es alto, significa que los niveles disueltos serán bajos, porque las bacterias han consumido en gran cantidad de oxígeno (APHA, 1992; Sanchez, 2003).

iii. **Valor de la DBO:** este indicador se obtiene en el laboratorio, tomando una muestra de agua, alimentada con bacterias y nutrientes y se hace una incubación a 20 °C durante 5 días en la oscuridad. El valor de la DBO se determina comparando el valor de oxígeno disuelto (OD) de una muestra de agua tomada inmediatamente, con el valor de la muestra incubada descrita anteriormente. La diferencia entre los dos valores OD representa la cantidad de oxígeno requerido para la descomposición de la materia orgánica en la muestra. La DBO se mide en ppm o mg/L (APHA, 1992; Sanchez, 2003).

iv. **Demanda Química de Oxígeno (DQO):** Se relaciona con la cantidad de oxígeno requerida para descomponer químicamente la materia orgánica e inorgánica y es utilizable para medir los contaminantes orgánicos que están en las aguas residuales (APHA, 1992; Castillo, Altuna, Michelena, Sanchez-Bravo, & Acosta, 2005).

v. **Valor de la DQO:** Para medirla es necesario el uso de poderosos agentes químicos como el dicromato o permanganato de potasio en un medio ácido para que ocurra una oxidación química de las sustancias oxidables que contiene la muestra (APHA, 1992; Castillo et al., 2005).

vi. **Sólidos Totales (ST):** Son todos los sólidos totales y se clasifica en sólidos suspendidos y sólidos disueltos o filtrables. Los sólidos en suspensión pueden ser sedimentables y no sedimentables, siendo a la vez orgánica e inorgánica, provienen de actividades domésticas, pecuarias, agrícolas e industriales, son interferencia con la penetración de la luz solar y el movimiento de cuerpos en el agua. Los sólidos suspendidos sedimentables tienen tamaño mayor a 0.001 mm, son aquellos que sedimentan en el fondo de un recipiente y las no sedimentables las que no sedimentan en un recipiente. (Delgadillo *et al* 2010). Los sólidos disueltos o filtrables, son la fracción de materia sólida que pasa por un filtro de 1.2 micras, se clasifican en sólidos coloidales y sólidos disueltos, pueden ser orgánicas e inorgánicas, las coloidales son partículas con medida 0,00001 mm y 0,01 mm. Los sólidos disueltos tienen un tamaño menor a 0,00001 mm, se relaciona con el grado de mineralización del agua ya que son iones de sales minerales que el agua ha disuelto a su paso. (APHA, 1992).

vii. **Valor de los ST:** Es la materia que se consigue como residuo luego de someter el agua a una temperatura entre 103°C a 105°C hasta que se evapore. Los sólidos suspendidos son los que quedan retenidas por un filtro de membrana con un tamaño de poro de 1.2 micras y el resto que pasa son los sólidos disueltos o filtrables. Los sólidos suspendidos sedimentables son los que quedan en el fondo de un recipiente de forma cónica en un tiempo de 60 minutos y los no sedimentables pueden ser

retenidos por una barrera física, por ejemplo un filtro, el tamaño de los sólidos no sedimentables son mayores a 0,001 mm (APHA, 1992).

PARÁMETRO PARA LA TOMA DE LAS MUESTRAS

ANALITO	RECIPIENTE PARA LA PRESERVACIÓN	TIEMPO MÁXIMO DE ALMACENAMIENTO
DBO5	Frasco plástico y/o vidrio	6 horas en refrigeración (4°C)
DQO	Frasco plástico y/o vidrio	7 horas en refrigeración (4°C)
ST	Frasco plástico y/o vidrio	Refrigerar por 7 días

CARACTERIZACIÓN FÍSICO-QUÍMICA DE LAS AGUAS RESIDUALES

La demanda biológica de oxígeno (DBO), se determinara por método de refluo cerrado por método colorimétrico. La demanda química por tubos de digestión con termo reactor y espectrofotómetro. Los Sólidos totales (ST), por método gravimétrico, horno de secado a 103- 105°C. Estas pruebas serán llevadas a cabo tanto sobre las muestras tomadas en las granjas como después de realizar el tratamiento.

CARACTERIZACIÓN MICROBIOLÓGICA DE LAS AGUAS RESIDUALES

Se realizarán análisis microbiológico de Coliformes totales y *E coli*, después de cada tratamiento por el método de filtración por membrana, se expresara en unidades de NMP/100 cm³. Estos análisis serán llevados a cabo según el decreto 475 de 1998 (Presidencia de la Republicade Colombia, 1998)

EVALUACIÓN DE LA DOSIS DE MICROORGANISMOS EFICACES

Los microorganismos, como cepas de referencia ATCC, serán adquiridos en el Instituto Nacional de Salud. La solución madre de microorganismos eficaces consistirá de 3 mezclas realizadas con diferentes proporciones, incluyendo una población predominante en cada una de ellas (Javaid & Bajwa, 2011).

- **Mezcla 1**

- (3) Bacterias acido lácticas: 1×10^8 cfu mL⁻¹
- (2) Levaduras: 2×10^6 cfu mL⁻¹
- (1) Bacterias fotosintéticas: 1×10^3 cfu mL⁻¹

- **Mezcla 2**

- (1) Bacterias acido lácticas: 1×10^3 cfu mL⁻¹
- (3) Levaduras: 2×10^8 cfu mL⁻¹
- (2) Bacterias fotosintéticas: 1×10^6 cfu mL⁻¹

- **Mezcla 3**

- (2) Bacterias acido lácticas: 1×10^6 cfu mL⁻¹

- (1) Levaduras: 2×10^3 cfu mL⁻¹
- (3) Bacterias fotosintéticas: 1×10^8 cfu mL⁻¹

El tratamiento tendrá una duración de 2 meses, después de los cuáles se analizarán nuevamente los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos de las muestras.

UNIDADES EXPERIMENTALES

Cada una de las unidades experimentales será generada por triplicado.

- Muestra blanco sin tratamiento: 1 litro de aguas residuales
- Mezcla 1 ME: 1 litro de aguas residuales + ME 1
- Mezcla 2 ME: 1 litro de aguas residuales + ME 2
- Mezcla 3 ME: 1 litro de aguas residuales + ME 3

ANALISIS ESTADISTICOS

El análisis estadístico se realizará sobre valores de medias, varianza y desviación estándar. Los análisis serán pruebas de varianza (ANOVA) y las medias de cada una de las variables entre los tratamientos serán comparadas mediante una prueba de rangos múltiples (Steel & Torrie, 1980) a un nivel de significancia del 5% utilizando el programa estadístico, SPSS ver 19.

10. PRODUCTOS, RESULTADOS E IMPACTOS ESPERADOS:

- a. Productos de generación de nuevo conocimiento:**
 - i. 1 artículo sometido a publicación en revista indexada.
- b. Productos de actividades de investigación, desarrollo tecnológico e innovación:**
 - i. Las mezclas promisorias de microorganismos identificadas para el tratamiento de las aguas residuales en cuestión.
- c. Productos de formación de recursos humanos:**
 - i. 1 trabajo de grado de 2 estudiantes del programa de microbiología de la Universidad libre Seccional Pereira.
- d. Productos de apropiación social del conocimiento:**
 - i. 1 Presentación de los resultados a los productores de la granja en la que se llevó a cabo el trabajo.
 - ii. 1 Presentación en evento científico a nivel nacional
- e. Impactos Potenciales:**
 - i. Impactos en el conocimiento del campo de estudio.**
 - 1. A mediano plazo, evaluación de una combinación o mezcla de microorganismos para el tratamiento de aguas residuales generadas por la industria porcícola.
 - 2. A mediano plazo, establecimiento de una línea de investigación en el tema de microorganismos eficaces y su uso en la industria agropecuaria.
 - ii. Impactos sobre la productividad y la competitividad.**

1. A mediano plazo se aplicaran las mezclas de microorganismos identificadas que ayuden a la producción de abono orgánico.
2. A largo plazo el desarrollo de un producto biotecnológico para ser aplicado en el tratamiento de aguas residuales de la industria porcicola.
3. Mejoramiento de la sostenibilidad de este sector agroindustrial a nivel regional y nacional.

iii. Impactos regionales.

1. A largo plazo fortalecimiento de la industria porcicola regional mediante la aplicación de estrategias que tengan como efecto la disminución de olores alrededor de las fincas porcícolas en la región.
2. A largo plazo mejoramiento de la calidad de la aguas residuales provenientes de las granjas porcicolas.
3. A largo plazo. Incremento de la productividad en algunos cultivos con el uso del compost producto del uso de los microorganismos.

iv. Impactos en la calidad de vida de la población

1. A largo plazo. Disminución de contaminación y olores con el uso de los microorganismos identificados.
2. A largo plazo desarrollo de productos fertilizantes seguros de origen biológico para incrementar la producción agrícola de las poblaciones cercanas

v. Impacto en las políticas públicas.

1. A largo plazo. Alternativas biológicas al manejo de excretas de la industria porcicola en la región, el departamento y el país.
2. Implementación de estrategias de tratamiento microbiológico de aguas.

vi. Otros que los proponentes consideren pertinentes.

11. CRONOGRAMA:

Distribución de actividades, resultados y productos a lo largo del tiempo de ejecución del proyecto.

ACTIVIDAD	MESES											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
RECOLECCION DE MUESTRAS DE AGUAS RESIDUALES DE GRANJA PORCICOLA	X	X										
ANALISIS FISICOQUIMICO Y MICROBIOLOGICO DE LAS MUESTRAS DE AGUAS RESIDUALES	X	X	X									
MULTIPLICACION Y ALMACENAMIENTO DE LOS MICROORGANISMOS EFICACES A UTILIZAR		X	X	X	X							
PREPARACION DE LAS FORMULACIONES DE MICROORGANISMOS EFICACES					X	X	X	X				
TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES CON LA COMBINACION DE MICROORGANISMOEFICACES DEFINIDOS						X	X	X	X	X		
ANALISIS ESTADISTICO DE LOS RESULTADOS									X	X	X	
ENTREGA DEL INFORME FINAL												X

12. BIBLIOGRAFÍA:

- Ahmed, DA., Hussain, T., Rizvi, F., Gilani, G., & Javid, T (2006). Influence of EM on health and immune system of broilers under experimental condition. *EM Technology Network Database*.
- Akbar, T. . (1996). *Recycling of municipal liquid waste using EM Technology for domestic use*. (Msc), University of Agriculture, Faisalabad, Pakistan.
- APHA. (1992). *Standard methods for the examination of water and wastewater*. . Washington, USA.
- Asociacion colombiana de poricultores (2015). [Estadísticas de producción y consumo de cerdo a nivel nacional].
- Banu, J. R., Esakkiraj, S., Nagendran, R., & Logakanthi, S. (2005). Biomanagement of petrochemical sludge using an exotic earthworm *Eudrilus eugineae*. *J Environ Biol*, 26(1), 43-47.
- Bernal, DP., & Cardona, DA. (2003). *Selección de tecnología para el tratamiento de aguas residuales domésticas por métodos naturales: una metodología con énfasis en aspectos tecnológicos*. (Pregrado Ingeniería sanitaria y ambiental), Universidad del Valle, Cali. Colombia.
- Boraste, A., Vamsi, KK., Jhadav, A., Khairnar, Y., Gupta, N., Trivedi, S., . . . Joshi, B. (2009). Bio-fertilizers: A novel tool for agriculture. *Int. J. Microbiol. Res*, 1(2), 23-31.
- Bouwman, AFDS., Lee, WAH., Asman, FJ., Dentener, KW., Hoek., Van Der, & Olivier, JGJ. (1997). A global high-resolution emission inventory for ammonia. *11*, 561-587.
- Castilho, A., Cecchi, F., & Alvarez, J. (1997). Combined anaerobic-aerobic system to treat domestic sewage in coastal areas. *A Water Res*, 31(6), 3057-3063.
- Castillo, G., Altuna, B., Michelena, G., Sanchez-Bravo, J., & Acosta, M. (2005). Cuantificación del contenido de ácido indol acético (AIA) en un caldo de fermentación microbiana. *Anales de biología*, 27, 137-142.
- Castro, A. (2003). *Selección de alternativas sostenibles para el tratamiento de aguas residuales municipales en Colombia: un método con énfasis en aspectos*

- tecnológicos*. (MSc en Ingeniería Sanitaria y Ambiental), Universidad del Valle, Cali. Colombia.
- Cavalcanti, P. (2003). *Integrated application of the UASB reactor and ponds for domestic sewage treatment in tropical regions*. (PhD), Wageningen University, Wageningen, The Netherlands.
- Crawford, JH. (1983). *Review of composting*.
- Crites, R., & Tchobanoglous, G. (1998). *Small and decentralized wastewater management systems*. USA: McGraw-Hill.
- Chagas, PRR., Tokeshi, H., & Alves, MC. (1999). *Effect of calcium on yield of papaya fruits on conventional and organic (Bokashi EM) systems*. Paper presented at the Proceedings of the 6th International Conference on Kyusei Nature Farming, South Africa.
- Cheng, Z., Chen, M., Xie, L., Peng, L., Yang, M., & Li, M. (2015). Bioaugmentation of a sequencing batch biofilm reactor with *Comamonas testosteroni* and *Bacillus cereus* and their impact on reactor bacterial communities. *Biotechnol Lett*, 37(2), 367-373. doi: 10.1007/s10529-014-1684-1
- Chernicharo, C., & Nascimento, M. (2001). Feasibility of a pilot-scale UASB/trickling filter system for domestic sewage treatment. *Journal Water Science Technology*, 44(7), 221-228.
- Daly, MJ., & Stewart, DPC. (1999). Influence of Effective Microorganisms (EM) on vegetable production and carbon mineralization, A preliminary investigation. *J. Sustain. Agric*, 14, 15-25.
- Diver, S. (2001). Nature Farming and Effective Microorganisms. *Retrieved from Rhizosphere II*.
- Dvorak, P., Bidmanova, S., Damborsky, J., & Prokop, Z. (2014). Immobilized synthetic pathway for biodegradation of toxic recalcitrant pollutant 1,2,3-trichloropropane. *Environ Sci Technol*, 48(12), 6859-6866. doi: 10.1021/es500396r
- Formagini, E. L., Marques, F. R., Serejo, M. L., Paulo, P. L., & Boncz, M. A. (2014). The use of microalgae and their culture medium for biogas production in an integrated cycle. *Water Sci Technol*, 69(5), 941-946. doi: 10.2166/wst.2013.803
- Freitag, DG. (2000). The use of Effective Microorganisms (EM) in Organic Waste Management.
- Fujita, M. (2000). *Nature farming practices for apple production in Japan, In Nature farming and microbial applications*. (Vol. 3).
- Gannoun, H., Bouallagui, H., Okbi, A., Sayadi, S., & Hamdi, M. (2009). Mesophilic and thermophilic anaerobic digestion of biologically pretreated abattoir wastewaters in an upflow anaerobic filter. *J Hazard Mater*, 170(1), 263-271. doi: 10.1016/j.jhazmat.2009.04.111
- Giusti, L. (2009). A review of waste management practices and their impact on human health. *Waste Manag*, 29(8), 2227-2239. doi: 10.1016/j.wasman.2009.03.028
- Gljzen, H. J. (2002). Anaerobic digestion for sustainable development: a natural approach. *Water Sci Technol*, 45(10), 321-328.
- Golovleva, L. A., Aliyeva, R. M., Naumova, R. P., & Gvozdyak, P. I. (1992). Microbial bioconversion of pollutants. *Rev Environ Contam Toxicol*, 124, 41-78.

- Goncalves, R., Araujo, V., & Chernicharo, C. . (1998). Association of a UASB reactor and a submerged aerated biofilter for domestic sewage treatment. *Journal Water Science Technology*, 38(6), 189-195.
- Guo, J., Peng, Y., Ni, B. J., Han, X., Fan, L., & Yuan, Z. (2015). Dissecting microbial community structure and methane-producing pathways of a full-scale anaerobic reactor digesting activated sludge from wastewater treatment by metagenomic sequencing. *Microb Cell Fact*, 14, 33. doi: 10.1186/s12934-015-0218-4
- Hader, U. (1999). *Influence of EM on the quality of grass/hay for milk production*. Paper presented at the Proceedings of the 6th International Conference on Kyusei Nature Farming, South Africa.
- Higa, T. (1995). *What is EM Technology*. Okinawa, Japan: University of Ryukyus, College of Agriculture.
- Higa, T., & Chinen, N. (1998). EM treatment of odor, wastewater, and environmental problems. Okinawa, Japan: : University of Ryukyus, College of Agriculture. .
- Higa, T., & Wood, M.). Effective microorganisms for sustainable community development: A national case study of cooperative and co-prosperity in North Korea for the preservation of environmental, agricultural, economic, and cultural integrity.
- INSTITUTO COLOMBIANO AGROPECUARIO. (2007). RESOLUCIÓN 2640.
- Javaid, A., & Bajwa, R. (2011). Field evaluation of eff ective microorganisms (EM) application for growth, nodulation, and nutrition of mung bean. *Turk J Agric For*, 35, 443-452.
- Javaid, A., Bajwa, R., & Anjum, T. (2008). Eff ect of heat sterilization and EM (eff ective microorganisms) application of wheat (*Triticum aestivum* L.) grown in organic matter amended soils. *Cereal Res Comm* 36, 489-499.
- Kaaseva, ME. (2004). Performance of a sub-surface flow constructed wetland in polishing pre-treated wastewater – a tropical case study. *Water Res*, 38(6), 681-687.
- Kaushik, P., & Malik, A. (2009). Fungal dye decolourization: recent advances and future potential. *Environ Int*, 35(1), 127-141. doi: 10.1016/j.envint.2008.05.010
- Khatoon, N., Naz, I., Ali, M. I., Ali, N., Jamal, A., Hameed, A., & Ahmed, S. (2014). Bacterial succession and degradative changes by biofilm on plastic medium for wastewater treatment. *J Basic Microbiol*, 54(7), 739-749. doi: 10.1002/jobm.201300162
- Lettinga, G., Man, A., Grin, P., & Hulshof, P. (1987). Anaerobic wastewater treatment as an appropriate technology for developping countries. *Tribune Cebedeau*, 40(11), 21-32.
- Li, C., Ren, H., Yin, E., Tang, S., Li, Y., & Cao, J. (2015). Pilot-scale study on nitrogen and aromatic compounds removal in printing and dyeing wastewater by reinforced hydrolysis-denitrification coupling process and its microbial community analysis. *Environ Sci Pollut Res Int*, 22(12), 9483-9493. doi: 10.1007/s11356-015-4124-4
- Li, WF. (1994). *Effect of EM on crop and animal husbandry in China*. Paper presented at the Proceedings of 3rd Conference on EM Technology.

- Lotti, T., Kleerebezem, R., Abelleira-Pereira, J. M., Abbas, B., & van Loosdrecht, M. C. (2015). Faster through training: The anammox case. *Water Res*, *81*, 261-268. doi: 10.1016/j.watres.2015.06.001
- Massoudinejad, M. R., Manshour, M., Khatibi, M., Adibzadeh, A., & Amini, H. (2008). Hydrogen sulfide removal by *Thiobacillus thioparus* bacteria on seashell bed biofilters. *Pak J Biol Sci*, *11*(6), 920-924.
- Mbublique, SE. (2004). Comparative effectiveness of engineered wetland system in the treatment of anaerobically pre-treated domestic wastewater. *Ecol. Eng.*, *24*(15), 269-284.
- Melse, R. W., & Timmerman, M. (2009). Sustainable intensive livestock production demands manure and exhaust air treatment technologies. *Bioresour Technol*, *100*(22), 5506-5511. doi: 10.1016/j.biortech.2009.03.003
- Metcalf., & Eddy. (2003). *Wastewater Engineering. Treatment and Reuse*. (Fourth edición ed.). New York (USA). McGraw-Hill. .
- Michailides, M. K., Tekerlekopoulou, A. G., Akratos, C. S., Coles, S., Pavlou, S., & Vayenas, D. V. (2015). Molasses as an efficient low-cost carbon source for biological Cr(VI) removal. *J Hazard Mater*, *281*, 95-105. doi: 10.1016/j.jhazmat.2014.08.004
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, Ministerio de Comercio, Industria y Turismo, Ministerio de Hacienda y Crédito Público, Ministerio de Protección Social, DNP: Dirección de Desarrollo Rural Sostenible. (2007). *POLÍTICA NACIONAL DE SANIDAD E INOCUIDAD PARA LA CADENA PORCÍCOLA*. Bogota, Colombia.
- MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL, ASOCIACION COLOMBIANA DE PORCICULTORES, FONDO NACIONAL DE LA PORCICULTURA, SOCIEDAD DE AGRICULTORES DE COLOMBIA. (2002). Guía Ambiental para el subsector Porcícola. *Dirección General Ambiental Sectorial*, 29-41.
- Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible. (2015). *Resolucion 0631*. Bogota, Colombia.
- MINISTERIO DE LA PROTECCION SOCIAL. (2007). DECRETO 1500.
- Mohan, S. Venkata, Rao, N. Chandrasekhara, Prasad, K. Krishna, & Sarma, P. N. (2005). Bioaugmentation of an anaerobic sequencing batch biofilm reactor (AnSBBR) with immobilized sulphate reducing bacteria (SRB) for the treatment of sulphate bearing chemical wastewater. *Process Biochemistry*, *40*(8), 2849-2857. doi: 10.1016/j.procbio.2004.12.027
- Morato, J., Codony, F., Sanchez, O., Perez, L. M., Garcia, J., & Mas, J. (2014). Key design factors affecting microbial community composition and pathogenic organism removal in horizontal subsurface flow constructed wetlands. *Sci Total Environ*, *481*, 81-89. doi: 10.1016/j.scitotenv.2014.01.068
- Noyola, A. (1996). Anaerobic technology as tool for the sustainable environment: the context of Mexico. In I. d. I. Unam. (Ed.), *Biodegradación de compuestos orgánicos industriales*. Mexico.
- Noyola, A. (2003). Seminario Internacional sobre Métodos Naturales para el Tratamiento de Aguas Residuales *Agua. Tendencias en el tratamiento de aguas residuales domésticas en Latinoamérica*. caeratgene, Colombia.

- Olaniran, A. O., Pillay, D., & Pillay, B. (2006). Biostimulation and bioaugmentation enhances aerobic biodegradation of dichloroethenes. *Chemosphere*, 63(4), 600-608. doi: 10.1016/j.chemosphere.2005.08.027
- Omri, I., Aouidi, F., Bouallagui, H., Godon, J. J., & Hamdi, M. (2013). Performance study of biofilter developed to treat H₂S from wastewater odour. *Saudi J Biol Sci*, 20(2), 169-176. doi: 10.1016/j.sjbs.2013.01.005
- Orantes, J. C., & Gonzalez-Martinez, S. (2003). A new low-cost biofilm carrier for the treatment of municipal wastewater in a moving bed reactor. *Water Sci Technol*, 48(11-12), 243-250.
- Pierra, M., Carmona-Martinez, A. A., Trably, E., Godon, J. J., & Bernet, N. (2015). Specific and efficient electrochemical selection of *Geothrixobacter subterraneus* and *Desulfuromonas acetoxidans* in high current-producing biofilms. *Bioelectrochemistry*. doi: 10.1016/j.bioelechem.2015.02.003
- PRESIDENCIA DE LA REPÚBLICA DE COLOMBIA. (2010). *Decreto 3930*.
- Presidencia de la Republicade Colombia. (1998). *Decreto 475*.
- Qasim, G. (1997). *Recycling of Sewage Water and Industrial Effluent Using EM Technology*. (MSc), University of Agriculture, Faisalabad, Pakistan.
- Ritter, WF. (1989). Odour control of livestock wastes: State-of-the-art in North America. *J. Agric. Eng. Res*, 42, 51-62.
- Sanchez, J. (2003). *Evaluacion y monitoreo microbiologico y fisicoquimico de una planta de tratamiento de agua residual por rizofiltracion, en una empresa productora dediscos compactos* (Microbiologia Industrial), Pontificia Universidad Javeriana, Bogota, Colombia.
- Sangakkara, R. (2002). The Technology of effective microorganisms – Case Studies of application: Royal Agricultural College, Cirencester, UK Research Activities.
- Shangguan, H., Liu, J., Zhu, Y., Tong, Z., & Wu, Y. (2015). Start-up of a spiral periphyton bioreactor (SPR) for removal of COD and the characteristics of the associated microbial community. *Bioresour Technol*, 193, 456-462. doi: 10.1016/j.biortech.2015.06.151
- Sharifuddin, HAH. (1993). *Nature farming research in Malaysia: effect of organic amendment and EM on crop production*. Paper presented at the Proceedings 3rd Intl. Conference on Kyusei Nature Farming, Santa Barbara, California U.S.A.
- Shintani, M. (2000). *Organic fertilizer – Managing banana residues with Effective Microorganisms*. Paper presented at the Proceedings of the 13th International Scientific Conference of IFOAM. Alfoeldi T, FiBL, Basel, Switzerland.
- Smet, E., & Van Langenhove, H. (1998). Abatement of volatile organic sulfur compounds in odorous emissions from the bio-industry. *Biodegradation*, 9(3-4), 273-284.
- Sousa, J., & Foresti, E. (1996). Domestic sewage treatment in an up-flow anaerobic blanket – sequencing batch reactor system. *Journal Water Science Technology*, 33(11), 73-84.
- Spoelstra, SF. (1977). Simple phenols and indoles in anaerobically stored piggery wastes. *J. Sci. Fd. Agric*, 28, 415-423.
- Steel, RGD., & Torrie, JH. (1980). *Principles and procedures of statistics*. New York, USA.

- Sterling, CR. (1987). *The detection of Giardia and Cryptosporidium from water sources using monoclonal antibodies*. University of Arizona, Tucson.
- Tawfik, A., Klapwijk, B., Gohary, F., & Lettinga, G. (2002). Treatment of anaerobically pre-treated domestic sewage by a rotating biological contactor. *Water Res*, 36(8), 147-155.
- Tawfik, A., Klapwijk, B., Van Buuren, J., Gohary, F., & Lettinga, G. (2004). Physico-chemical factors affecting the E. coli removal in a rotating biological contactor (RBC) treating UASB effluent. *Water Res*, 38(7), 1081-1088.
- Tawfik, A., Zeeman, G., Klapwijk, B., Sanders, W., Gohary, F., & Lettinga, G. (2003). Treatment of domestic sewage in a combined UASB/RBC system. Process optimization for irrigation purposes. *Journal Water Science Technology*, 48(7), 131-138.
- Torres, P., & Foresti, E. (2001). Domestic sewage treatment in a pilot system composed of UASB and SBR reactors. *Journal Water Science Technology*, 44(6), 247-253.
- Unda, OF. (1999). *Ingenieria sanitaria aplicada al saneamiento y salud pública*. Mexico: Editorial Limusa S.A. .
- Van Craeynest, K., Dewulf, J., Vandeburie, S., & Van Langenhove, H. (2003). Removal of trichloroethylene from waste gases via the peroxone process. *Water Sci Technol*, 48(3), 65-72.
- Vieira, S. (1988). Anaerobic Treatment of Domestic Sewage in Brazil - Research Results and Full-scale Experience. *Anaerobic Digestion, 5th International Symposium on Anaerobic Digestion* (pp. 185-195). Boloña (Italia).
- Vieira, S., & Souza, M. (1986). Development of technology for the use of the UASB reactor in domestic sewage treatment. *Journal Water Science Technology*, 18(17), 221-238.
- Von-Sperling, M, & Chernicharo, C. . (2005). *Biological Wastewater Treatment in Warm Climate Regions*. Brasil.
- Von Sperling, M. (1995). Comparison among the most frequently used systems for wastewater treatment in developing countries. International symposium on technology transfer. *Journal Water Science Technology*, 33(13), 59-72.
- von Sperling, M., Freire, VH., & Chernicharo, CAL. . (2001). Performance Evaluation of a UASB–Activated Sludge System Treating Municipal Wastewater. *Wat.Sci.Technol*, 43(11), 323-328.
- Wei, M., Bai, Y., Ao, M., Jin, W., Yu, P., Zhu, M., & Yu, L. (2013). Novel method utilizing microbial treatment for cleaner production of diosgenin from *Dioscorea zingiberensis* C.H. Wright (DZW). *Bioresour Technol*, 146, 549-555. doi: 10.1016/j.biortech.2013.07.090
- Zhao, Y., Chen, Y., Zhang, D., & Zhu, X. (2010). Waste activated sludge fermentation for hydrogen production enhanced by anaerobic process improvement and acetobacteria inhibition: the role of fermentation pH. *Environ Sci Technol*, 44(9), 3317-3323. doi: 10.1021/es902958c
- Zhao, Y., Fang, Y., Jin, Y., Huang, J., Ma, X., He, K., . . . Zhao, H. (2015). Microbial community and removal of nitrogen via the addition of a carrier in a pilot-scale duckweed-based wastewater treatment system. *Bioresour Technol*, 179, 549-558. doi: 10.1016/j.biortech.2014.12.037

Zhu, Y., Li, S., Li, D., Liu, C., & Ma, F. (2014). Bioflocculation behaviours of microbial communities in water treatment. *Water Sci Technol*, 69(4), 694-702. doi: 10.2166/wst.2013.746