

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN  
PROTOTIPO DE REACTOR UASB PARA EL  
TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE  
LÀCTEOS DEL CESAR EN VALLEDUPAR.**

**ACOSTA TORRES JESID YESNEIDER  
PAVA MORALES HECTOR ANTONIO**

**UNIVERSIDAD POPULAR DEL CESAR  
FACULTAD DE INGENIERIAS Y TECNOLOGIAS  
INGENIERIA AMBIENTAL Y SANITARIA  
VALLEDUPAR-CESAR**

**2019**

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN  
PROTOTIPO DE REACTOR UASB PARA EL  
TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE  
LÀCTEOS DEL CESAR EN VALLEDUPAR**

**ACOSTA TORRES JESID YESNEIDER  
PAVA MORALES HECTOR ANTONIO**

**MSc LUIS FRANCISCO RAMÍREZ HERNÁNDEZ  
Director**

**MSc KARINA PAOLA TORRES CERVERA  
Co-Director**

**Proyecto de grado, como requisito para optar  
el título de Ingeniero Ambiental y Sanitario.**

**UNIVERSIDAD POPULAR DEL CESAR  
FACULTAD DE INGENIERIAS Y TECNOLOGIAS  
INGENIERIA AMBIENTAL Y SANITARIA  
VALLEDUPAR-CESAR**

**2019**

**Nota de aceptación**

---

---

---

---

**Firma del presidente del jurado**

---

**Firma del jurado**

---

## **DEDICATORIA**

Dedico este trabajo de grado primeramente a Dios, a nuestro padre celestial que me brindó las capacidades y virtudes que fueron necesarias en el día a día de este largo y hermoso recorrido como estudiante de pregrado. Gracias padre celestial porque siempre me llenaste de fe y esperanza, indispensable para avanzar cada día en este proyecto. Dedico este trabajo de grado a mi querida madre Meyber Morales, cuyo amor lo vi reflejado día tras día, en cada uno de sus consejos, en cada esfuerzo que hizo para que me formara como profesional. En memoria de mi padre Héctor Pava, dedico este trabajo de grado, con la convicción de que desde el cielo me brindaste tu amor, protección y fuerza para continuar con este proceso; orgulloso me siento de ser tu hijo y de tener la dicha de dedicarte este trabajo que desde el cielo me ayudaste a forjar.

Al Ingeniero Luis Francisco Ramírez, por todo su apoyo técnico y aporte de conocimientos desde su papel como director de este trabajo de grado.

A mi estimada Ingeniera Karina Torres Cervera, por toda su entrega como docente y colaboración en todo este proceso largo, gracias por compartir todos sus conocimientos, consejos y recomendaciones.

A todos los docentes que hicieron parte de todo mi proceso de formación profesional, agradezco infinitamente a cada uno de ustedes, me siento orgulloso de ser Upecista.

A mis hermanos, tíos, tías, primos que siempre siguieron de cerca mi formación, esto es para ustedes con mucho amor.

A mis amigos, mi otra familia sin duda alguna, siempre fueron un apoyo incondicional en toda esta etapa, a cada uno de ustedes los llevo en mi corazón, no hay duda de que son los mejores.

***Héctor Antonio Pava Morales***

Dedico este proyecto principalmente a Dios, por haberme dado la vida, la sabiduría y la paciencia necesaria para alcanzar este gran logro en mi vida. A mi madre por su apoyo incondicional, sus consejos, comprensión y amor, a pesar de las dificultades siempre estuvo allí cuando más la necesitaba.

Quiero expresar mi sincero agradecimiento especialmente a la Ing. Karina Paola Torres Cervera por su apoyo, motivación y haber confiado en mí e hicieramos parte de este proyecto. Al Ing. Luis Francisco Ramírez Hernández y a mi compañero de proyecto Héctor Antonio Pava Morales por los conocimientos que me brindaron. Por último, gracias a todas esas personas que me animaron en este largo camino.

***Jesid Yesneider Acosta Torres***

## **AGRADECIMIENTOS**

Queremos expresar nuestros más sinceros agradecimientos a la Empresa Lácteos del Cesar LTDA, por abrirnos sus puertas y estar dispuestos a contribuir con la realización de esta tesis de grado. Esto es muestra del compromiso por la academia y de contribuir en mejorar la calidad del ambiente.

A la Universidad Popular del Cesar, por darnos la oportunidad de formarnos como profesionales íntegros y por toda la colaboración prestada con la infraestructura física, equipos y demás elementos necesarios para realizar el proyecto.

A todas las personas que aportaron sus conocimientos, docentes, futuros colegas, agradecemos cada aporte valioso en la elaboración de este proyecto.

## CONTENIDO

1	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	1
1.1	FORMULACIÓN DEL PROBLEMA .....	3
2	JUSTIFICACIÓN .....	4
3	OBJETIVOS .....	5
3.1	OBJETIVO GENERAL .....	5
3.2	OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	5
4	MARCO REFERENCIAL .....	6
4.1	ANTECEDENTES.....	6
4.2	MARCO TEÓRICO .....	13
4.2.1	Aguas residuales.....	13
4.2.2	Clasificación de las aguas residuales.....	13
4.2.3	Tratamiento biológico de aguas residuales .....	15
4.2.4	Digestión anaerobia .....	15
4.2.5	Etapas de la digestión anaerobia .....	18
4.2.6	Índice de biodegradabilidad .....	22
4.2.7	Reactores uasb (Upflow Anaerobic Sludge Blanket).....	23
4.2.8	Variables de seguimiento en un reactor uasb .....	27
4.3	MARCO CONCEPTUAL .....	30
4.4	MARCO CONTEXTUAL .....	31
4.5	MARCO LEGAL.....	34
4.6	MARCO INSTITUCIONAL .....	35
4.6.1	Reseña histórica.....	35
4.6.2	Misión.....	35
4.6.3	Visión .....	35
4.6.4	Principios y valores .....	35
5	MARCO METODOLÓGICO .....	36

5.1	TIPO DE INVESTIGACIÓN .....	36
5.2	POBLACIÓN Y MUESTREO .....	36
5.3	DESARROLLO METODOLÓGICO.....	37
5.3.1	ETAPA 1: Diseño del reactor UASB.....	37
5.3.2	ETAPA 2: Caracterización mediante pruebas fisicoquímicas de las aguas residuales antes y después del reactor: .....	40
5.3.3	ETAPA 3: Eficiencia del reactor posterior a su implementación....	47
5.3.4	ETAPA 4: Aplicativo móvil de simulación hidráulico para el tratamiento de aguas residuales de industrias lácteas Valledupar- Cesar. ....	47
5.4	PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	49
5.4.1	Diseño del reactor uasb .....	49
5.4.2	Caracterización fisicoquímica del agua antes del tratamiento.....	52
5.4.3	Eficiencia del reactor uasb .....	55
5.4.4	Aplicativo móvil de seguimiento hidráulico y de parámetros fisicoquímicos.....	62
6	CONCLUSIONES.....	73
7	RECOMENDACIONES .....	75
8	BIBLIOGRAFÍA .....	76
9	ANEXOS .....	80

## LISTA DE FIGURAS

<b>FIGURA 1:</b> BALANCE ANAEROBIO DE LA MATERIA.....	16
<b>FIGURA 2:</b> FASES DE LA DIGESTIÓN ANAEROBIA .....	22
<b>FIGURA 3:</b> DIAGRAMA ESQUEMÁTICO DE UN REACTOR UASB .....	24
<b>FIGURA 4:</b> SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS QUE INCLUYE UN REACTOR UASB Y UNA ETAPA DE POST-TRATAMIENTO AERÓBICO. ....	26
<b>FIGURA 5:</b> UBICACIÓN GEOGRÁFICA DEL MUNICIPIO DE VALLEDUPAR	32
<b>FIGURA 6.</b> BOTÓN DE INICIO DE LA APLICACIÓN.....	63
<b>FIGURA 7.</b> PARÁMETROS DEL REACTOR.....	64
<b>FIGURA 8.</b> VENTANA DE CONFIGURACIÓN.....	65
<b>FIGURA 9.</b> RESULTADOS DE PARÁMETROS A LA ENTRADA DEL REACTOR .....	69
<b>FIGURA 10.</b> RESULTADOS DE PARÁMETROS A LA SALIDA DEL REACTOR. .....	70
<b>FIGURA 11.</b> RESULTADOS DE PARÁMETROS A LA SALIDA DEL REACTOR COMPARADOS CON LOS LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES. ....	71
<b>FIGURA 12.</b> EFICIENCIA EN TÉRMINOS DE REMOCIÓN DE DQO TOTAL Y DQO SOLUBLE.....	72

## LISTA DE TABLAS

<b>TABLA 1:</b> VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LOS TRATAMIENTOS ANAEROBIOS .....	17
<b>TABLA 2:</b> FUNDAMENTOS DEL REACTOR UASB.....	24
<b>TABLA 3:</b> PARÁMETROS DE DISEÑO DEL REACTOR UASB.....	38
<b>TABLA 4:</b> PARÁMETROS DE EVALUACIÓN Y SEGUIMIENTO .....	41

<b>TABLA 5:</b> DEMANDA QUÍMICA DE OXIGENO TOTAL DEL EFLUENTE.....	52
<b>TABLA 6:</b> DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO SOLUBLE DEL EFLUENTE..	52
<b>TABLA 7:</b> TURBIEDAD EN EL EFLUENTE.....	53
<b>TABLA 8:</b> SÓLIDOS DISUELTOS TOTALES .....	53
<b>TABLA 9:</b> PH, ACIDEZ, TEMPERATURA, DBO5, GRASAS & ACEITE Y SST	54
<b>TABLA 10:</b> RESULTADOS EN EL AFLUENTE Y VALORES MÁXIMOS PERMISIBLES DE LA RESOLUCIÓN 0631 DE 2015 .....	56
<b>TABLA 11:</b> VALORES DE DQO Y VELOCIDAD DE CARGA ORGÁNICA.....	60
<b>TABLA 12:</b> VENTANA DE CONFIGURACIÓN DE CADA PRUEBA FISICOQUÍMICA .....	66

## **ANEXOS**

<b>ANEXO A.</b> RESULTADO CARACTERIZACIÓN LÁCTEOS DEL CESAR LTDA	80
<b>ANEXO B.</b> CARACTERIZACIÓN DE LA DBO5 Y GRASAS & ACEITES A LA SALIDA DEL REACTOR.....	82
<b>ANEXO C.</b> FORMATOS DE ASISTENCIA A EL LABORATORIO DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA .....	83
<b>ANEXO D.</b> PLANO DEL REACTOR UASB .....	86
<b>ANEXO E.</b> MONTAJE Y PUESTA EN MARCHA DEL REACTOR. ....	87
<b>ANEXO F.</b> ESTIMACIÓN DE PARÁMETROS COMO DQO, ACIDEZ, SÓLIDOS DISUELTOS, PH Y TEMPERATURA. ....	88
<b>ANEXO G.</b> MUESTRAS A LA ENTRADA Y SALIDA DEL REACTOR .....	89

## INTRODUCCIÓN

Las aguas residuales a lo largo de la historia, se han convertido en una problemática mundial. “Es muy considerable la proporción de aguas residuales que se vierten en el medio ambiente sin que se hayan recogido o tratado previamente. Esto es especialmente cierto en las naciones de bajos ingresos donde sólo se trata un 8% de las aguas residuales domésticas e industriales, un porcentaje muy escaso si se compara con el 70% registrado en los países de ingresos altos. Debido a esa falta de tratamiento, en muchas regiones del mundo se vierten aguas residuales contaminadas por bacterias, nitratos, fosfatos y disolventes en lagos y ríos que van a parar al mar, con las consiguientes repercusiones negativas para el medio ambiente y la salud pública” (UNESCO, 2017). Las aguas residuales generadas en los procesos de Lácteos del Cesar, no son tratadas con ninguna tecnología de tratamiento de agua residual, esto agudiza la problemática ambiental del río Cesar, ya que la eficiencia de remoción del STAR Salguero, disminuye en gran medida. El principal aporte de esta investigación, es entregar una tecnología de bajo costo para el tratamiento de aguas residuales de origen lácteo, apoyada de una herramienta práctica para el monitoreo de los parámetros físicos y químicos del agua y que a su vez se convierte en una herramienta innovadora en el tratamiento de las aguas residuales industriales.

Para realizar la investigación, se revisó información secundaria y a partir de esta, se realizó el diseño del reactor a escala piloto, con una sección circular, con altura de 0,5 m, diámetro de 12 cm y grosor de 3 mm. El reactor se alimentó con un gasto de  $3,53 \times 10^{-3}$  L/minuto y un volumen útil de 3,517 litros. Seguidamente se caracterizó el agua residual proveniente de Lácteos del Cesar, con el fin de determinar cada parámetro fisicoquímico evaluado en el reactor. Realizada la caracterización, se estimó el índice de biodegradabilidad, para constatar que el afluente, se puede tratar por vía biológica. El índice de biodegradabilidad (DBO5/DQO) para este caso fue de 0,835, lo que indica que es fácilmente biodegradable por vía biológica. El reactor

tuvo un periodo de operación de 3,5 meses, de los cuales 50 días fueron para aclimatar el lodo y llevarlo a una etapa de textura granular y óptima para el tratamiento. Posterior a ello, se operó el reactor con agua residual y se caracterizó el efluente o salida del reactor. Se calculó la eficiencia del tratamiento en términos de remoción de DQO total, el cual obtuvo una eficiencia de 85,71% y DQO soluble con una eficiencia de 75%. Una vez se obtuvieron todos datos de laboratorio, se realizó el aplicativo móvil para obtener esos datos de manera fácil, práctica y en tiempo real.

Inicialmente al evaluar la caracterización del afluente (antes de la entrada al reactor), se compararon los parámetros con la resolución 0631 en sus artículos 12 y 16 para aguas residuales no domesticas de procesamiento de lácteos. Parámetros como DQO, DBO5, Grasas y Aceites y Sólidos Suspendidos Totales, no cumplen con los valores máximos permisibles por la normativa. De igual manera, después de realizada la caracterización en el efluente (salida) del reactor, se constató que dichos parámetros cumplen con los valores máximos permisibles por la resolución. El reactor mostró una buena tasa de remoción de materia orgánica en términos de DQO total y DQO soluble, con valores de 85,71% y 75% respectivamente. Los sistemas anaerobios de tratamiento de aguas residuales, muestran una buena eficiencia en zonas de clima cálido, por lo que la temperatura juega un papel importante en la cinética de crecimiento microbiano; además de que presentan bajo costo de operación, en comparación a sistemas de tratamiento de aguas residuales compactos.

## 1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Las aguas residuales, servidas o negras, son generadas después de haber sido utilizada en cualquier actividad de carácter doméstico, industrial u otro tipo. *Las aguas servidas han mostrado ser un gran obstáculo en términos de salubridad, higiene y salud pública; desde mediados de 1848 el brote de Cólera que se presentó en Europa y otras latitudes por ingerir aguas contaminadas John Snow, la epidemia de cólera y el nacimiento de la epidemiología moderna*<sup>1</sup>, hasta la actualidad en la que el hombre ha tenido que implementar mecanismos para darle tratamiento eficaz a las aguas servidas, con el fin de mitigar los problemas de salud pública, higiene y todo lo referente al ambiente. Por otro lado, la producción de aguas residuales industriales en el mundo es cada vez mayor teniendo en cuenta, la alta tasa de crecimiento demográfico y la necesidad de satisfacer necesidades, mediante procesos industriales de transformación de materias primas en productos elaborados y tecnificados. En Colombia, el manejo de los residuos líquidos, debe de ser un compromiso estatal y de todos los organismos involucrados en el ejercicio tal y como lo dice la ley. *El hecho de considerar al agua como un recurso, en el que, el alcance de los posibles controles se extiende al aprovechamiento del recurso y de su afectación, tal como se estableció en los criterios de calidad para su destinación a diferentes usos y a las cargas máximas permisibles para vertimientos tanto de aguas residuales municipales como de aguas residuales industriales*<sup>2</sup>.

Lácteos del Cesar, es una empresa privada dedicada al procesamiento de productos lácteos en Valledupar. Actualmente la empresa posee una producción media de aguas residuales de origen lácteo de 0,437 L/s; la cual no posee ningún

---

<sup>1</sup> Cerdal, Jaime; Valdivia, Gonzalo, John Snow; la epidemia del cólera y el nacimiento de la epidemiología moderna, Santiago de Chile, Revista Chilena de infectología, 2007.

<sup>2</sup> Parra, Yanneth; Londoño, Rubén. Manejo de vertimientos y desechos en Colombia. Una visión general, Universidad la Salle, Bogotá, Revista Épsilon, 2007.

tipo de tratamiento biológico o fisicoquímico y son vertidas directamente a el alcantarillado sanitario con apenas un pretratamiento en trampas de grasas. Estas aguas servidas presentan desechos sólidos y materia orgánica que incluyen leche desperdiciada y agua de la limpieza, desinfección, calefacción, refrigeración y lavado de pisos. Las tasas de flujo y contenido de materia orgánica en estos efluentes oscilan entre 0,8 a 7,0g/L de demanda química de oxígeno (DQO) (Luo, Ding, Yinhua, & Paullier, 2010). De esta manera el vertimiento de estas aguas residuales con altas concentraciones de materia orgánica suspendida y disuelta, ocasiona una problemática grande en los procesos de tratamiento de aguas residuales municipales, ya que sobrecargan y llevan al colapso del sistema de tratamiento. Es deber de la autoridad ambiental competente, hacer cumplir lo establecido en la resolución 0631 de 2015, los valores máximos permisibles para este tipo de agua residual no domestica (ARnD) y que estas medidas de control coadyuven a mitigar el impacto ambiental generado por este tipo de vertimientos.

## **1.1 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

¿Cómo será el comportamiento hidráulico del prototipo de reactor UASB durante el tratamiento de aguas residuales de industrias lácteas en condiciones de operación y variaciones de carga, tiempo de retención hidráulico y velocidad?

## 2 JUSTIFICACIÓN

En la medida en que aumenta la preocupación a nivel mundial por mantener y mejorar la calidad del medio ambiente y a su vez proteger la vida e integridad de los seres humanos, fauna y flora, es necesario proyectar y formular alternativas que contribuyan a mitigar los impactos ambientales ocasionados por las acciones al que este estudio se refiere.

El manejo, tratado y vertimiento inadecuado de las aguas residuales producto de la utilización de las aguas en una serie de actividades domésticas, industriales o en su defecto en otros usos, ha hecho que se altere drásticamente el ecosistema de la cuenca media del río Cesar. Esto se debe por un lado a la infraestructura física que se encuentra en deterioro en cuanto a funcionalidad, y por otro lado juega un papel importante el aspecto socio-cultural de la región, en el cual no existe el más mínimo grado de conciencia ambiental, al momento de hacer algún tipo de vertimiento y que a su vez no se encuentre dentro de los límites máximos permisibles por la resolución 0631 de 2015. Sumado a esto se ve reflejada la falta de autoridad por parte de la corporación al no accionar un plan de contingencia inmediato que mitigue la problemática que causan las aguas residuales no domésticas generadas en el municipio de Valledupar. Lácteos del Cesar, actualmente no cuenta con un sistema de tratamiento de las aguas generadas en su proceso de producción; de tal manera, se hace necesario crear una alternativa de tratamiento biológico, mediante estudios, pruebas y análisis que conlleven a dar solución al tratamiento de las aguas residuales de origen lácteo. Este tipo de alternativas, se lleva a cabo con la implementación de un reactor UASB, que involucran microorganismos y las condiciones óptimas que estos necesitan para su operación y posterior tratamiento de las aguas residuales, con la finalidad de dar cumplimiento con los límites máximos permisibles citados en la resolución 0631 de 2015.

### **3 OBJETIVOS**

#### **3.1 OBJETIVO GENERAL**

- Diseñar un prototipo de reactor UASB para el tratamiento de aguas residuales de Lácteos del Cesar.

#### **3.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS**

- Construir un reactor biológico como solución físico-sanitaria.
- Caracterizar los parámetros fisicoquímicos (DQO, DBO, SST, PH, ACIDEZ, GRASAS Y ACEITES) del agua residual antes y después de su tratamiento.
- Evaluar la eficiencia del reactor UASB aplicado al tratamiento de aguas residuales de Lácteos del Cesar LTDA en el municipio de Valledupar.
- Realizar un Aplicativo móvil de simulación hidráulico del reactor UASB en condiciones de operación.

## 4 MARCO REFERENCIAL

### 4.1 ANTECEDENTES

A lo largo de la historia, el hombre ha tenido que buscar la manera de tratar las aguas residuales producidas por las distintas actividades generadas luego de alguna actividad, doméstica o de cualquier otro sector. Es así como se han adelantado estudios en cuanto a reactores biológicos, como solución al tratamiento de aguas residuales industriales.

Una primera investigación local, correspondiente a (Díaz & Vega, 2013), quienes realizaron la investigación: **EFFECTO DE LA VARIACIÓN DE LA CARGA ORGÁNICA EN EL DESEMPEÑO DE UN REACTOR UASB (UPFLOW ANAEROBIC SLUDGE BLANKET) TRATANDO EFLUENTES DE UNA PLANTA EXTRACTORA DE ACEITE DE PALMA**. En la investigación se evaluó la variación de la carga orgánica en condiciones de operatividad del reactor en distintos tiempos de retención hidráulica (TRH): 24, 18 y 12h respectivamente; con una DQO del efluente de unos 32000 mg DQO/L. El reactor es totalmente anaerobio y posee un recolector de biogás, para almacenamiento del metano producido. Como principal conclusión se tiene que, para un TRH de 24 horas, el sistema obtuvo el mejor índice en cuanto a eficiencia de remoción en términos de DQO; además de la producción de biogás se incrementó a medida que la carga orgánica aumentaba y el tiempo de retención hidráulico disminuía.

Por otro lado, los reactores tipo UASB han mostrado ser eficientes en otro tipo de agua residual industrial derivado de los lácteos. Según (Parra & Campos, 2013), quienes elaboraron la investigación: **TRATAMIENTO DE LACTOSUERO ÁCIDO EN UN REACTOR UASB A DIFERENTES CARGAS CONSTANTES Y PUNTUALES**. Evaluaron el comportamiento de un reactor UASB a 3 diferentes cargas constantes de lactosuero, como principal objetivo. En esta investigación se utilizó el lactosuero ácido de la industria que produce queso tipo Oaxaca en un

reactor UASB. El reactor fue sometido a tres cargas constantes y tres cargas puntuales de lactosuero. El reactor tuvo una capacidad nominal de 2.9 L con un tiempo de retención hidráulica de 1.9 días con un flujo ascendente y cama de lodos del 40 % del volumen del reactor. Se utilizó lactosuero ácido proveniente de la elaboración de queso tipo Oaxaca obtenido de la Empresa Prounilac en Tulancingo -México. Las muestras fueron proporcionadas por la empresa, colectadas en contenedores de 10 L, llevadas diariamente al laboratorio, refrigeradas y almacenadas a 4 °C para evitar la acidificación y cambios en la composición química del lactosuero. Antes de ser alimentado el reactor, se ajustó el pH a 7 utilizando bicarbonato de sodio puro. Los lodos anaeróbicos granulados utilizados en el experimento fueron tomados de la planta de tratamiento de agua residual local. Estos lodos fueron aclimatados para la degradación de lactosuero y posteriormente los lodos generados de este proceso se podrían utilizar como fertilizante en tierras agrícolas de la región.

Se utilizó un reactor tipo UASB de vidrio con capacidad de 2,9 L e inoculado al 40 % de su capacidad con lodos anaerobios previamente adaptados, y con un tiempo de retención hidráulico (TRH) de 1,9 días; el esquema del reactor utilizado en este experimento se puede observar en la figura 1. La temperatura del experimento fue ambiental entre 18-22 °C simulando condiciones verdaderas de trabajo en planta.

El reactor UASB fue alimentado con lactosuero a través de una bomba peristáltica que alimentaba el reactor de abajo hacia arriba con flujo constante; el volumen de lactosuero utilizado diariamente era 5 litros aproximadamente. Se manejaron 3 cargas constantes y 3 cargas puntuales de lactosuero. Cada carga constante se mantuvo por 22 días aproximadamente. A cada una de las 3 cargas constantes se aplicaron, a su vez, 3 cargas puntuales; la duración de cada una de las cargas puntuales fue de 24 horas; pasado este período se esperaba a que se recupera el reactor para lo cual transcurría de 3 a 5 días aproximadamente y de nuevo se aplicaba una carga puntual.

Tanto al influente como al efluente del reactor UASB se les determinaron diariamente y hasta finalizar el experimento: demanda química de oxígeno (DQO); pH por potenciometría, azúcares totales y la proteína por la técnica de Bradford (1976). Además de los análisis anteriores, se determinaron ácidos grasos volátiles (AGV) al finalizar cada carga contante y carga puntual; estos ácidos se cuantificaron mediante cromatografía de gases con una columna capilar Elite FFAP (Crossbond Carbowax-PEG) de 30 m de longitud en un cromatógrafo de gases Perkin-Elmer. La temperatura del detector de ionización de flama fue de 250°C, la del inyector fue de 250°C y de la columna de 130°C. Para cuantificar la producción de biogás de los reactores se hizo a través de una manguera de látex instalada en la parte superior del reactor que, a su vez, iba conectada a una probeta con una solución sobresaturada salina; el biogás desplazaba la solución salina y así era cuantificada la producción de biogás. Este análisis se determinó al finalizar cada constante y carga puntual.

Los resultados obtenidos mostraron que el reactor UASB es una opción viable para el tratamiento de aguas residuales que contienen lactosuero. Las eficiencias de degradación de DQO en promedio fueron 26 % para las cargas constantes y 57 % en las cargas puntuales. El reactor tuvo un porcentaje de degradación de azúcares mayor al 95 % sin tener en cuenta las diferentes cargas manejadas. Para proteína, la degradación estuvo en un intervalo de 50-53 % para los dos tipos de cargas. Los valores de AGV y metano estuvieron dentro de los límites para un buen funcionamiento del reactor, tanto en las cargas constantes como en las cargas puntuales. Los valores de pH, aunque no fueron los esperados, estuvieron cerca de la hidrólisis y acidogénesis.

Existen estudios, en los que se han evaluado otras variables en los reactores UASB tales como la velocidad de alimentación, tal y como lo demuestran (Iñiguez & Camacho, 2011), quienes elaboraron la investigación: **EVALUACIÓN DE UN REACTOR DE MANTO DE LODO CON FLUJO ASCENDENTE (UASB) CON CAMBIOS DE VELOCIDAD DE ALIMENTACIÓN.** En este estudio se trataron, en

un reactor tipo “manto de lodo anaerobio de flujo ascendente” (UASB) de 2,500 m<sup>3</sup>, aguas residuales de una empresa de bebidas fermentadas. Se investigó principalmente el efecto por el cambio de la velocidad ascendente de alimentación de 1 a 0.5 m/h sobre la pérdida de biomasa (SSV) a la salida del reactor, así como la eficiencia de remoción de la demanda química de oxígeno (DQO) y la producción de biogás. Primero, el agua residual se envía por bombeo a dos cribas rotatorias donde se remueven los sólidos de un tamaño igual o mayor a 1 mm. De ahí, el agua residual fluye por gravedad a dos tanques de acondicionamiento donde se mezcla el agua con el auxilio de tres bombas. Luego, el agua se bombea y entra por el fondo del reactor anaerobio a través de un sistema específicamente diseñado para crear una buena distribución del agua residual en el lecho del lodo. Del digester anaerobio, el agua residual tratada pasa a un tubo vertical o compensador (tanque amortiguador para evitar que la bomba pueda trabajar en vacío) de donde el agua se manda a recirculación al digester anaerobio y al proceso de tratamiento aerobio para completar su tratamiento. El exceso de biomasa generado en el digester se remueve por bombeo. Esta biomasa va directamente a un tanque de almacenamiento de lodos o es transportada a un filtro prensa para su disposición final en un relleno sanitario. El biogás producido en el reactor anaerobio es monitoreado (por volumen y composición de CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O y H<sub>2</sub>S) y enviado a un tanque de almacenamiento para luego enviarse a calderas a través de un juego de compresores y secadores. El gas que no es utilizado en calderas es enviado a un quemador.

Las dimensiones del reactor anaerobio fueron de 9 m, 16 m y 17.38 m de alto, ancho y largo respectivamente, con un área de 278 m<sup>2</sup> (proyección en planta) y un volumen de 2,500 m<sup>3</sup>. El reactor se diseñó para tratar 5,000 m<sup>3</sup>/d de agua residual industrial, con una carga en términos de DQO de 6,000 mg/L, con las siguientes condiciones de operación: 6,672 m<sup>3</sup>/d (278 m<sup>3</sup>/h) de flujo total de alimentación (flujo de agua residual + recirculación). 3,000 m<sup>3</sup>/d (125 m<sup>3</sup>/h), de agua residual industrial promedio con una tasa de recirculación del 122%. Al arranque de la operación del

reactor, éste se inoculó con 11,000 kg de biomasa. La alimentación al reactor con el agua residual industrial estuvo determinada por la relación sustrato: microorganismos, la cual se trató de mantener siempre por debajo de 1.0 kg DQO/kgSSV. El reactor operó a una temperatura promedio de 35°C (dado que el agua residual sale caliente de la fábrica).

En cuanto a los resultados obtenidos, las características fisicoquímicas del agua residual antes (alimentación) y después del tratamiento (efluente) en términos del DQOtotal (mg/L), DQOsoluble (mg/L), SST (mg/L), SSV (mg/L) y sólidos sedimentables (mL/L), así como temperatura y pH, se muestran en la tabla 2 para las 6 semanas de investigación, en las que en cada una de ellas se estuvo cambiando el flujo ascendente de alimentación desde 1m/h para la primera semana hasta 0.5 m/h para la sexta semana. En la misma tabla 2 se muestra también el contenido de AGV (meq/L) y alcalinidad (meq/L) para el agua residual después de tratamiento (efluente del reactor). Los valores de pH del agua residual sin tratar estuvieron en un rango entre 6.8 y 7.4 por lo que no fue necesario algún ajuste antes de bombearse al reactor anaerobio, ya que el pH óptimo para un reactor de este tipo debe estar entre 6.6 y 7.6. Las eficiencias de remoción en términos de DQOtotal fueron más altas cuando el reactor anaerobio se operó con velocidades ascendentes de alimentación de 0.6 y 0.5m/h. Para ambas velocidades de alimentación, la remoción fue 87%. En cambio, el comportamiento más pobre fue para las velocidades de alimentación más altas, esto es, para las velocidades de 1 y 0.9 m/h las remociones fueron 63.2 y 65.8%, respectivamente. En términos generales, pudiera concluirse que a menor velocidad ascendente de alimentación, mayor eficiencia en el tratamiento del agua residual. En lo que respecta a la remoción en términos de la DQO soluble, las mayores eficiencias fueron para las velocidades ascendentes de alimentación de 0.8, 0.7 y 0.5 m/h, con porcentajes de remoción de 94, 95.4 y 94%, respectivamente. La eficiencia de remoción más pobre fue para la velocidad ascendente de 0.9 m/h con un valor de remoción de 78.6%. De acuerdo a los resultados de este estudio se concluye que a mayores velocidades

ascendentes de alimentación, se obtienen porcentajes más bajos de remoción de DQO soluble y total, menor volumen de agua residual tratada y menor carga orgánica al reactor, por lo que también fue menor la producción de biogás. Por otro lado, al disminuir la velocidad de alimentación, fue menor la pérdida de SST y SSV, por lo que con el tiempo esto influyó a que aumentara la cantidad de biomasa dentro del reactor. Al aumentar el volumen de agua residual tratada en el reactor anaerobio, lógicamente disminuirán los costos de operación en el tratamiento posterior aerobio, trayendo consigo un ahorro económico en los gastos de energía en la operación de los aireadores. Por otro lado, al evitar la pérdida y favorecer el aumento de la biomasa dentro del reactor anaerobio, se evita la compra constante de biomasa y se tiene la posibilidad de venderla para la operación y arranque de otros digestores.

El tratamiento anaerobio se ha aplica también a otros tipos de afluentes, tal como lo demuestran (Vacca, y otros, 2008), quienes ejecutaron la investigación: **TRATAMIENTO ANAEROBIO PARA LA REMOCIÓN DE COMPUESTOS FENÓLICOS E HIDROCARBUROS SATURADOS**. El desarrollo de este estudio pretende comprobar la aplicabilidad de un sistema de tratamiento biológico anaeróbico, en la eliminación de fenoles e hidrocarburos saturados presentes en un agua residual preparada en el laboratorio, en concentraciones iniciales consideradas tóxicas para la biomasa. Se utilizó un reactor con capacidad efectiva de 4 litros, acoplado con un cilindro para coleccionar el biogás producido en el tratamiento. Fue inoculado con 1,2 litros de lodo anaerobio tipo granular, extraído de un reactor del mismo tipo, utilizado para degradar aguas residuales cerveceras. El reactor se montó en uno de los corredores laterales del DISA, operando a temperatura ambiente; las variaciones de temperaturas exteriores estuvieron entre 27°C y 36°C, no hubo necesidad de colocar chaqueta de calentamiento al reactor. Las muestras se preparaban semanalmente y se almacenaban en una cava refrigeradora a 4°C para su conservación antes de su utilización. El caudal de alimentación del agua residual fue de 2,78 mL/min, correspondiente a un TRH=1d (tiempo de retención hidráulico fijado para el estudio). Luego de cuatro semanas de

alimentar el reactor con solución nutriente mostrada en la Tabla 1, se incorporaron los compuestos tóxicos al agua, variando la concentración de cada compuesto fenólico desde 5 hasta 20 mg/L, incrementando a razón de 5 mg/L por cada semana de funcionamiento del reactor, de manera que la biomasa pudiera aclimatarse a su presencia sin sufrir trastornos; los hidrocarburos saturados fueron incorporados al agua residual a la concentración de trabajo (20 mg/L). Es posible la aclimatación del lodo biológico anaerobio para la degradación de sustancias orgánicas, consideradas tóxicas para la biomasa, a las concentraciones utilizadas en esta investigación. Los porcentajes de remoción promedio logrados por el tratamiento biológico anaerobio fueron: 81,54% en la DQO; 33,65% para el fenol; 76,60% para el 2-clorofenol; 54,81% para el 2-nitrofenol y 77,03% para el 2,4-dimetilfenol. Los compuestos hexano y heptano estuvieron por debajo de 0,0278 mg/L y 0,0494 mg/L respectivamente, el cual corresponde a los límites de detección de dichos compuestos utilizando la técnica de cromatografía gaseosa. La eficiencia del tratamiento aplicado para la remoción de fenoles e hidrocarburos saturados, está sujeta a las condiciones de operación aplicadas. El tratamiento del agua residual en el reactor UASB, con un tiempo de retención hidráulico de 24 horas, no logró una remoción satisfactoria de los compuestos fenólicos ni de la DQO, por lo cual se requiere la aplicación de un tratamiento posterior que permita alcanzar concentraciones en el efluente, menores a las permitidas por la legislación ambiental venezolana vigente, para la descarga a cuerpos de aguas naturales.

## **4.2 MARCO TEÓRICO**

### **4.2.1 AGUAS RESIDUALES**

Las aguas residuales o servidas, AR, son aquellas que han sido usadas en la actividad doméstica o industrial. El tratamiento debe estar dirigido a reducir la concentración del elemento contaminante que afecte los parámetros de calidad para el uso definido del agua. (Orozco A. , 2005) .En general, las aguas residuales, son todas aquellas aguas que han sido utilizadas en cualquier actividad y posteriormente han sido desechadas como residuo. Las aguas se consideran residuales, cuando estas han sufrido una alteración en los parámetros físico-químicos y microbiológicos de un agua considerada potable o cruda. Por ejemplo, la Demanda Bioquímica de Oxígeno, DBO, afecta el Oxígeno Disuelto, OD de las corrientes de aguas.

### **4.2.2 CLASIFICACION DE LAS AGUAS RESIDUALES**

Las cuatro fuentes fundamentales de aguas residuales son: (1) aguas domésticas o urbanas, (2) aguas residuales industriales, (3) escorrentías de uso agrícola, (4) pluviales. (Ramalho, 1996). Aunque en el siguiente trabajo, se hará énfasis específico en las aguas residuales de tipo doméstico e industrial, también es de mucha importancia las aguas residuales producidas en la actividad agrícola y las generadas por escorrentía de lluvias.

#### **4.2.2.1 AGUAS RESIDUALES DOMESTICAS**

Las aguas residuales domesticas (ARD), según (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2014), son las procedentes de los hogares, así como las de instalaciones en las cuales se desarrollan actividades industriales, comerciales o de servicios y que correspondan a:

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

#### **4.2.2.2 AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES**

Todas las aguas residuales vertidas desde locales utilizados para efectuar cualquier actividad comercial o industrial, que no sean aguas residuales domésticas ni aguas de escorrentía pluvial. (Rodríguez, y otros, 2006). Su composición varía según el tipo de proceso industrial y aún para un mismo proceso industrial, se presentan características diferentes en industrias diferentes. Las ARI pueden tener alcalinidad o ácidos, pueden ser tóxicas y coloreadas; esto refleja su composición y tipo de materias primas utilizadas dentro del proceso industrial. Al igual que las ARD, estas poseen elevados contenidos de materia orgánica, reflejado en elevados índices de DBO.

#### **4.2.2.3 AGUAS RESIDUALES AGRICOLAS**

Son las que provienen de la escorrentía superficial de las zonas agrícolas. Se caracterizan por la presencia de pesticidas, sales, un alto contenido de sólidos en suspensión y fosfatos. La descarga de esta agua es recibida directamente por los ríos o por los alcantarillados. (Escuela de Ingeniería de Antioquia, 2009). Generalmente estos tipos de aguas residuales son generadas en las periferias municipales, es decir en la parte rural.

#### **4.2.2.4 AGUAS RESIDUALES PLUVIALES**

Son las originadas por el escurrimiento superficial de las lluvias que fluyen desde los techos, calles, jardines y demás superficies del terreno. La naturaleza de esta agua varía según su procedencia: zonas urbanas, rurales y aún dentro de estas zonas se presentan enormes variaciones según el tipo de actividad o uso del suelo que se tenga. Generalmente el volumen de aguas residuales de tipo pluvial, supera el volumen de agua residual de tipo doméstico; así mismo estas aguas generalmente deben de ser recolectadas por un sistema de alcantarillado pluvial.

### **4.2.3 TRATAMIENTO BIOLÓGICO DE AGUAS RESIDUALES**

El tratamiento biológico de aguas residuales supone la remoción de contaminantes mediante actividad biológica. La actividad biológica se aprovecha para remover principalmente sustancias orgánicas biodegradables, coloidales o disueltas, del agua residual mediante su conversión que escapan a la atmósfera y en biomasa extraíble mediante sedimentación (Romero, 2010).

### **4.2.4 DIGESTION ANAEROBIA**

La digestión anaeróbica es un proceso biológico complejo y degradativo en el cual parte de los materiales orgánicos de un sustrato (residuos animales y vegetales) son convertidos en biogás, mezcla de dióxido de carbono y metano con trazas de otros elementos, por un consorcio de bacterias que son sensibles o completamente inhibidas por el oxígeno o sus precursores (e.g. H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>). Utilizando el proceso de digestión anaeróbica es posible convertir gran cantidad de residuos, residuos vegetales, estiércoles, efluentes de la industria alimentaria y fermentativa, de la industria papelera y de algunas industrias químicas, en subproductos útiles. En la digestión anaerobia más del 90% de la energía disponible por oxidación directa se transforma en metano, consumiéndose sólo un 10% de la energía en crecimiento bacteriano frente al 50% consumido en un sistema aeróbico (Ministerio de Energía, 2011).

Es la descomposición de compuestos orgánicos en ausencia de oxígeno libre, para obtener la energía requerida para el crecimiento y mantenimiento de los organismos anaerobios. El proceso anaerobio es menos eficiente en producción de energía. La mayoría de energía liberada en el catabolismo anaerobio proveniente de la materia orgánica se va en el metano; además se genera mucho menos biomasa que en el aerobio.

En la digestión anaeróbica, los microorganismos metanogénicos desempeñan la función de enzimas respiratorios y, junto con las bacterias no metanogénicas, constituyen una cadena alimentaria que guarda relación con las cadenas enzimáticas de células aeróbicas. De esta forma, los residuos orgánicos se

transforman completamente en biogás que abandona el sistema. Sin embargo, el biogás generado suele estar contaminado con diferentes componentes, que pueden complicar el manejo y aprovechamiento del mismo.

El proceso anaeróbico se clasifica como fermentación anaeróbica o respiración anaeróbica dependiendo del tipo de aceptores de electrones. (Vamero, 2016).



**Figura 1:** Balance anaerobio de la materia

**Fuente:** Adaptado de la universidad nacional abierta y a distancia, lección 5 – digestión anaerobia, 2017

**Tabla 1:** Ventajas y desventajas de los tratamientos anaerobios

<b>VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL TRATAMIENTO ANAEROBIO</b>	
<b>VENTAJAS</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Se requiere de menor energía</li> <li>-Menor producción de lodos</li> <li>-Menor cantidad de nutrientes requeridos</li> <li>-Producción de metano, fuente potencial de energía</li> <li>-Menor volumen de los reactores</li> <li>-Con aclimatación, se pueden transformar una mayor cantidad de compuestos</li> <li>-Rápida respuesta a la adición de sustrato después de largos periodos sin alimentarse</li> </ul>
<b>DESVENTAJAS</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Largos periodos de arranques</li> <li>-Puede requerir la adición de algún ion específico o de alcalinidad</li> <li>-Puede requerir tratamientos posteriores para alcanzar la normatividad</li> <li>-No es posible la remoción de fósforo y nitrógeno</li> <li>-Son más sensibles a los efectos adversos de las bajas temperaturas en las tasas de reacción</li> <li>-Son susceptibles de perturbarse debido a sustancias tóxicas</li> <li>-Potencial producción de olores y gases corrosivos</li> </ul>

**Fuente:** Ingeniería de aguas residuales Metcalf & Eddy, 2003

## **4.2.5 ETAPAS DE LA DIGESTIÓN ANAEROBIA**

### **4.2.5.1 HIDROLISIS**

El material particulado, los biopolímeros, y en general los compuestos orgánicos complejos, principales componentes de las AR deben sufrir una Hidrolisis inicial, que los convierta en sustratos orgánicos simples, igual que en la descomposición aerobia. Los productos de la Hidrolisis son azúcares, aminoácidos, ácidos grasos volátiles de bajo peso y alcoholes. (Orozco Á. , 2005). Estos sustratos pueden ser asimilados por las bacterias acidogénicas o fermentativas (Eubacterias) para sufrir el proceso de la glucolisis antes explicado y otros procesos básicos que ocurren internamente dentro de las bacterias. La Hidrolisis de algunos sustratos simples es muy rápida, pero la de los sustratos complejos o particulado puede ser extremadamente lenta. Un ejemplo típico es el de la sacarosa, que al incorporar una molécula de agua (por ello el nombre de Hidrolisis) se descompone en dos azúcares isómeros, la Glucosa y Fructuosa.

Este término indica la conversión de compuestos orgánicos complejos e insolubles (polisacáridos, proteínas y lípidos) en otros compuestos más sencillos y solubles en agua como los azúcares, los aminoácidos, los ácidos grasos y los alcoholes. Esta etapa es fundamental para suministrar los compuestos orgánicos necesarios para la estabilización anaerobia en forma que puedan ser utilizados por las bacterias responsables de las etapas siguientes (Universidad Nacional Abierta y a Distancia, 2016).

Cualquier sustrato se compone de tres tipos básicos de macromoléculas: hidratos de carbono, proteínas y lípidos. Las proteínas constituyen un sustrato muy importante en el proceso de digestión anaeróbica debido a que además de ser fuente de carbono y energía, los aminoácidos derivados de su hidrólisis tienen un elevado valor nutricional. Las proteínas son hidrolizadas en péptidos y aminoácidos por la acción de enzimas proteolíticas llamadas proteasas. Parte de estos aminoácidos son utilizados directamente en la síntesis de nuevo material celular y el resto son degradados a ácidos volátiles, dióxido de carbono, hidrógeno, amonio

y sulfuro en posteriores etapas del proceso. La degradación de los lípidos en ambientes anaeróbicos comienza con la ruptura de las grasas por la acción de enzimas hidrolíticas denominadas lipasas produciendo ácidos grasos de cadena larga y glicerol.

La velocidad de degradación de los materiales lignocelulósicos compuestos principalmente por lignina, celulosa y hemicelulosa, es tan lenta que suele ser la etapa limitante del proceso de hidrólisis. Esto es debido a que la lignina es muy resistente a la degradación por parte de los microorganismos anaeróbicos afectando también a la biodegradabilidad de la celulosa, de la hemicelulosa y de otros hidratos de carbono. Los principales productos de la hidrólisis de la celulosa son celobiasa y glucosa, mientras que la hemicelulosa produce pentosas, hexosas y ácidos urónicos. La tasa de hidrólisis, en general, aumenta con la temperatura. La tasa de hidrólisis depende, también, del tamaño de las partículas, debido fundamentalmente a la disponibilidad de superficie para la adsorción de las enzimas hidrolíticas. Los pretratamientos físico-químicos, cuyo principal efecto es la reducción del tamaño de las partículas, producen un aumento en la tasa de hidrólisis, y si esta fase es la limitante del proceso anaerobio, supone un beneficio para el proceso general, produciendo menores tiempos de retención y tamaños de reactor menores.

#### **4.2.5.2 ETAPA FERMENTATIVA O ACIDOGÉNICA**

Los compuestos orgánicos sencillos generados en la etapa anterior son utilizados por las bacterias generadoras de ácidos, como resultado se produce su conversión en ácidos orgánicos volátiles, fundamentalmente en ácidos acético, propiónico y butírico.

Esta etapa la pueden llevar a cabo bacterias anaerobias o facultativas. Hay una gran variedad de bacterias capaces de efectuar la etapa de formación de ácidos, y además esta conversión ocurre con gran rapidez (Universidad Nacioanal Abierta y a Distancia, 2016).

Durante esta etapa tiene lugar la fermentación de las moléculas orgánicas solubles en compuestos que puedan ser utilizados directamente por las bacterias metanogénicas (acético, fórmico, H<sub>2</sub>) y compuestos orgánicos más reducidos (propiónico, butírico, valérico, láctico y etanol principalmente) que tienen que ser oxidados por bacterias acetogénicas en la siguiente etapa del proceso. La importancia de la presencia de este grupo de bacterias no sólo radica en el hecho que produce el alimento para los grupos de bacterias que actúan posteriormente, sino que, además eliminan cualquier traza del oxígeno disuelto del sistema. Este grupo de microorganismos, se compone de bacterias facultativas y anaeróbicas obligadas, colectivamente denominadas bacterias formadoras de ácidos.

#### **4.2.5.3 ETAPA ACETATOGENICA**

Mientras que algunos productos de la fermentación pueden ser metabolizados directamente por los organismos metanogénicos (H<sub>2</sub> y acético), otros (etanol, ácidos grasos volátiles y algunos compuestos aromáticos) deben ser transformados en productos más sencillos, como acetato (CH<sub>3</sub>COO<sup>-</sup>) e hidrógeno (H<sub>2</sub>), a través de las bacterias acetogénicas. Representantes de los microorganismos acetogénicos son *Syntrophomonas wolfei* y *Syntrophobacter wolini*. Un tipo especial de microorganismos acetogénicos, son los llamados homoacetogénicos. Este tipo de bacterias son capaces de crecer heterotróficamente en presencia de azúcares o compuestos monocarbonados (como mezcla H<sub>2</sub>/CO<sub>2</sub>) produciendo como único producto acetato. Al contrario que las bacterias acetogénicas, éstas no producen hidrógeno como resultado de su metabolismo, sino que lo consumen como sustrato. Según se ha estudiado, el resultado neto del metabolismo homoacetogénicos permite mantener bajas presiones parciales del hidrógeno y, por tanto, permite la actividad de las bacterias acidogénicas y acetogénicas.

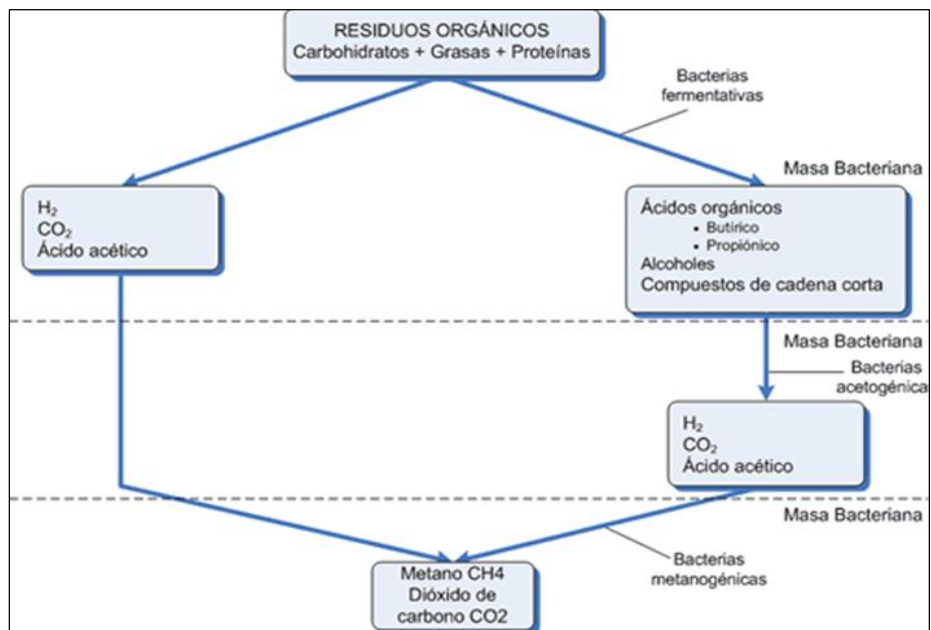
Los principales microorganismos homoacetogénicos que han sido aislados son *Acetobacterium woodii* o *Clostridium aceticum*. A esta altura del proceso, la mayoría de las bacterias anaeróbicas han extraído todo el alimento de la biomasa y, como resultado de su metabolismo, eliminan sus propios productos de desecho de sus

células. Estos productos, ácidos volátiles sencillos, son los que van a utilizar como sustrato las bacterias metanogénicas en la etapa siguiente (Ministerio de Energía, 2011).

#### **4.2.5.4 ETAPA METANOGENICA**

Las bacterias intervinientes en esta etapa pertenecen al grupo de las achibacterias y poseen características únicas que las diferencian de todo el resto de las bacterias por lo que las diferencian de todo el resto de las bacterias por lo cual, se cree que pertenecen a uno de los géneros más primitivos de vida colonizadoras de la superficie terrestre. La transformación final cumplida en esta etapa tiene como principal sustrato el acético junto a otros ácidos orgánicos de cadena corta y los productos finales liberados están constituidos por el metano y el dióxido de carbono (Textos científicos, 2016).

El siguiente gráfico resume las distintas características de cada una de las etapas vistas que por simplificación se han agrupado en dos fases (ácida que involucra la de hidrólisis y acidificación y la metanogénica), con los principales compuestos químicos intervinientes.



**Figura 2:** Fases de la digestión anaerobia

Fuente: Adaptado de Textos científicos, 2017

#### 4.2.6 ÍNDICE DE BIODEGRADABILIDAD

La posibilidad de establecer relaciones constantes entre los diferentes parámetros de medida de contenido de materia orgánica depende principalmente del tipo de agua residual y de su origen. De todos ellos, el más complicado de interrelacionar resulta ser la DBO5, debido a los diferentes problemas e inconvenientes que resulta de su análisis. No obstante, para aguas domésticas brutas típicas, el coeficiente DBO5/DQO se halla en el intervalo 0.4-0.8. La DQO de un agua residual suele ser mayor que su correspondiente DBO, siendo esto debido al mayor número de compuestos cuya oxidación tiene lugar por vía química frente a los que oxidan por vía biológica (López & Leal, 2013).

En muchos tipos de aguas residuales es posible establecer una relación entre los valores de la DBO y la DQO. Ello puede resultar de gran utilidad dado que es posible determinar la DQO en un tiempo de 3 horas, frente a los 5 días necesarios para determinar la DBO. Una vez determinada la correlación entre ambos parámetros,

pueden emplearse las medidas de la DQO para el funcionamiento y control de las plantas de tratamiento (Metcalf & Eddy, 2004).

#### **4.2.7 REACTORES UASB (UPFLOW ANAEROBIC SLUDGE BLANKET)**

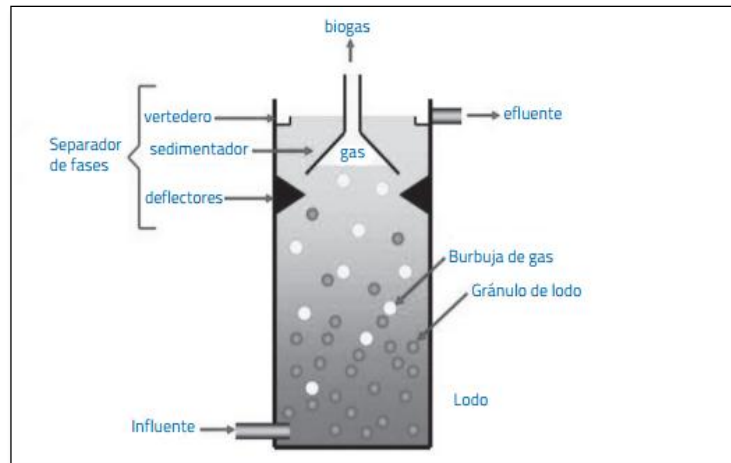
El tratamiento anaeróbico es hoy una parte central de los sistemas de tratamiento de aguas para protección ambiental y conservación de recursos y puede combinarse con otros métodos para constituir un método sustentable para el tratamiento de efluentes. Como se ve, los procesos anaeróbicos se han usado por más de un siglo para el tratamiento de ARD y ARI. Sin embargo, a pesar de su temprano desarrollo, estos sistemas no fueron utilizados masivamente como tratamiento secundario (etapa biológica) de aguas residuales hasta el desarrollo del reactor UASB. Este reactor fue inventado a fines de los años 70 por el Dr. Gatze Lettinga y sus colaboradores de la Universidad de Wageningen, Holanda (Fernandez & Seghezzeo, 2015).

##### **4.2.7.1 EL REACTOR UASB**

El éxito del concepto UASB radica en el establecimiento de un denso manto de lodo en la zona inferior del reactor, en el cual tienen lugar la totalidad de los procesos bacterianos que conducen a la eliminación de la contaminación orgánica. Este manto o lecho de lodo se forma por acumulación de sólidos suspendidos y bacterias en crecimiento (Fernandez & Seghezzeo, 2015). La turbulencia generada por el flujo de ARD que ingresa al reactor y el burbujeo ocasionado por la producción de biogás son suficientes para asegurar un buen contacto entre el ARD y la biomasa bacteriana (ver esquema en la Figura 3).

Bajo ciertas condiciones, se observó el desarrollo de flóculos y gránulos bacterianos densos con excelentes propiedades de sedimentación que no son susceptibles de ser lavados fuera del reactor por el flujo ascendente aplicado, dentro de un amplio rango de velocidades ascensionales. La turbulencia natural que se

origina por la producción de biogás provee mezclado interno y asegura un buen contacto efluente-biomasa en los sistemas UASB.



**Figura 3:** Diagrama esquemático de un reactor UASB

**Fuente:** Adaptado de Diseño de reactores UASB, 2016

**Tabla 2:** Fundamentos del reactor UASB

Flujo ascendente del efluente a tratar
Generación de un manto de lodos floculento o granular
Buenas propiedades de sedimentación de lodos, si no está expuesto a agitación mecánica intensa (destrucción de agregados)
Contacto con el sustrato provisto por la agitación del propio gas producido y por el flujo ascendente del influente
Retención de gránulos en el dispositivo de separación gas-sólido (en contra de la velocidad ascensional y la producción de biogás). Pendiente del separador: 50°

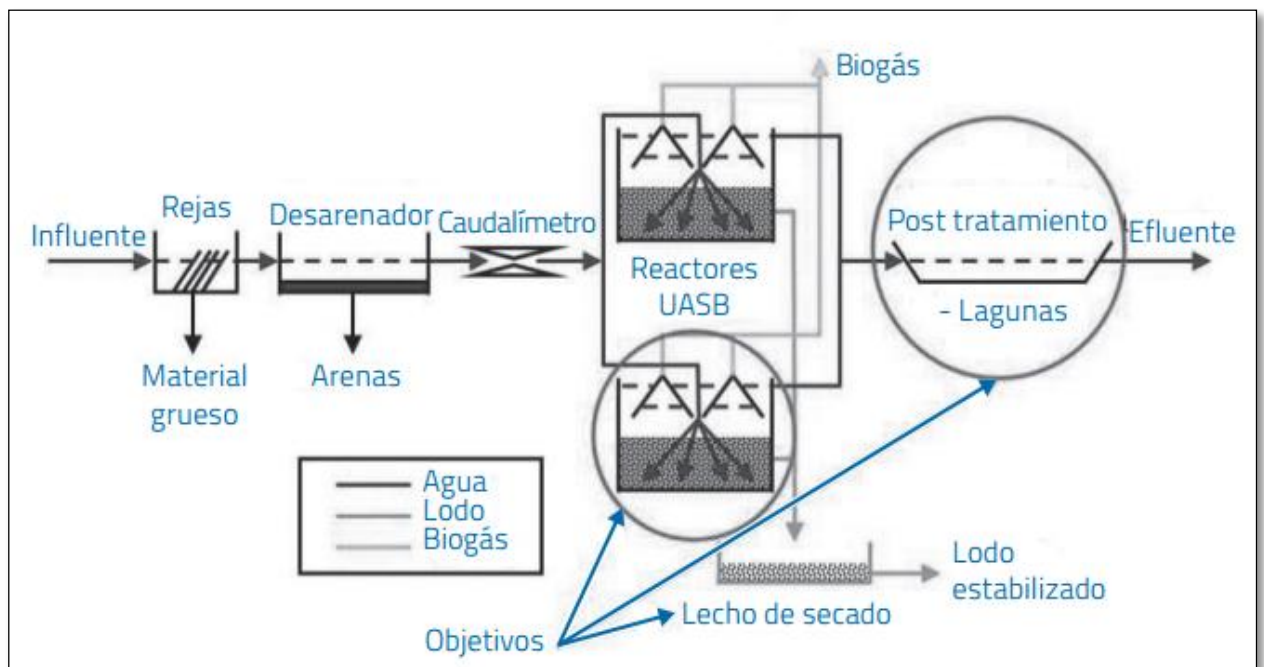
**Fuente:** Diseño de reactores UASB, 2015

#### 4.2.7.2 REACTOR UASB EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

Diversas configuraciones de proceso son posibles para el diseño de una planta de tratamiento en la que se incluya un reactor UASB como etapa principal de tratamiento biológico. El reactor UASB puede reemplazar parcial o totalmente

muchas de las unidades requeridas en sistemas aeróbicos convencionales (tales como barros activados o lechos percoladores), pero siempre es necesario considerar la utilización de desarenadores, rejas de distintos diámetros para la retención de materiales gruesos, y lechos para el secado de los barros biológicos generados. El efluente de los reactores UASB normalmente necesita tratamiento adicional para remoción de Demanda Química y/o Bioquímica de Oxígeno (DQO/DBO), material orgánico coloidal, patógenos, olores, entre otros parámetros de calidad del efluente, para alcanzar las normas específicas de descarga o reúso. Este post-tratamiento puede ser llevado a cabo en sistemas aeróbicos tales como las lagunas de estabilización u otros métodos convencionales (lodos activados, lechos percoladores, etc.). La incorporación de una etapa anaeróbica reduce los requerimientos de superficie de todo el sistema de tratamiento (ver comparación entre un sistema aeróbico y uno anaeróbico en la

**Figura 4.** El resultado final es una planta de tratamiento que es más pequeña, más fácil de operar que un sistema aeróbica convencional, requiere menos insumos, produce energía y sub-productos que pueden ser reutilizados.



**Figura 4:** Sistema de tratamiento de aguas residuales domésticas que incluye un reactor UASB y una etapa de post-tratamiento aeróbico.

**Fuente:** Adaptado de Diseño de reactores UASB, 2015

#### **4.2.8 VARIABLES DE SEGUIMIENTO EN UN REACTOR UASB**

Las variables o parámetros que determinan el funcionamiento de un reactor UASB, se encuentra relacionada ya sea con el agua residual o el afluente a tratar, el lodo, el reactor (consideraciones de diseño), el contacto del agua residual con el lodo y la forma como esté distribuido en el interior del reactor. Dichas variables son:

- Temperatura
- pH
- DBO5
- DQO
- Ácidos grasos volátiles
- Alcalinidad
- Sólidos
- Fosforo
- Nitrógeno

##### **4.2.8.1 TEMPERATURA**

La temperatura afecta la actividad de los microorganismos, determina la cantidad de energía neta producida e influye en la relación pH-alcalinidad. Los ambientes anaeróbicos en relación con la temperatura óptima de crecimiento pueden subdividirse en tres categorías:

Psicrofílico (0 a 20°C)

Mesofílico (20 a 40°C)

Termofílico (45 a 65°C)

Si el intervalo de temperatura en el reactor cambia, es necesario arrancar el reactor de nuevo. En el rango mesofílico, la actividad y el crecimiento de las bacterias disminuye a la mitad por cada 10°C de descenso por debajo de 35°C.

#### **4.2.8.2 PH**

Los diferentes grupos bacterianos presentan niveles de actividad satisfactorios a pH próximos pero un poco diferentes; los hidrolíticos entre 7,2 y 7,4, los acetogénicos entre 6,5 y 7,5.

Cuando la capacidad metanogénica está continuamente sobrecargada y no se añade la base necesaria para neutralizar los AGV presentes, el sistema de tratamiento se convertirá en un reactor de acidificación y el pH del efluente estará entre 4,5 y 5. Es una medida de la materia orgánica en la muestra equivalente, a la cantidad de oxígeno que se puede oxidar químicamente en un medio ácido. Sólidos Su determinación es una prueba indispensable para la operación de reactores biológicos que, junto con otros parámetros, proporciona información de la eficiencia de remoción del proceso, e indirectamente, de la concentración de biomasa bacteriana en el reactor.

#### **4.2.8.3 DBO5**

La demanda de oxígeno de las aguas residuales es resultado de 3 tipos de materiales: orgánicos carbónicos (fuente de alimento por organismos aeróbicos), nitrógeno oxidable (sirven como alimentación para bacterias específicas) y compuestos químicos reductores (iones ferrosos, sulfitos y sulfatos). La importancia de esta prueba radica en que es un parámetro ambiental que da una medida del grado de contaminación.

#### **4.2.8.4 DQO**

Es una medida de la materia orgánica en la muestra equivalente, a la cantidad de oxígeno que se puede oxidar químicamente en un medio ácido. Se expresa en mg/L y es un indicador de la calidad del agua así:

Débil= <400mg/L

Media= 700mg/L

Fuerte=>1500mg/L

#### **4.2.8.5 ALCALINIDAD**

Cuantificar la capacidad del agua de neutralizar ácidos. Se mide en mg de CaCO<sub>3</sub>/L. Se ha demostrado que cuando la reacción entre AGV y la alcalinidad del medio supera 0,3 – 0,4, es un indicador de fallo del sistema de digestión anaerobia.

#### **4.2.8.6 ÁCIDOS GRASOS VOLÁTILES (AGV)**

Son la mayoría de los productos intermedios de la digestión anaeróbica del material degradable a metano: ácidos acéticos, propiónico, butírico y valérico.

Se mide en mg Ac. Acético/ L. Los AGV son degradados por bacterias acetogénicas hasta ácido acético, que constituye el mayor sustrato de las bacterias metanogénicas.

#### **4.2.8.7 SÓLIDOS**

Su determinación es una prueba indispensable para la operación de reactores biológicos que, junto con otros parámetros, proporciona información de la eficiencia de remoción del proceso, e indirectamente, de la concentración de biomasa bacteriana en el reactor. Los SST representan el parámetro de biomasa bacteriana en el reactor. Los SSV representan la porción orgánica de los SST.

Es importante mantener un registro de los sólidos de los afluentes y del lecho, de modo que se pueda asegurar que la pérdida de biomasa no es mayor al crecimiento esperado.

### 4.3 MARCO CONCEPTUAL

- **Aguas crudas:** Aguas residuales que no han sido tratadas.
- **Aguas residuales municipales:** Agua residual de origen doméstico, comercial e institucional que contiene desechos humanos.
- **Aguas residuales:** Agua que contiene material disuelto y en suspensión, luego de ser usada por una comunidad o industria.
- **Aguas servidas:** Aguas de desecho provenientes de lavamanos, tinas de baño, duchas, lavaplatos, y otros artefactos que no descargan materias fecales.
- **Aireación:** Proceso de transferencia de masa, generalmente referido a la transferencia de oxígeno al agua por medios naturales (flujo natural, cascadas, etc.) o artificiales (agitación mecánica o difusión de aire comprimido).
- **Ambiente aerobio:** Proceso que requiere o no es destruido por la presencia de oxígeno.
- **Ambiente anaerobio:** Proceso desarrollado en ausencia de oxígeno molecular.
- **Ambiente anóxico:** Ambiente bioquímico en el cual no existe oxígeno molecular, pero existe oxígeno en forma combinada como nitratos y nitritos.
- **Reactor biológico:** Unidad física o volumen de control en el cual se mantienen las condiciones óptimas de pH, temperatura, nutrientes y características hidráulicas; permitiendo que ocurran reacciones biológicas.
- **Reactor de mezcla completa con recirculación:** Tipo de reactor que se caracteriza por estar agitado constantemente, permitiendo la mezcla homogénea de las sustancias. Este tipo de reactor opera de forma continua, lo que permite que los flujos a la entrada y salida sean permanentes.
- **DQO5:** Expresa la cantidad de oxígeno necesario para la oxidación de los compuestos orgánicos degradables, existente en el agua residual.

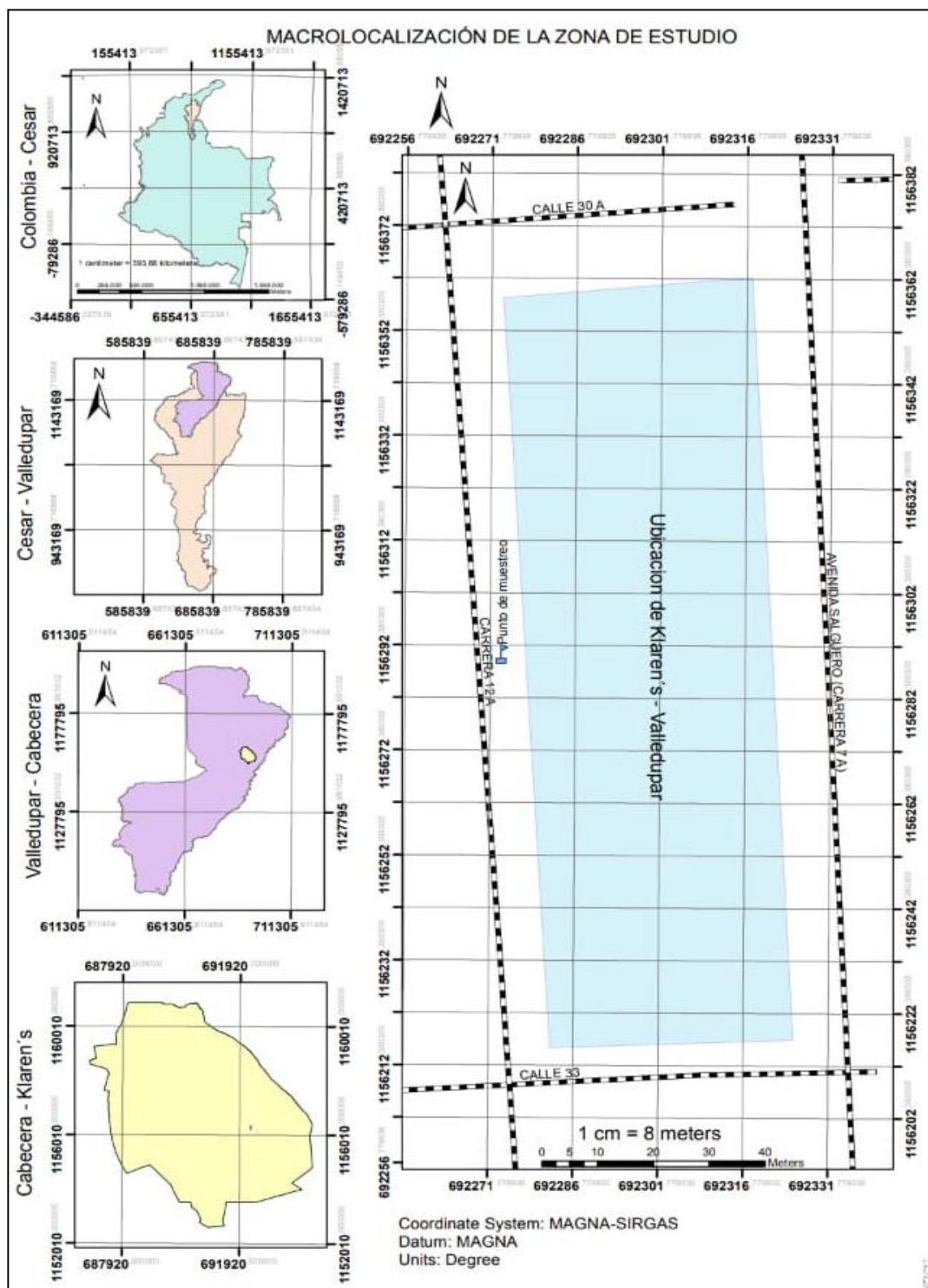
- **Sólidos totales:** Son los residuos de material que quedan en un recipiente después de la evaporación de una muestra y su consecutivo secado en estufa después de la evaporación de una muestra y su consecutivo secado en estufa a una temperatura definida de 103 a 105°C.

#### **4.4 MARCO CONTEXTUAL**

El departamento del Cesar, es uno de los 32 departamentos de Colombia. Hace parte de los siete departamentos de la región Caribe; limita al norte con los departamentos de La Guajira y del Magdalena; al sur con los departamentos de Bolívar y Norte de Santander y al oriente con Norte de Santander y Venezuela. En sus extremos se encuentran los sistemas montañosos de la Serranía del Perijá (frontera natural con Venezuela) y la Sierra Nevada de Santa Marta.

Comprende una extensión de 22.527.5 Km<sup>2</sup>, el cual se caracteriza por presentar una topografía de tipo montañosa en un 43% y de planicies en el 57%. En correspondencia con lo antepuesto, en el que predomina el cálido en la zona plana, le sigue el clima templado en la parte montañosa y el clima de paramo en la sierra Nevada de Santa Marta y en la Serranía de Perijá sobre el área de superparamo de sabana rubia al norte (entre los municipios de Manaure y Agustín Codazzi). La humedad relativa es de 75%, en el área montañosa y de un 60% en promedio en el área plana y su régimen de lluvias es bimodal y está determinado por la zona de confluencia intertropical, los vientos alisios del nordeste, así como por una distribución sobre el nivel del mar; en promedio la precipitación es del orden de 1500mm anuales en las atrás de montañas y de 1000 mm en las planas (valles). El brillo solar se caracteriza por presentar un valor de 2000 horas al año.

El Departamento cuenta con 1.166.420 habitantes, según estimaciones del Departamento Administrativo Nacional de Estadísticas DANE para el año 2011.



**Figura 5:** Ubicación geográfica de Lácteos del Cesar

Fuente: Autores, 2019

El proyecto tiene como finalidad ser desarrollado en el municipio de Valledupar-Cesar. Valledupar es la capital del departamento del Cesar - Colombia. Está ubicada en las estribaciones de la Sierra Nevada de Santa Marta a la margen del río Guatapurí. Valledupar es conocida internacionalmente como la Ciudad de los Santos Reyes y Capital Mundial del Vallenato. Es una ciudad joven llena de energía y ganas de progreso.

El gentilicio debería ser Valduparense, pero por razones históricas, culturales, sonoras, musicales y comodidad a los nacidos en esta zona se les denomina Vallenatos (nacidos en el valle). La Ciudad cuenta con 6 comunas en las que encontramos en total unos 175 Barrios. El Municipio de Valledupar tiene 24 corregimientos y 102 veredas. El 84% de la población está en el área urbana del municipio y la densidad territorial es de 68,4 habitantes por kilómetro cuadrado (10,93 Rural - 66,80 urbana).

## 4.5 MARCO LEGAL

El marco normativo vigente que se relaciona con la gestión de aguas residuales, aplicable esencialmente al manejo del recurso hídrico. Será necesario para la ejecución de este proyecto, que sirva como orientación al manejo ambiental y disposición final del recurso hídrico.

- **Ley 9 del 1979.** Esta ley, es denominada como código sanitario nacional, a través de la cual se dictan medidas sanitarias que abarcan problemas de salubridad pública y actúan en pro a la regulación del medio ambiente y manejo de fuentes hídricas, se resalta:

Previamente al vertimiento el residuo líquido deberá someterse a los requisitos y condiciones que establezca el ministerio de salud, dicha entidad brinda el respectivo aval de licencias ambientales para ejercer este tipo de vertimientos a fuentes receptoras de agua residual.

- **Ley 99 del 1993.** Elaborada por el Congreso de la República de Colombia. Por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente, las corporaciones autónomas regionales y se reordena el sector público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental, SINA, y se dictan otras disposiciones.
- **Decreto 2811 de 1974.** En el que se establece el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente, considerando factores que deterioran el cuerpo receptor.
- **Decreto 1076 de 2015.** Decreto único reglamentario del sector ambiente y desarrollo sostenible. En materia ambiental se compilaron en un solo decreto aproximadamente 1650 artículos que se encontraban dispersos en 84 decretos reglamentarios. El decreto contiene tres Libros el primero de ellos referente a la Estructura del sector ambiental, el segundo al régimen reglamentario del sector ambiente y el tercero a disposiciones finales.

## **4.6 MARCO INSTITUCIONAL**

### **4.6.1 RESEÑA HISTÓRICA**

El 2 de enero de 1985 inicio operaciones la planta, después de haberse organizado y consolidado por iniciativa del Capitán Manuel Gutiérrez Murillo, la sociedad LÁCTEOS DEL CESAR LTDA, para satisfacer una necesidad latente en aquel entonces, la leche pasteurizada homogenizada, con una producción de tan solo 500 litros diarios, esta empresa comenzó a atender el mercado urbano de Valledupar, el cual aceptó masivamente su producto estimulando así su crecimiento.

### **4.6.2 MISIÓN**

Lácteos del Cesar S.A a través de su marca Klaren's, busca satisfacer las necesidades alimenticias de sus clientes, para ello, no soportamos en la experiencia y profesionalismo de nuestro equipo de trabajo.

### **4.6.3 VISIÓN**

Ser reconocidos a nivel nacional como una empresa líder en la producción y comercialización utilizando la mejor tecnología disponible, proporcionando el desarrollo y bienestar de nuestros colaboradores, con responsabilidad frente a nuestros accionistas, la sociedad y el estado.

### **4.6.4 PRINCIPIOS Y VALORES**

El cliente nuestra razón de ser, satisfacer oportunamente a nuestros consumidores, ofreciendo productos de alta calidad a un precio justo. Para Lograrlo nos comprometemos a:

- Mantener unos altos estándares de calidad de acuerdo con las exigencias del mercado.
- Conocer continuamente el grado de satisfacción de nuestros clientes con nuestro servicio, para esforzarnos a mejorar cada día más.

- Evaluar continuamente el gusto del consumidor, adaptándonos a sus variaciones e investigar sobre nuevas tendencias y necesidades para orientar nuestra empresa a la satisfacción.
- Evaluar constantemente el costo de nuestros productos, para establecer siempre un precio justo, sin detrimento de la calidad.

## **5 MARCO METODOLÓGICO**

### **5.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN**

El tipo de investigación utilizado para El diseño y construcción de un prototipo de reactor UASB para el tratamiento de aguas residuales de Lácteos del Cesar, es de tipo explicativo; dado a que se busca responder a las causas de los eventos o sucesos que se están estudiando. Además, esta investigación abarca un nivel de tipo experimental.

#### **Línea de investigación**

Sostenibilidad y Gestión Ambiental.

#### **Áreas temáticas**

Saneamiento básico y agua potable: Tratamiento de aguas residuales.

### **5.2 POBLACIÓN Y MUESTREO**

Nuestra población a analizar es el flujo o caudal de aguas residuales de la industria láctea (Lácteos Del Cesar). Además, es necesario tomar las respectivas muestras de campo, en la entrada y salida del reactor UASB (La muestra de entrada es la misma muestra que se toma en la parte externa de la empresa correspondiente a la última trampa de grasas antes de verter al alcantarillado).

## **5.3 DESARROLLO METODOLÓGICO**

### **5.3.1 ETAPA 1: CONSTRUCCIÓN DEL REACTOR UASB**

#### **5.3.1.1 REVISIÓN DE INFORMACIÓN SECUNDARIA**

Se revisará la información contenida en revistas, libros, artículos científicos y demás publicaciones que aporten información de validez científica en cuanto a sistemas de tratamiento de aguas residuales, tratamiento de aguas de industrias lácteas a partir de tecnología UASB y las principales variables de diseño de los reactores anaerobios de flujo ascendente. Esto arrojaría una fuente de información sólida para la investigación. Dicha información se consultará de portales web de divulgación científica tales como: Sciencedirect, Scopus, Elsevier, Scielo, entre otras. En cuanto a la información contenida en libros virtuales y en físico, tenemos: Tratamiento de aguas residuales de Ramalho, Bioingeniería de aguas residuales teoría y diseño de la autoría de Alvaro Orozco, Tratamiento de aguas residuales teoría y principios de diseño de Jairo Alberto Romero, Tratamiento de aguas residuales para pequeñas poblaciones, entre otros.

#### **5.3.1.2 PARÁMETROS DE DISEÑO**

El reactor UASB, será diseñado y operado en el laboratorio de ingeniería ambiental y sanitaria de la Universidad Popular del Cesar. El reactor tendrá una geometría cilíndrica, esto con el fin de reducir las zonas muertas y evitar que se generen cortos circuitos (flujo no ideal), lo que ocasiona que el tiempo de residencia del agua en el tanque de reacción, no sea uniforme durante el tratamiento. Dicha geometría garantizará una mayor eficiencia del proceso y mejores condiciones hidrodinámicas. El prototipo de reactor UASB, será proyectado con las siguientes especificaciones en cuanto al dimensionamiento, (ver Tabla 3). La altura total del reactor, deberá garantizar que exista la zona de lodos, la zona de burbujeo y la zona de recolección de gases. De igual manera, la altura de la lámina de lodo en el fondo del reactor, debe de garantizar un consorcio microbiano adecuado y de total contacto con el agua residual al interior del reactor. Los demás parámetros citados en la Tabla 3, se definieron a criterio de los autores.

**Tabla 3:** Parámetros de diseño del reactor UASB

<b>REACTOR UASB</b>		
<b>Parámetro</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidad</b>
Grosor	3	Mm
Diámetro interno	0,12	M
Altura total	0,5	M
Altura del lodo	0,1	M

Fuente: Autores, 2018

Los parámetros hidráulicos se estimarán, como se muestra a continuación:

#### **5.3.1.2.1 Volumen total del reactor**

El volumen total del reactor en (m<sup>3</sup>), se calculará con la siguiente ecuación:

$$V = \frac{\pi}{4} \times \phi^2 \times h$$

Donde:

$V =$  Volumen del tanque del reactor en (m<sup>3</sup>)

$\phi =$  Diámetro interno del tanque del reactor en (m)

$h =$  Altura total del tanque del reactor en (m)

El volumen total del reactor, se estimará teniendo en cuenta el área de sección transversal y la altura total del mismo.

#### **5.3.1.2.2 volumen útil del reactor**

Se calculará el volumen útil del reactor en (m<sup>3</sup>) con la siguiente ecuación:

$$Vu = \frac{\pi}{4} \times \phi^2 \times h_{efectiva}$$

Donde:

$Vu =$  Volumen útil del tanque del reactor en (m<sup>3</sup>)

$\emptyset =$  *Diametro interno del tanque del reactor en (m)*

*hefectiva = Altura efectiva del tanque (m)*

El volumen útil del reactor, se obtendrá multiplicando el área de sección transversal con la altura efectiva del tanque. Es decir, la altura efectiva, es la distancia que hay entre el orificio de entrada o del afluente y el orificio de salida o del efluente.

### **5.3.1.2.3 Tiempo de retención hidráulico**

El tiempo de residencia en horas, se estimará utilizando la siguiente ecuación:

$$T.R.H = \frac{\forall u}{Q}$$

Donde:

$Q =$  *Caudal de alimentación en Litros/minuto*

$\forall =$  *Volumen del tanque del reactor en litros*

$T.R.H =$  *Tiempo de retención hidráulico en horas*

### **5.3.1.2.4 Velocidad ascensional**

La velocidad ascensional en (m/h) dentro del reactor, se estimará aplicando la siguiente ecuación:

$$V_{asc} = \frac{Q}{A}$$

Donde:

$V_{asc} =$  *Velocidad ascensional m/h*

$Q =$  *Caudal en  $m^3/h$*

$A =$  *Área en  $m^2$*

El reactor, estará equipado con un embudo de captación de gas (CH<sub>4</sub>) en la parte superior, secuenciado por medio de una manguera de silicona a un recipiente de neutralización con NaOH al 3%. El sistema de neutralización se encargará de retener el CO<sub>2</sub> producido después del proceso de digestión anaerobia y permitir que el biogás (CH<sub>4</sub>) producido sea almacenado en el sistema de neutralización. El biogás será medido por desplazamiento de volumen de NaOH. Además, contará con una bomba peristáltica Heidolph PUMP drive PD 5001, operada a 20 revoluciones por minuto (RPM), con una manguera de 1/16" de diámetro interno y 1/8" de diámetro externo, acoplada a la bomba peristáltica. El sistema será alimentado continuamente, para ello se usará un tanque de almacenamiento de agua residual de 40 litros de capacidad, con un motor en el fondo que permitirá que el agua residual este en continua agitación y así evitar sedimentación de partículas.

En la etapa de arranque, el lodo de inóculo se aclimatará, suministrando agua residual de origen lácteo tomada de Lácteos del Cesar, a fin de que el lodo muestre una textura granular y un buen consorcio microbiano. Inicialmente se suministrará agua residual de origen lácteo a 20 revoluciones por minuto, luego a 30, 40, 50 y 60 revoluciones por minuto respectivamente. Esto garantizará un aumento progresivo en la velocidad ascensional, lo que provocará identificar y garantizar un buen consorcio de microorganismos.

### **5.3.2 ETAPA 2: CARACTERIZACIÓN MEDIANTE PRUEBAS FÍSICOQUÍMICAS DE LAS AGUAS RESIDUALES ANTES Y DESPUÉS DEL REACTOR**

El punto de muestreo del agua residual, se realizará en la zona externa de la empresa Lácteos del Cesar, específicamente en la última trampa grasa antes de verter las aguas al alcantarillado sanitario.

Definido el punto de muestreo, se procedió a tomar varias muestras con el fin definir los valores de los parámetros: DQO, DBO<sub>5</sub>, Sólidos Suspendidos Totales, Sólidos Disueltos Totales, Grasas & Aceites, Acidez, pH, Temperatura y Turbiedad. A continuación, se presenta el procedimiento para la determinación de los parámetros.

**Tabla 4:** Parámetros de evaluación y seguimiento

PARÁMETRO	MÉTODO	PROCEDIMIENTO
<b>DQO</b>	Método de reflujo cerrado titulométrico	<p>Se tomará 2 tubos de ensayo de 16x100mm. Agregar 2,5 ml de muestra en el tubo 1, 1,5 ml de solución de digestión y 3,5 ml de reactivo ácido sulfúrico, para completar 7,5 ml de volumen final. Para el montaje del blanco, tomar 2,5 ml de agua destilada, 1,5 ml de solución de digestión y 3,5 ml de reactivo ácido sulfúrico, hasta completar un volumen de 7,5 ml. A continuación, se agitan rápidamente los tubos, dejar reposar y posteriormente llevarlas al termo reactor a 150°C por 2 horas. Luego de completadas las 2 horas, sacar los tubos y dejar en reposo por 10 minutos. Posteriormente, agregar el contenido de los tubos en matraz Erlenmeyer y adicionar a cada uno de 4 a 5 gotas de indicador de ferroína. Agitar rápidamente hasta alcanzar una coloración verde. Posterior a eso, titular con FAS ambas muestras y anotar el volumen consumido de FAS para alcanzar una coloración rojiza tanto en el blanco, como en la muestra.</p>
<b>GRASAS Y ACEITE</b>	Partición gravimétrica líquido/líquido, basado en la técnica del Standard Methods 5520B	<p>Se Tomará 1 litro de agua destilada y acidifíquela con H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> o HCl a pH &lt; 2 (aproximadamente 2 gotas). Verificar con papel indicador.</p> <p>Pese 5,0 g de aceite mineral en un vaso de precipitados y disuelva con hexano.</p> <p>Transfiera cuantitativamente a un balón de 50 mL y lleve a volumen con hexano, para obtener una concentración de 100.000 mg/L. Almacene inmediatamente en un frasco tapa rosca y refrigere en la nevera de cromatografía (- 18°C).</p> <p>Estándar de 50 mg/L: Dispense del stock 500 µL en un frasco de un litro boca ancha utilizado para el muestreo de grasas. Lleve a la campana de orgánicos y permita que se evapore el solvente. Adicione agua destilada hasta el cuello y preserve con H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> a pH &lt; 2.</p>

<p style="text-align: center;"><b>SÓLIDOS DISUELTOS TOTALES</b></p>	<p style="text-align: center;">Multi-parámetro Consort C5020</p>	<p>Se tomará un volumen de alícuota de 1000 ml en un vaso de precipitado. Posterior a ello, se agitó suavemente, con el fin de obtener una mejor medición; se adecuó el multi parámetro de tal manera que la lectura tomada fuera la correcta, para ello, se programó en (TDS) y se lavó rápidamente el electrodo con agua destilada antes de cada medición. El proceso se repitió tres (3) veces, con el fin de lograr obtener un promedio y por ende un valor más preciso en g/L.</p>
<p style="text-align: center;"><b>ACIDEZ</b></p>	<p style="text-align: center;">Titulación con hidróxido de sodio (NaOH)</p>	<p>Para alcalinidades mayores a 100 mg/L (aguas superficiales contaminadas o aguas residuales) tome una alícuota de 50 o 25 mL con probeta, ya que la cantidad de sólidos suspendidos obstruye la pipeta y dificulta la medición de la alícuota. La alícuota de 25 mL debe tomarse en un vaso de 100 mL o menor, para que el sensor del electrodo de vidrio quede sumergido en la muestra. Inmediatamente antes de realizar la titulación, titule hasta pH 8,3 si el pH de la muestra es superior a este valor a medida que se acerque al punto final, hacer adiciones de ácido más pequeñas con el botón del Dosimat en el mínimo, que proporciona volúmenes de 0.002 mL y verificar que se alcance el equilibrio de pH antes de adicionar más titulante. NOTA: No deje la muestra expuesta al aire y no la someta a agitación mientras no esté adicionando el titulante (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0.02 N), no sirva varias muestras simultáneamente. - Registre el valor obtenido en la planilla de volumetría como el volumen de ácido gastado a pH 8,3 para el cálculo posterior de carbonatos e hidróxidos según el caso. Formato de volumetría TF0024 - Continúe la titulación hasta pH 4,5, a medida que se acerque al punto final, hacer adiciones de ácido más pequeñas con el botón del Dosimat en el mínimo, que proporciona volúmenes de 0.002 mL y verificar que se alcance el equilibrio de pH antes de adicionar más titulante. - Titule hasta pH 4,5, a medida que se acerque al punto final, hacer adiciones de ácido más pequeñas y verificar que se alcance el equilibrio de pH antes de adicionar más titulante.</p>

		<p>- Una vez se estabilice la lectura en el pH metro, de nuevo oprima el botón de lectura del pH metro para asegurarse que el pH no ha cambiado, debido a que la materia orgánica y la grasa hacen que la respuesta del pH metro sea lenta. -</p> <p>Procesamiento de datos y cálculo de resultados</p>
<b>pH</b>	pHmetro	<p>Tomar una alícuota en un vaso de medición o tubo de ensayo, y agitar suavemente. La agitación es suave para minimizar la incorporación de CO<sub>2</sub> y lograr una medición más precisa. <b>1</b> Lavar con agua destilada el electrodo y secar con papel absorbente. Luego enjuagar el electrodo con la muestra. <b>2</b> Sumerja el electrodo en el cuerpo de agua, cuando sea visible, o en la muestra homogenizada en continuo movimiento. Para muestras tamponadas o con alta fuerza iónica, acondicionar el electrodo después de lavar dejándolo dentro de la muestra por un minuto. Con soluciones diluidas o débilmente tamponadas, equilibrar el electrodo sumergiéndolo en tres o cuatro porciones sucesivas de muestra. <b>3</b> Esperar que se estabilice la lectura en el display (use la función AR si es posible). Lea y registre el dato de pH y anote la temperatura de la muestra (30 segundos a 2 minutos aproximadamente, de acuerdo al equipo). <b>4</b> Sacar el electrodo, enjuagar con agua destilada y secarlo con papel absorbente. Al introducir el sensor en la solución de KCL 3M, para evitar daños (cuando aplique).</p>
<b>DBO5</b>	Incubación 5 días	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Después de establecer la cantidad de muestra que necesita de acuerdo a las diluciones a realizar, agite la muestra para homogenización completa y sirva en un vaso de precipitados la muestra, ajuste el pH de la muestra entre 6,5 y 7,5 con ácido sulfúrico 1 M o hidróxido de sodio 1 M, según sea el caso, dosificando estos reactivos con una pipeta Pasteur que dosifique gotas muy pequeñas. (Punta en buen estado)</li> <li>2. Aliste cuatro botellas Winkler.</li> </ol>

		<ol style="list-style-type: none"> <li>3. Rotule las botellas con el número de muestra, la dilución correspondiente y la fecha de análisis. Para determinar la dilución aproximada siga los criterios de dilución de muestras.</li> <li>4. Registre en el formato TF 0025 el volumen real de la botella Winkler impreso en la botella usada.</li> <li>5. Adicione a cada botella la cantidad de muestra que se ha establecido, si se requiere hacer dilución realícela en un balón aforado clase A ó B agite y sirva en la botella la cantidad requerida.</li> <li>6. Adicione 2 mL de cepa.</li> <li>7. Adicione agua solamente hasta la mitad del cuello de la botella, para que al introducir el electrodo no haya pérdida de muestra.</li> <li>8. Lea el oxígeno inicial de las cuatro botellas de muestra, llene totalmente dejando el sello hidráulico (pequeña película de agua para impedir el intercambio de oxígeno entre la botella y el ambiente)</li> <li>9. Si al medir el oxígeno disuelto inicial, ha descendido a menor de 6, preparar otra botella utilizando un volumen de muestra menor.</li> <li>10. Registre los datos en el formato TF 0025 e incube a 20°+/- 3 °C por cinco días. Al quinto día lea el Oxígeno disuelto residual</li> <li>11. Calcule la DBO5 con los resultados obtenidos.</li> </ol>
<b>SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOALES</b>	Gravimetría secados a 103°C.	Preparación del filtro o disco de fibra de vidrio: Siempre maneje el disco mediante pinzas metálicas y/o microespátula metálica. No manipule el filtro con la mano. <ol style="list-style-type: none"> <li>10.1.1 Marque cada cápsula de aluminio con un número, de forma consecutiva.</li> <li>10.1.2 Coloque el disco sobre el soporte, con el lado rugoso hacia arriba, aplique vacío.</li> <li>10.1.3 Lave el disco con tres porciones sucesivas de 20 mL de agua destilada, medidos con probeta.</li> <li>10.1.4 Deje el vacío durante 1 minuto adicional para secar el disco.</li> <li>10.1.5 Cuidadosamente y con la ayuda de una</li> </ol>

		<p>microespátula o de unas pinzas, retire el disco y colóquelo dentro de la cápsula de aluminio correspondiente. 10.1.6 Seque el conjunto (cápsula de aluminio + disco) en el Horno precalentado a 105°C por 1 h. 10.1.7 Lleve el conjunto a un desecador y deje enfriar aproximadamente por 15 minutos, hasta temperatura ambiente.</p> <p>10.1.8 Pese y registre el peso del conjunto en el formato correspondiente TF0067, en la columna Tara 1. 10.1.9 Repita el ciclo de secado, enfriado y pesado. Registre en el formato el nuevo peso. Mantenga el conjunto en un desecador hasta que se vaya a utilizar; registre en columna tara 2. 10.1.10 La máxima variación aceptada en el peso del conjunto es de cinco unidades en la cuarta cifra decimal. Si se cumple con este requisito se puede decir que se ha alcanzado peso constante. En caso contrario se debe someter a un nuevo ciclo de secado hasta que se cumpla con el requisito anterior (un tercer ciclo de secado se registra en la columna de observaciones).</p> <p>10.2 Procesamiento de la muestra.</p> <p>10.2.1 Saque del desecador el conjunto correspondiente a la muestra que va a procesar. Instale el disco en el equipo de filtración. Haga vacío en el sistema y fije el disco con una pequeña cantidad de agua destilada.</p> <p>10.2.2 Agite invirtiendo el recipiente de la muestra varias veces. 10.2.3. De la muestra recién agitada, tome rápidamente una alícuota medida con probeta, transfiera cuantitativamente al filtro y registre el volumen total filtrado en el formato TF0067. 10.2.4 Deje el vacío por un minuto más para retirar el exceso de humedad del filtro.</p> <p>10.2.5 Retire cuidadosamente el disco con ayuda de una microespátula y colóquelo en la cápsula de aluminio correspondiente. 10.2.6 Seque el conjunto en el Horno a 103-105°C, durante 1 hora. 10.2.7 Lleve el conjunto a un desecador y deje enfriar aproximadamente por 15 minutos, hasta temperatura ambiente. 10.2.8 Pese y</p>
--	--	---

		<p>registre el peso del conjunto en el formato TF0067, en la columna Peso 1 10.2.9 Repita el ciclo de secado, enfriado y pesado. Registre en el formato el nuevo peso, en la columna peso 2. 10.2.10 La máxima variación aceptada en el peso del conjunto es de cinco unidades en la cuarta cifra decimal. Si se cumple con este requisito se puede decir que se ha alcanzado peso constante. En caso contrario se debe someter a un nuevo ciclo de secado hasta que se cumpla con el requisito anterior (registre el tercer peso en la columna de observaciones).</p>
<b>TURBIEDAD</b>	Turbidímetro	<p>Se tomará un volumen de alícuota de 500 ml. Seguidamente se verificará el correcto funcionamiento del aparato (Turbidímetro), con el fin de constatar de que se encuentra calibrado. Posterior a ello, se procede a agitar la muestra de tal manera de tener homogeneidad en la misma antes de la medición. Una vez agitado rápidamente, se procede a llenar el tubo de ensayo del Turbidímetro, se introduce y se espera que arroje la lectura. El proceso se repite tantas veces como sea necesario, con el fin de obtener un promedio. Es de aclarar que la lectura que se debe de tener en cuenta, es la primera que arroja el equipo durante la medición.</p>

**Fuente:** Autores, 2018

### **5.3.3 ETAPA 3: EFICIENCIA DEL REACTOR POSTERIOR A SU IMPLEMENTACIÓN**

Una vez realizada la caracterización antes del tratamiento y posterior a este, se procede a estimar la eficiencia de remoción en términos de DQO total y DQO soluble. Determinar la eficiencia en términos de DQO total y DQO soluble, es importante, ya que permitirá ver si el sistema atacará más la materia orgánica soluble y suspendida (DQO total) o si por el contrario atacará mejor solo a la materia orgánica soluble (DQO soluble), presente en el agua residual.

La eficiencia se estimará con la siguiente ecuación:

$$Eficiencia = \frac{Concentración\ Inicial - Concentración\ Final}{Concentración\ Inicial} \times 100$$

La eficiencia se expresará en porcentaje (%) y determinará el grado de remoción de materia orgánica del sistema. Se esperará una eficiencia entre el 80% y 90% por tratarse de un tratamiento biológico.

### **5.3.4 ETAPA 4: APLICATIVO MÓVIL DE SIMULACIÓN HIDRÁULICO PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE INDUSTRIAS LÁCTEAS VALLEDUPAR- CESAR.**

Una vez realizado el diseño del prototipo de reactor UASB, la caracterización general de las aguas residuales en el punto de muestreo definido, la caracterización a la salida del sistema y obtenida la eficiencia, se procederá a tabular los datos de diseño del reactor y los datos obtenidos en cada una de las pruebas fisicoquímicas realizadas en el laboratorio.

Los datos se llevarán a Excel, donde se realizará una hoja de cálculo secuencial y posterior a ello, se elaborará el aplicativo móvil. El aplicativo móvil o app, es un software descargable y ejecutable en teléfonos Android. Este software, será gratuito y se podrá obtener de la tienda Play Store, la cual podrá funcionar sin necesidad de tener acceso a internet. La app tendrá una interfaz completa donde se podrá apreciar el inicio o presentación de la misma, parámetros del reactor y cada uno de

los parámetros fisicoquímicos evaluados tanto a la entrada y salida del sistema. Seguidamente la aplicación arrojará los resultados finales tanto a la entrada y a la salida, de manera que se puedan evidenciar y comparar con la resolución 0631 de 2015, estipulando el cumplimiento o no con los valores máximos permisibles. De igual manera, la aplicación evaluará la eficiencia del reactor en términos de DQO total y DQO soluble, a partir de los datos ingresados en tiempo real. Esta aplicación será una herramienta tecnológica útil, gratuita y muy práctica en la obtención de los resultados de laboratorio y en el monitoreo continuo del sistema de tratamiento.

## 5.4 PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

### 5.4.1 CONSTRUCCIÓN DEL REACTOR UASB

Los parámetros generales del diseño del reactor, ver (Tabla 3). Los parámetros hidráulicos del reactor se estimaron así:

#### 5.4.1.1 VOLUMEN TOTAL DEL TANQUE DEL REACTOR

$$V = \frac{\pi}{4} \times \phi^2 \times h \rightarrow V = \frac{\pi}{4} (0,12m)^2 (0,5m) = 5,654 \times 10^{-3} m^3$$

Donde:

$V =$  Volumen del tanque del reactor en ( $m^3$ )

$\phi =$  Diametro interno del tanque del reactor en (m)

$h =$  Altura total del tanque del reactor en (m)

$$5,654 \times 10^{-3} m^3 \times \frac{1000L}{1 m^3} = 5,654L$$

#### 5.4.1.2 VOLUMEN ÚTIL DEL REACTOR

$$Vu = \frac{\pi}{4} \times \phi^2 \times h_{efectiva} \rightarrow Vu = \frac{\pi}{4} (0,12m)^2 (0,311) = 3,517 \times 10^{-3} m^3$$

$Vu =$  Volumen útil del tanque del reactor en ( $m^3$ )

$\phi =$  Diametro interno del tanque del reactor en (m)

$h =$  Altura efectiva del tanque (m)

Haciendo la conversión a litros

$$3,517 \times 10^{-3} m^3 \times \frac{1000L}{1 m^3} = 3,517 \text{Litros}$$

### 5.4.1.3 TIEMPO DE RETENCIÓN HIDRÁULICO

$$T.R.H = \frac{\forall u}{Q}$$

Donde:

$Q =$  Caudal de alimentación en *Litros/*minuto

$\forall =$  Volumen del tanque del reactor en litros

$T.R.H =$  Tiempo de retención hidráulico en horas

- Para un caudal de 0,00353L/min

$$T.R.H = \frac{\forall}{Q} = \frac{3,517 \text{ litros}}{0,0035398 \text{ litros/min}} = 993,6 \text{ minutos} \times \frac{1 \text{ hora}}{60 \text{ minutos}} = 16,56 \text{ horas}$$

### 5.4.1.4 VELOCIDAD ASCENSIONAL

$$V_{asc} = \frac{Q}{A}$$

Donde:

$Q =$  Caudal en  $m^3/h$

$A =$  Área en  $m^2$

$$Q = 0,00353 \frac{\text{Litros}}{\text{min}} \times \frac{1 m^3}{1000 \text{ litros}} \times \frac{60 \text{ min}}{1 \text{ hora}} = 0,0002118 m^3/hora$$

Calculamos Área de sección transversal

$$A = \frac{\pi}{4} \times (\text{Diámetro})^2$$

$$A = \frac{\pi}{4} \times (0,12m)^2 = 0,0113m^2$$

Ahora calculamos velocidad ascensional

$$V_{asc} = \frac{0,0002118 \text{ m}^3/h}{0,0113 \text{ m}^2} = 0,02 \text{ m/hora}$$

La velocidad es óptima, ya que no permite pérdida por arrastre de las partículas sólidas en el interior del reactor. La velocidad media del líquido, no debe exceder el valor de 1m/h (Metcalf & Eddy, 2004).

#### 5.4.1.5 VELOCIDAD DE CARGA ORGÁNICA

$$LV = \frac{Q * So}{V}$$

Donde:

$Q = \text{Caudal (m}^3/\text{día)}$

$So = \text{Concentración de sustrato en el influente (Kg/m}^3\text{)}$

$V = \text{Volumen total del reactor (m}^3\text{)}$

$$Q = 3,53 \times 10^{-3} \frac{L}{min} \times \frac{1m^3}{1000L} \times \frac{60min}{1h} \times \frac{24h}{1día} = 0,00508 \text{ m}^3/\text{día}$$

$$So = 4480 \frac{mg}{L} \times \frac{1Kg}{10^6mg} \times \frac{1000L}{1m^3} = 4,48 \text{ Kg/m}^3$$

$$Lv = \frac{0,00508 \frac{m^3}{día} \times 4,48 \frac{Kg \text{ DQO}}{m^3}}{3,517 \times 10^{-3} m^3} = 6,47 \text{ Kg DQO/m}^3 * \text{ día}$$

## 5.4.2 CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA DEL AGUA ANTES DEL TRATAMIENTO

### 5.4.2.1 DQO TOTAL EN EL EFLUENTE

**Tabla 5:** Demanda química de oxígeno total del efluente

<b>DQO TOTAL ENTRADA</b>		
<b>Datos de la práctica</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidad</b>
Volumen de FAS gastado con el blanco (A)	1,2	ml
Volumen de FAS gastado con la muestra 1 (B)	0,5	ml
Volumen de la muestra (V)	2,5	ml
Miliequivalentes de O <sub>2</sub> x 1000 mg/l	8000	
Molaridad del FAS (M)	0,1	M
Factor de dilución (F)	20	
<b>DQO TOTAL</b>	<b>4480</b>	<b>O<sub>2</sub>/l</b>

Fuente: Autores, 2018

$$DQO\ total = \frac{(A - B) * M * 8000 * F}{V}$$

$$DQO\ total = \frac{(1,2 - 0,5) * 0,1 * 8000 * 20}{2,5} = 4480\ mgO_2/l$$

### 5.4.2.2 DQO SOLUBLE EN EL EFLUENTE

**Tabla 6:** Demanda química de oxígeno soluble del efluente

<b>DQO SOLUBLEL ENTRADA</b>		
<b>Datos de la práctica</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidad</b>
Volumen de FAS gastado con el blanco (A)	1,2	ml
Volumen de FAS gastado con la muestra 1 (B)	1	ml
Volumen de la muestra (V)	2,5	ml
Miliequivalentes de O <sub>2</sub> x 1000 mg/l	8000	
Molaridad del FAS (M)	0,1	M
Factor de dilución (F)	20	
<b>DQO SOLUBLE</b>	<b>1280</b>	<b>O<sub>2</sub>/l</b>

Fuente: Autores, 2018

$$DQO\ soluble = \frac{(A - B) * M * 8000 * F}{V}$$

$$DQO\ total = \frac{(1,2 - 1) * 0,1 * 8000 * 20}{2,5} = 1280\ mgO2/l$$

#### 5.4.2.3 TURBIEDAD EN EL EFLUENTE

**Tabla 7:** Turbiedad en el efluente.

<b>TURBIEDAD</b>		
<b>MEDICIÓN</b>	<b>VALOR</b>	<b>UNIDAD</b>
1	596	UNT
2	592	UNT
3	607	UNT
4	623	UNT
5	624	UNT
6	614	UNT
7	622	UNT
8	614	UNT
<b>PROMEDIO</b>	<b>611,5</b>	<b>UNT</b>

Fuente: Autores, 2018

#### 5.4.2.4 SÓLIDOS DISUELTOS TOTALES EN EL EFLUENTE

**Tabla 8:** Sólidos disueltos totales

<b>SÓLIDOS DISUELTOS TOTALES</b>		
<b>MEDICIÓN</b>	<b>VALOR</b>	<b>UNIDAD</b>
1	1190	mg/L
2	1190	mg/L
3	1170	mg/L
<b>PROMEDIO</b>	<b>1183,33</b>	<b>mg/L</b>

Fuente: Autores, 2018

#### 5.4.2.5 OTROS PARÁMETROS

**Tabla 9:** pH, Acidez, Temperatura, DBO5, Grasas & aceite y SST

PARÁMETRO	VLAOR	UNIDAD
Ph	6,64	-
ACIDEZ	17	mg CaCo3/L
TEMPERATURA	24,8	°C
DBO5	3742	mg O2/L
GRASAS Y ACEITE	176	mg/L
SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES	786,5	mg/L

Fuente: Autores, 2018

$$Acidez = \frac{A * N * 50000}{ml\ muestra}$$

Donde:

A= ml de NaOH gastado en la titulación

N= Normalidad del NaOH

$$Acidez = \frac{1,7 * 0,01 * 50000}{50} = 17\ mgCaCo3/L$$

$$Sólidos\ suspendidos\ totales = \frac{(A - B) * 1000}{V}$$

Donde:

A= Peso del filtro + residuo seco (mg)

B= Peso del filtro (mg)

V= Volumen de muestra (ml)

$$Sólidos\ suspendidos\ totales = \frac{(109,23 - 93,5) * 1000}{20} = 786,5\ mg/L$$

Una vez se caracterizó el agua residual, se procede a calcular el índice de biodegradabilidad, para constatar que el agua residual caracterizada, se puede tratar por vía biológica.

#### **5.4.2.6 ÍNDICE DE BIODEGRADABILIDAD**

De acuerdo a la literatura consultada, se calcula el índice de biodegradabilidad de la siguiente manera:

$$\text{ÍNDICE DE BIODEGRADABILIDAD} = \frac{DBO5}{DQO}$$

$$\text{ÍNDICE DE BIODEGRADABILIDAD} = \frac{3742}{4480} = 0,835$$

Se puede apreciar que el valor del índice de biodegradabilidad es de 0,835, lo que indica que el residuo a tratar, tiene un alto índice de biodegradabilidad, dado a que la relación DBO5/DQO es mayor a 0,5 y por ende se puede utilizar procesos biológicos para el tratamiento de dichos residuos; tal y como lo expone (Tchobanoglous, 2004). “Los valores de la relación de DBO5/DQO en aguas residuales municipales no tratadas oscilan entre 0.3-0.8. Si la relación DBO5/DQO para aguas residuales no tratadas es mayor que 0.5, los residuos se consideran fácilmente tratables mediante procesos biológicos. Si la relación DBO5/DQO es menor de 0.3, el residuo puede contener constituyentes tóxicos o se pueden requerir microorganismos aclimatados para su estabilización”.

#### **5.4.3 EFICIENCIA DEL REACTOR UASB**

##### **5.4.3.1 RESULTADOS A LA SALIDA DEL REACTOR Y VALORES MÁXIMOS PERMISIBLES PARA VERTIMIENTOS DE INDUSTRIAS LÁCTEAS A EL ALCANTARILLADO**

Los resultados obtenidos (ver tabla 10), son datos experimentales, realizados en el laboratorio de Ingeniería Ambiental y Sanitaria de la Universidad Popular del Cesar, a excepción de la Demanda bioquímica de Oxígeno (DBO5), así como Grasas & Aceites; cuyas pruebas de laboratorio mencionadas antes del tratamiento y

posterior a el tratamiento, se obtuvieron de la caracterización oficial de Lácteos del Cesar LTDA y contratada de manera independiente con el laboratorio Nancy Flórez García S.A.S, respectivamente, (ver anexos).

**Tabla 10:** Resultados en el Afluente y valores máximos permisibles de la resolución 0631 de 2015

PARÁMETROS DE EVALUACIÓN	UNIDADES	VALOR EN EL AFLUENTE O ENTRADA	VALOR EN EL EFLUENTE O SALIDA	VALORES MÁXIMOS PERMISIBLES SEGÚN RESOLUCIÓN 0631 DE 2015	OBSERVACIÓN
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg O2/L	4480	640	675	Cumple
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	mg O2/L	3742	<2,00	375	Cumple
Grasas y Aceites	mg/L	176	<10,00	30	Cumple
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	786,5	118,5	225	Cumple
pH	Unidades de pH	6,64	7,1	5,00 a 9,00	Cumple
Temperatura	°C	24,8	25,7	40,00°C	Cumple
Acidez	mg CaCO3/L	17	8	Análisis y Reporte	
Sólidos Disueltos Totales	mg/L	1183,33	294	**	No lo evalúa la norma
Turbiedad	UNT	611,5	46,66	**	No lo evalúa la norma

Fuente: Autores, 2019

En la Tabla 10, se puede evidenciar los valores para los distintos parámetros evaluados a la entrada y salida del Reactor Anaerobio de Flujo Ascendente (UASB). Inicialmente podemos constatar que los parámetros de entrada tienen los siguientes valores: DQO= 4480 mg O2/L; DBO5= 3742 mg O2/L; Grasas & Aceites= 176 mg/L;

Sólidos Suspendidos Totales= 786,5 mg/L; pH= 6,64; Temperatura= 24,8°C; Acidez= 17 mg CaCO<sub>3</sub>/L; Sólidos Disueltos Totales= 1183,33 mg/L y Turbiedad= 611,5 UNT.

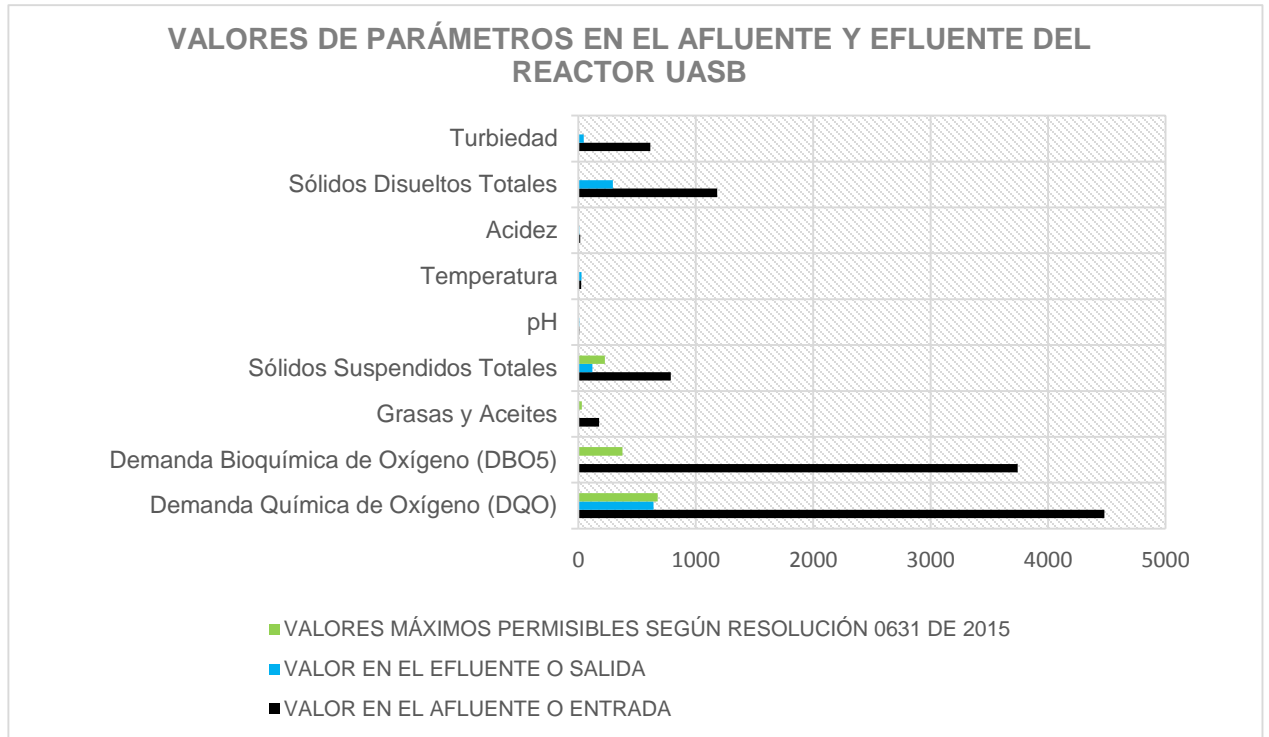
De acuerdo a los valores registrados y referenciados para ARnD y que a su vez se asocian a la fabricación de productos lácteos en los artículos 12 y 16 de la resolución 0631, podemos inferir que parámetros como DQO, DBO<sub>5</sub>, Grasas & Aceites y Sólidos Suspendidos Totales; no cumplen con los valores máximos permisibles según la normativa vigente. Esto indica que hay un incumplimiento en el vertimiento con relación a los parámetros antes mencionados de las aguas residuales por parte de la empresa Lácteos del Cesar LTDA.

Por otra parte, los parámetros como: pH y Temperatura, cumplen con los valores máximos permisibles según lo establecido en los artículos 12 y 16 de la resolución 0631 de 2015. Lo que significa que no hay incumplimiento en el vertimiento en los parámetros referidos.

De igual manera, parámetro como Acidez, la norma no especifica un valor máximo permisible, solo indica que se analice y reporte. Por tal motivo no se puede emitir juicio de cumplimiento o incumplimiento. Así mismo, los parámetros como: Sólidos Disueltos Totales y Turbiedad, no los evalúa la norma. Sin embargo, son importantes para analizar el comportamiento del sistema a lo largo del tratamiento y de alguna manera son parámetros muy prácticos para su medición. De esta manera, no se puede emitir juicio alguno de cumplimiento y/o incumplimiento de la norma.

De acuerdo a los valores registrados a la salida del reactor UASB, podemos inferir que todos los parámetros evaluados por la norma, cumplen con los valores máximos permisibles. La DQO a la salida del sistema, tiene un valor de 640 mg/L, la norma establece 675 mg/L; la DBO<sub>5</sub> a la salida del sistema tiene un valor de <2 mg/L, la norma establece 375 mg/L; grasas & aceites arrojó un valor <10 mg/L, la norma establece 30 mg/L como valor máximo permisible; sólidos suspendidos totales arrojó

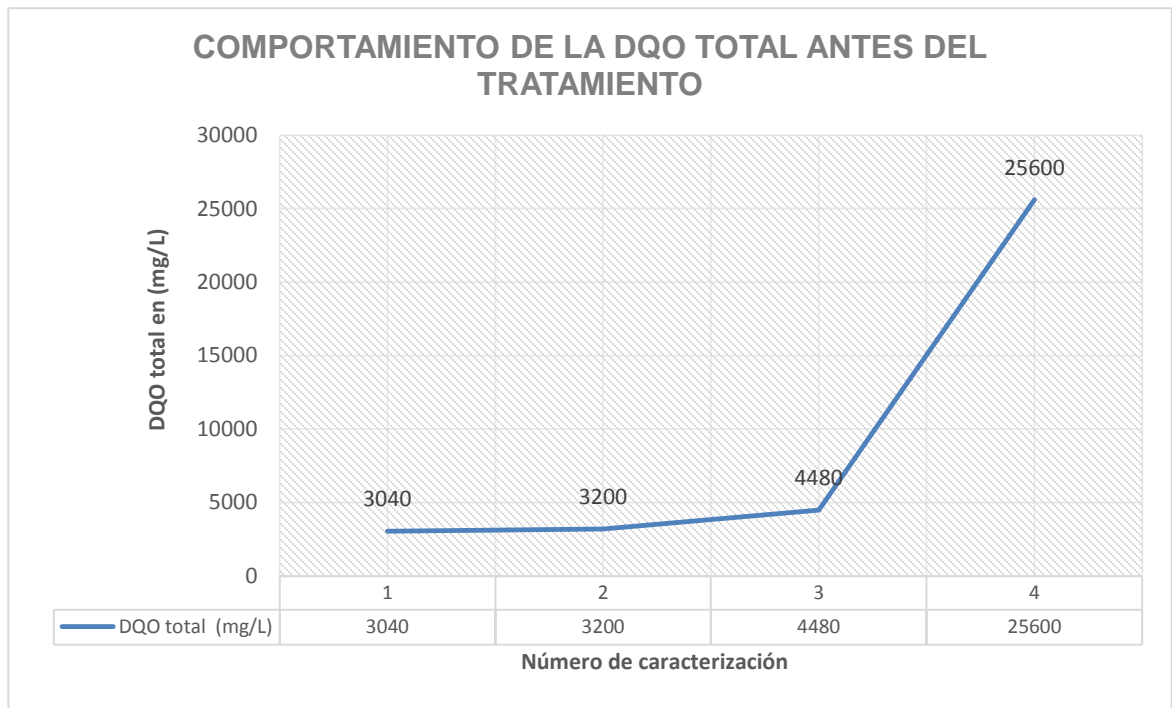
un valor de 118,5 mg/L, la norma establece 225 mg/L y el pH a la salida fue de 7,1, la norma establece un rango de 5,00 a 9,00.



**Gráfica 1.** Parámetros en el efluente y afluente del reactor UASB

**Fuente:** Autores, 2019

La Gráfica 1, muestra los valores obtenidos en la caracterización antes del tratamiento y después del tratamiento en el reactor UASB. Las barras en color negro, muestran los valores en el afluente; las barras en color azul, muestran los valores en el efluente o salida y las barras de color verde, muestra los valores máximos permisibles según la resolución 0631 de 2015.



**Gráfica 2.** Comportamiento de la DQO total antes del tratamiento.

**Fuente:** Autores, 2019

La Gráfica 2, muestra el comportamiento de la DQO total en cada una de las caracterizaciones realizadas en la empresa Lácteos del Cesar. La primera caracterización, se realizó el día 14 de agosto de 2018, arrojando un valor de 3040 mg/L. El sistema se alimentó con esta concentración durante 25 días para adaptar el lodo a las condiciones del sistema. La segunda caracterización realizada el día 8 de septiembre de 2018, arrojó un valor en la DQO total de 3200 mg/L, alimentando el sistema con esta concentración durante 50 días. La tercera caracterización, se realizó el día 15 de octubre de 2018, con un valor en la DQO total de 4480 mg/L y la última caracterización realizada el día 02 de noviembre de 2018, arrojó una DQO total de 25600 mg/L, siendo esta la mayor. Cabe destacar que la eficiencia del sistema se evaluó con la tercera caracterización. Ver Gráfica 2. Comportamiento de la DQO total antes del tratamiento.

### 5.4.3.2 RELACIÓN ENTRE VELOCIDAD DE CARGA ORGÁNICA Y DQO EN EL AFLUENTE

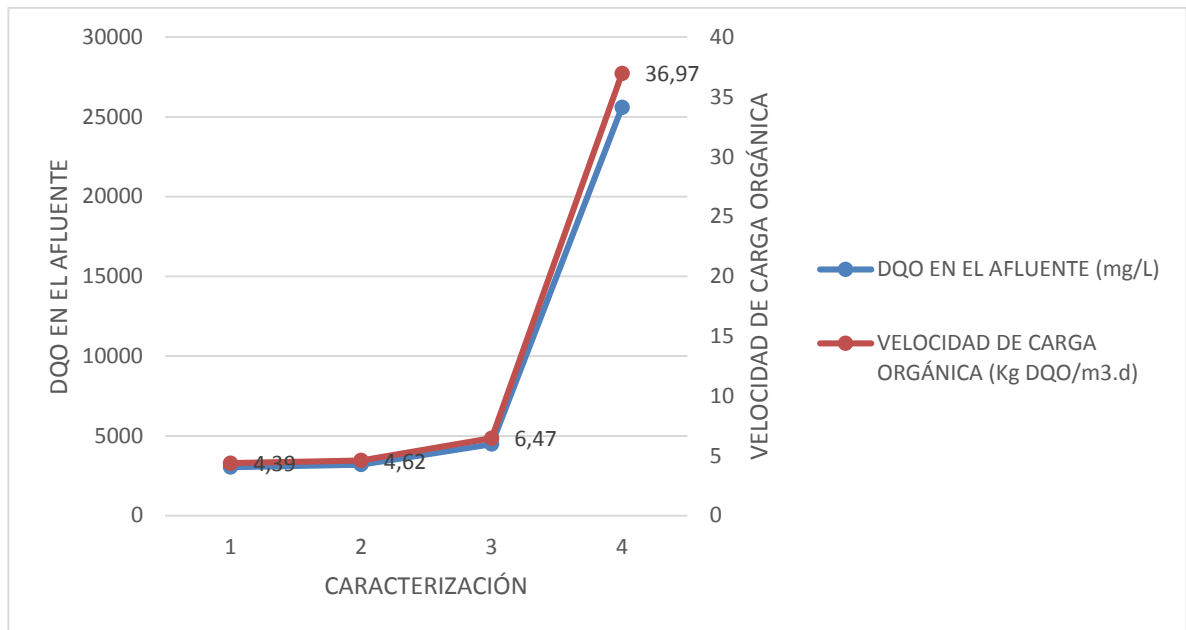
**Tabla 11:** Valores de DQO y Velocidad de Carga Orgánica

CARACTERIZACIÓN	DQO EN EL AFLUENTE (mg/L)	VELOCIDAD DE CARGA ORGÁNICA (Kg DQO/m <sup>3</sup> .d)
1	3040	4,39
2	3200	4,62
3	4480	6,47
4	25600	36,97

Fuente: Autores, 2019

En la Tabla 11, se puede observar los valores de DQO en el efluente y los valores de velocidad de carga orgánica. Se obtuvieron porcentajes de remoción del 85,71% a una velocidad de carga orgánica de 6,47 Kg DQO/m<sup>3</sup>.d. Valores que se pueden comparar con los obtenidos por (Arango & Sanches, 2009), quienes determinaron que el mayor porcentaje de eliminación de materia orgánica fue de 98% y se obtuvo a una velocidad de carga orgánica de 9,6 g DQO/L.d.

Así mismo, la eficiencia de 85,71% obtenida en términos de remoción de DQO total en el reactor, se determinó a un tiempo de retención hidráulico de 16,56 horas, valor que podemos comparar con los resultados obtenidos por (Liviac & Vela, 2015), quienes obtuvieron porcentajes de remoción promedio de DQO entre 77 y 86%, trabajando con tiempos de residencia hidráulicos (TRHs) entre 0,45 y 1,75 días, velocidades de carga orgánica (VCOs) entre 2,5 y 7,9 g DQO/L.d y concentraciones de DQO en la alimentación entre 1,1 y 12,1 g DQO/L.



**Gráfica 3.** Comportamiento de la DQO y Velocidad de Carga Orgánica

**Fuente:** Autores, 2019

En el Gráfica 3, se evidencia la relación directa que existe entre la DQO y la velocidad de carga orgánica en el sistema. Esto indica que a mayor concentración de DQO, mayor será la velocidad de carga orgánica al interior del sistema.

### 5.4.3.3 EFICIENCIA DEL REACTOR EN TÉRMINOS DE REMOCIÓN DE DQO TOTAL Y DQO SOLUBLE

#### 5.4.3.3.1 Eficiencia en términos de DQO total

$$Eficiencia = \frac{Concentración\ Inicial - Concentración\ Final}{Concentración\ Inicial} \times 100$$

$$Eficiencia = \frac{4480 \frac{mg}{L} - 640 \frac{mg}{L}}{4480 \frac{mg}{L}} \times 100$$

$$Eficiencia = 85,71\%$$

#### 5.4.3.3.2 Eficiencia en términos de DQO soluble

$$Eficiencia = \frac{Concentración\ Inicial - Concentración\ Final}{Concentración\ Inicial} \times 100$$

$$Eficiencia = \frac{1280 \frac{mg}{L} - 320 \frac{mg}{L}}{1280 \frac{mg}{L}} \times 100$$

$$Eficiencia = 75\%$$

Podemos apreciar que el valor de la eficiencia de remoción en términos de DQO total, es de 85,71% y la eficiencia en términos de remoción de DQO soluble es de 75%. Esto significa que el reactor atacó mejor a la DQO total, es decir a la materia orgánica disuelta y suspendida del agua residual.

#### 5.4.4 APLICATIVO MÓVIL DE SEGUIMIENTO HIDRAÚLICO Y DE PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS

Se muestra la interfaz del aplicativo móvil desarrollado para el monitoreo de los parámetros fisicoquímicos a la entrada y salida del reactor:



**Figura 6.** Botón de inicio de la aplicación

Fuente: Autores, 2019

Figura 6, muestra el botón de inicio de la aplicación *RAFA app*, una vez descargada de la Play Store. La interfaz de inicio muestra el logo oficial del programa de ingeniería Ambiental y Sanitaria de la Universidad Popular del Cesar. Tocar en inicio para luego desplegar la siguiente ventana.

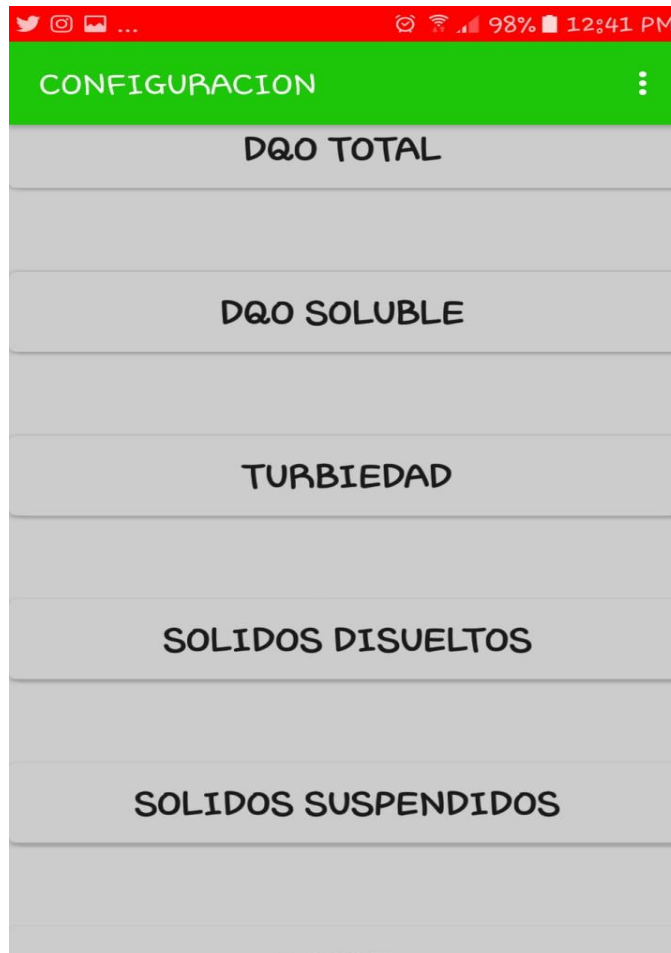
CONFIGURACION		
GROSOR	<u>0,03</u>	m
DIAMETRO INTERNO	<u>0,12</u>	m
ALTURAL TOTAL	<u>0,5</u>	m
ALTURA LODO	<u>0,1</u>	m
ALTURA UTIL DEL REACTOR	<u>0,311</u>	m
CAUDAL	<u>0,00353</u>	L/min
AREA DE SECCION TRANSVERSAL	<u>0,011309</u>	m <sup>2</sup>

ANTERIOR      SIGUIENTE

**Figura 7.** Parámetros del reactor

Fuente: Autores, 2019

La Figura 7, muestra los parámetros generales de diseño del reactor UASB. Estos parámetros son fijos en la aplicación, ya que corresponden a el diseño a escala piloto del mismo, lo que significa que están por defecto tal y como se aprecia. Tocar en configuración para apreciar la siguiente ventana:



**Figura 8.** Ventana de configuración

**Fuente:** Autores, 2019

La Figura 8, muestra la ventana de configuración de la app. En esta ventana se encuentran todos los parámetros evaluados en el reactor: DQO total, DQO soluble, turbiedad, sólidos disueltos, sólidos suspendidos y acidez. Cabe resaltar que la DBO5, grasas & aceite, pH y temperatura, no se encuentran en configuración, debido a que son valores que se ingresan manualmente en la aplicación y por tanto no necesita de datos experimentales dentro de la app.

**Tabla 12:** Ventana de configuración de cada prueba fisicoquímica

<p><b>DQO_TOTAL</b> ⋮</p> <p><b>ENTRADA</b></p> <p>Volumen de FAS gastado en blanco (A) <u>1.2</u> ml</p> <p>Volumen de FAS gastado en muestra (B) <u>0.5</u> ml</p> <p>Volumen de muestra (V) <u>2.5</u> ml</p> <p>Miliequivalentes de O<sub>2</sub> x 1000 mg/l <u>8000</u></p> <p>Molaridad del FAS (M) <u>0.1</u> M</p> <p>Factor de dilución <u>20</u></p>	<p><b>SALIDA</b></p> <p>Volumen de FAS gastado en blanco (A) <u>1.4</u> ml</p> <p>Volumen de FAS gastado en muestra (B) <u>1.2</u> ml</p> <p>Volumen de muestra (V) <u>2.5</u> ml</p> <p>Miliequivalentes de O<sub>2</sub> x 1000 mg/l <u>8000</u></p> <p>Molaridad del FAS (M) <u>0.1</u> M</p> <p>Factor de dilución <u>10</u></p> <p>ANTERIOR</p>
<p><b>DQO_SOLUBLE</b> ⋮</p> <p><b>ENTRADA</b></p> <p>Volumen de FAS gastado en blanco (A) <u>1.2</u> ml</p> <p>Volumen de FAS gastado en muestra (B) <u>1</u> ml</p> <p>Volumen de muestra (V) <u>2.5</u> ml</p> <p>Miliequivalentes de O<sub>2</sub> x 1000 mg/l <u>8000</u></p> <p>Molaridad del FAS (M) <u>0.1</u> M</p> <p>Factor de dilución <u>20</u></p>	<p><b>SALIDA</b></p> <p>Volumen de FAS gastado en blanco (A) <u>1.4</u> ml</p> <p>Volumen de FAS gastado en muestra (B) <u>1.3</u> ml</p> <p>Volumen de muestra (V) <u>2.5</u> ml</p> <p>Miliequivalentes de O<sub>2</sub> x 1000 mg/l <u>8000</u></p> <p>Molaridad del FAS (M) <u>0.1</u> M</p> <p>Factor de dilución <u>10</u></p> <p>ANTERIOR</p>

**TURBIEDAD** ⋮

**ENTRADA**

MUESTRA 1 596

MUESTRA 2 592

MUESTRA 3 607

MUESTRA 4 623

MUESTRA 5 624

**SALIDA**

MUESTRA 1 45.6

MUESTRA 2 47.4

MUESTRA 3 46.3

MUESTRA 4 46.6

MUESTRA 5 47.4

ANTERIOR

**SOLIDOS DISUELTOS** ⋮

**ENTRADA**

PRUEBA 1 1190 mg/L

PRUEBA 2 1190 mg/L

PRUEBA 3 1170 mg/L

**SALIDA**

PRUEBA 1 295 mg/L

PRUEBA 2 293 mg/L

PRUEBA 3 294 mg/L

ANTERIOR

SOLIDOS SUSPENDIDOS	ACIDEZ
<p><b>ENTRADA</b></p> <p>Peso del filto + residuo seco (A) <u>109.23</u> mg</p> <p>Peso del filtro (B) <u>93.5</u> mg</p> <p>Factor de conversión <u>1000</u></p> <p>Volumen de muestra <u>20</u> mg</p> <p><b>SALIDA</b></p> <p>Peso del filto + residuo seco (A) <u>95.87</u> mg</p> <p>Peso del filtro (B) <u>93.5</u> mg</p> <p>Factor de conversión <u>1000</u></p> <p>Volumen de muestra <u>20</u> mg</p> <p>ANTERIOR</p>	<p><b>ENTRADA</b></p> <p>Volumen gastado de NaOH (A) <u>1.7</u> ml</p> <p>Normalidad de NaOH (N) <u>0.01</u> N</p> <p>Volumen de muestra (V) <u>50</u> ml</p> <p>Factor de conversión <u>50000</u></p> <p><b>SALIDA</b></p> <p>Volumen gastado de NaOH (A) <u>0.8</u> ml</p> <p>Normalidad de NaOH (N) <u>0.01</u> ml</p> <p>Volumen de muestra (V) <u>50</u> ml</p> <p>Factor de conversión <u>50000</u></p> <p>ANTERIOR</p>

Fuente: Autores, 2019

La Tabla 12, muestra cada ventana de configuración de los parámetros fisicoquímicos del aplicativo, tales como: DQO total, DQO soluble, turbiedad, sólidos disueltos totales, sólidos suspendidos totales y acidez. Cada parámetro posee su propia configuración para el ingreso de los valores necesario para estimar el valor de cada parámetro mencionado. Después de ingresar los valores necesarios en cada ventana, tocamos en el botón “guardar” y luego tocamos en el botón “siguiente”, que despliega otra ventana así:

RESULTADOS	
ENTRADA AL REACTOR	
DQO Total	4480.0
DQO Soluble	1280.0
Turbiedad	608.4
Sólidos disueltos totales	1183
Sólidos suspendidos totales	786.5
Acidez	17
pH	6.75
Temperatura °C	26.7
DBO5	3742
Grasas & Aceites	176

**Figura 9.** Resultados de parámetros a la entrada del reactor

**Fuente:** Autores, 2019

La Figura 9, muestra la ventana de la app, en la que se muestran los resultados de la caracterización de los parámetros fisicoquímicos evaluados a la entrada del reactor. Es de anotar que los parámetros como pH y temperatura, sus valores se ingresan de manera manual, ya que en laboratorio se tomaron lecturas con un pHmetro de forma inmediata. De igual manera, los valores de DBO5 y grasas & aceites, se ingresan manual, ya que estos parámetros se contrataron con el laboratorio Nancy Flórez García S.A.S, por parte de la empresa Lácteos del Cesar LTDA.

SALIDA DEL REACTOR	
DQO Total	640,0
DQO Soluble	320,0
Turbiedad	46,66
Sólidos disueltos totales	294
Sólidos suspendidos totales	118,5
Acidez	8
pH	7,27
Temperatura °C	26,3
DBO5	1,7
Grasas & Aceites	8
EVALUAR	

**Figura 10.** Resultados de parámetros a la salida del reactor.

**Fuente:** Autores, 2019

La Figura 10, muestra la ventana de la app, en la que se muestran los resultados de la caracterización de los parámetros fisicoquímicos evaluados a la salida del reactor. Al igual que en la entrada, los parámetros como pH, temperatura, DBO5 y grasas & aceite, se ingresan de manera manual, resaltando que grasas & aceites y DBO5, se realizaron contratando los servicios con el laboratorio Nancy Flórez García S.A.S.

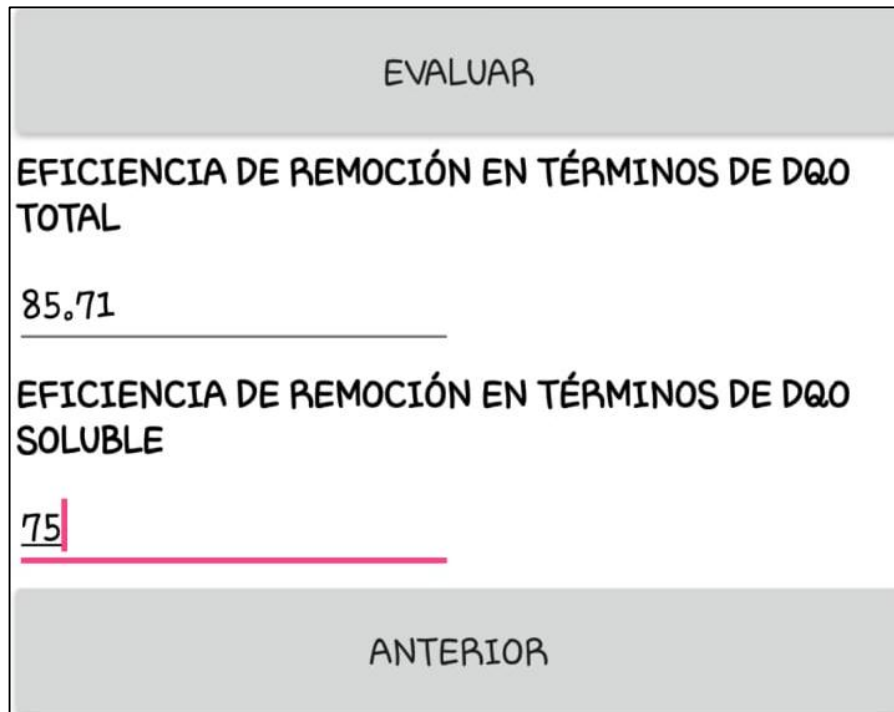
En esta parte de la ventana, tocamos el botón “*evaluar*” que se encuentra en la parte inferior de los parámetros de salida.

SALIDA DEL REACTOR	
DQO Total	640,0
DQO Soluble	320,0
Turbiedad	46,66
Sólidos disueltos totales	294
Sólidos suspendidos totales	118,5
Acidez	8
pH	7,27
Temperatura °C	26,3
DBO5	1,7
Grasas & Aceites	8
EVALUAR	

**Figura 11.** Resultados de parámetros a la salida del reactor comparados con los límites máximos permisibles.

**Fuente:** Autores, 2019

La Figura 11, muestra los resultados a la salida del reactor. Una vez que se toca el botón “*evaluar*”, automáticamente el aplicativo coloca en color verde los parámetros que cumplen con la resolución 0631 de 2015 en sus artículos 12 y 16, referidos a aguas residuales de procedencia de industrias lácteas. Al existir un incumplimiento con la normativa, la aplicación coloca el parámetro que no cumple con los valores máximos permisibles, en color rojo. Los parámetros como DQO soluble, turbiedad, sólidos disueltos totales, acidez y temperatura, la normativa no los evalúa o simplemente se debe analizar y reportar, como es el caso de la acidez.



**Figura 12.** Eficiencia en términos de remoción de DQO total y DQO soluble.

**Fuente:** Autores, 2019

La Figura 12, muestra los porcentajes de eficiencia en términos de DQO total y DQO soluble del reactor. El aplicativo es capaz de calcular la eficiencia, una vez se ingresan los datos de los parámetros de DQO total y DQO soluble, tanto a la entrada como a la salida del sistema y finalmente tocando el botón "evaluar", arroja los porcentajes de eficiencia para cada parámetro de DQO total y DQO soluble, respectivamente.

## 6 CONCLUSIONES

Se diseñó un reactor anaerobio de flujo ascendente (UASB), por sus siglas en inglés, a escala piloto para el tratamiento de las aguas residuales generadas en la empresa Lácteos del Cesar LTDA. El reactor se diseñó para una capacidad de trabajo de 3,517 litros, alimentado por un caudal de  $3,53 \times 10^{-3}$  litros/minuto, con una altura total de 0,5 metros y diámetro de 12 centímetros. El reactor fue inoculado con un lodo de textura fina, para lo cual fue necesario adaptarlo a las condiciones de trabajo del sistema, hasta encontrar una textura granular, que garantice una buena eficiencia.

Se estudió el comportamiento inicial de las aguas residuales durante 4 caracterizaciones realizadas en un punto de muestreo externo a la empresa Lácteos del Cesar LTDA, en el cual confluyen las aguas de proceso antes del vertimiento a el alcantarillado sanitario. Las dos primeras tomas de muestras que se realizaron, se usaron para inocular el lodo con concentraciones de DQO de 3040 mg/L y 3200 mg/L respectivamente. La primera semana de inoculación se realizó con un caudal de  $7,32 \times 10^{-3}$  litros/minutos, para un tiempo de residencia de 8 horas. En las semanas siguientes, se aumentó el tiempo de retención a 35 horas y se disminuyó secuencialmente hasta 16,6 horas, con el que se realizó el diseño. Con la tercera caracterización realizada, se empezó a operar el reactor con un tiempo de residencia de 16,6 horas, un caudal de  $3,53 \times 10^{-3}$  litros/minutos y una concentración de DQO de 4480 mg/l.

Se estimó el índice de biodegradabilidad o relación  $DBO_5/DQO$ , el cual arrojó un valor de 0,835 para constatar que las aguas residuales que se caracterizaron, fueran tratadas de manera efectiva por el sistema biológico propuesto. Los parámetros a la salida del reactor como DQO,  $DBO_5$ , grasas & aceites, sólidos suspendidos totales y pH; cumplen con los valores máximos permisibles según la resolución 0631 de 2015.

El reactor mostró una buena tasa de remoción de materia orgánica en términos de DQO total y DQO soluble, con valores de 85,71% y 75% respectivamente. Los sistemas anaerobios de tratamiento de aguas residuales, muestran una buena eficiencia en zonas de clima cálido, por lo que la temperatura juega un papel importante en la cinética de crecimiento microbiano; además de que presentan bajo costo de operación, en comparación a sistemas de tratamiento de aguas residuales compactos.

## 7 RECOMENDACIONES

- Variar el tiempo de retención hidráulico de mayor a menor en aras de encontrar la máxima eficiencia a menor tiempo de residencia del reactor.
- Realizar el montaje a temperatura ambiente, evitando recintos o espacios con sistemas de enfriamiento de aire, para así evitar alteraciones en la cinética de crecimiento microbiano.
- Realizar caracterizaciones periódicas a la salida del reactor, para evaluar la calidad del lodo de inoculación, en función de la tasa de remoción de materia orgánica semanal o quincenal.
- Ejecutar un monitoreo continuo de pH, a fin de evitar que el agua residual se acidifique antes de entrar al sistema e inhiba el crecimiento microbiano.
- Evaluar el reactor con variación de carga orgánica, con el fin de verificar el comportamiento y eficiencia del sistema.
- Contemplar el diseño de un sistema de tratamiento preliminar eficiente en la empresa Lácteos del Cesar LTDA, con el fin de remover sólidos y sedimentos, para aumentar la eficiencia el tratamiento secundario o biológico.
- Implementar un filtro de carbón activado a la salida del reactor para remover olores y obtener una mayor eficiencia del sistema.
- Contemplar el seguimiento y evaluación de otros parámetros presentes en aguas residuales como nitrógeno y fosforo.
- Implementar un laboratorio de aguas en la empresa Lácteos del Cesar, con la finalidad de monitorear los parámetros fisicoquímicos de las aguas residuales, apoyados en aplicativo móvil y así tener un registro en tiempo real de las características y composición del agua.

## 8 BIBLIOGRAFÍA

- Arango, O., & Sanches, L. (2009). TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA INDUSTRIA LÁCTEA EN SISTEMAS ANAEROBIOS TIPO UASB. *Scielo*.
- Díaz, R., & Vega, J. C. (2013). EFECTO DE LA VARIACION DE LA CARGA ORGANICA EN EL DESEMPEÑO DE UN REACTOR UASB(UPFLOW ANAEROBIC SLUDGE BLANKET) TRATANDO EFLUENTES DE UNA PLANTA EXTRACTORA DE ACEITE DE PALMA. *Revista Ambiental Agua, Aire y Suelo*.
- El espectador. (25 de Septiembre de 2008). Colombia solo trata el 9% de sus aguas residuales. Bogota, Cundinamarca, Colombia.
- Escuela de Ingeniería de Antioquia. (09 de Diciembre de 2009). *Tratamiento de aguas residuales*. Obtenido de Tratamiento de aguas residuales: <http://fluidos.eia.edu.co/hidraulica/articulos/interesantes/tratamientoresiduales/tratamientoresiduales.html>
- Espinosa Rodriguez, M ; Fall, C. (2013). Optimizacion de la produccion de lodos, en un sistema de lodos activados a traves de la calibracion del modelo ASM1. *Sciencedirect*.
- Fernandez, F., & Seghezzo, L. (2015). *DISEÑO DE REACTORES UPFLOW ANAEROBIC SLUDGE BLANKET (UASB)*. Salta: Universidad Nacional de Salta.
- Iñiguez, G., & Camacho, A. (2011). Evaluación de un reactor de manto de lodo con flujo ascendente (UASB) con cambios de velocidad de alimentación. *Ingeniería Investigación y Tecnología*.

- Liviác, D., & Vela, R. (2015). TRATAMIENTO ANAEROBIO DEL SUERO DE QUESO EN REACTORES DISCONTINUOS Y UASB A ESCALA LABORATORIO.
- López, L. I., & Leal, M. T. (2013). *Evaluación del Diseño de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Propuesta para la Localidad de Cosautlán de Carvajal, Veracruz*. Obtenido de <https://cdigital.uv.mx/bitstream/handle/123456789/42246/LopezfernandezLucerito.pdf;jsessionid=253ACDB175DB5BC2E545EB4341D2FD36?sequence=1>
- Luo, J., Ding, L.-H., Yinhuá, W., & Paullier, P. (2010). Aplicación del módulo NF-RDM (membrana de disco giratorio de nanofiltración) en condiciones hidráulicas extremas para el tratamiento de aguas residuales de productos lácteos. *Revista de ingeniería química*.
- Mass Torres, Karen; Medrano Manga, Yenifer. (2013). Tratamiento de aguas residuales a partir de digestion anaerobia.
- Metcalf, & Eddy. (2004). *AGUAS RESIDUALES TRATAMIENTO, VERTIDO Y REUTILIZACIÓN*. Santafe de Bogotá: McGraw-Hill.
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2014). Resolución 0631 . *Miniambiente*.
- Ministerio de Energia. (2011). *Manual del Biogas*. Santiago.
- Noyola A, Morgan J & Guerreca L. (2013). *Selección de tecnologías para el tratamiento de aguas residuales*. Obtenido de <https://www.globalmethane.org/documents/Seleccion-de-Tecnologias-para-el-Tratamiento-de-Aguas-Residuales-Municipales.pdf>
- Orozco, A. (2005). En A. Orozco, *Bioingeniería de aguas residuales, teoría y diseño* (pág. 3). Acodal.

- Orozco, A. (2005). *Bioingeniería de aguas residuales*. Acodal.
- Orozco, Á. (2005). *Bioingeniería de aguas residuales teoría y diseño*. Bogotá: ACODAL.
- Parra, R. A., & Campos, R. G. (2013). Tratamiento de lactosuero ácido en un reactor UASB a diferentes cargas constantes y puntuales. *SciELO*.
- Ramalho, R. (1996). *Tratamiento de aguas residuales*. Reverté.
- Rodriguez, A., Letón, P., Rosal, R., Dorado, M., Villar, S., & Sanz, J. (2006). *Tratamientos avanzados de aguas residuales industriales*. CEIM.
- Romero, J. A. (2010). *Tratamiento de aguas residuales teoría y principios de diseño*. Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería.
- Tchobanoglous, G. (2004). *Tratamiento de aguas residuales en pequeñas poblaciones*. Bogotá, Colombia: Mc Graw-Hill.
- Tejero J, Garcia A, De florio L, Montero R, Garcia A & Rodriguez L. (2012). Tecnologías de biopelículas innovadoras para la depuración de aguas residuales : Veinticinco. 66-67.
- Textos científicos. (15 de Octubre de 2016). Obtenido de Fermentación anaerobia: <http://www.textoscientificos.com/energia/fermentacion>
- UNESCO. (2017). *¿Son las aguas residuales el nuevo oro negro?* Obtenido de <https://es.unesco.org/news/son-aguas-residuales-nuevo-oro-negro>
- Universidad Nacional Abierta y a Distancia. (18 de Abril de 2016). *Unad.edu.co*. Obtenido de [http://datateca.unad.edu.co/contenidos/301332/contLinea/leccin\\_5\\_digestin\\_anaerobia.html](http://datateca.unad.edu.co/contenidos/301332/contLinea/leccin_5_digestin_anaerobia.html)
- Universidad Nacional Abierta y a Distancia. (2008). *Características de las aguas residuales*. Obtenido de Características de las aguas residuales:

[http://datateca.unad.edu.co/contenidos/301332/contLinea/leccin\\_2\\_caracteristicas\\_de\\_las\\_aguas\\_residuales.html](http://datateca.unad.edu.co/contenidos/301332/contLinea/leccin_2_caracteristicas_de_las_aguas_residuales.html)

Vacca, V., Rincón, N., Colina, G., Marín, J., Díaz, A., Behling, E., . . . Fernández, N. (2008). Tratamiento anaerobio para la remoción de compuestos fenólicos e hidrocarburos saturados. *Scielo*.

Vamero, M. T. (09 de 04 de 2016). Manual del biogas. 14-15. Obtenido de <http://www.fao.org/docrep/019/as400s/as400s.pdf>

Varilla, J. A., & Diaz Lopez, F. E. (2008). Tratamiento de aguas residuales mediante lodos activados a escala laboratorio. *Revista de Tecnologia*.

Vide, M. (2015). Restauracion del río Besos en Barcelona. Historia y lecciones. *Elsevier*.

## 9 ANEXOS

### Anexo A. Resultado caracterización Lácteos del Cesar LTDA


**Nancy Flórez García S.A.S**  
 Confiables e íntegros  
 NIT: 824.005.5188-0

COD: RO-104 Ver: 07 del 14 de Febrero de 2018  
**CERTIFICADO DE ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO**  
 N° 15870

<b>INFORMACION DEL CLIENTE</b>		NIT : 892301290
EMPRESA : LÁCTEOS DEL CESAR S.A	DIRECCION : CR 7A N° 30A-04	CIUDAD : VALLEDUPAR
CONTACTO : JUAN MIGUEL DIAZ CASTILLA	CARGO : ANALISTA AMBIENTAL	TELEFONO : 3106487986

<b>INFORMACION DE LA MUESTRA</b>		HORA MUESTRA : 06:25 PM
NOMBRE : AGUA RESIDUAL NO DOMESTICA	LUGAR DE MUESTREO : LACTEOS DEL CESAR	MUESTREO : 08/06/2018
PUNTO DE MUESTREO : EFLUENTE STARND	COORDENADAS GEOGRAFICAS: N: 10° 27' 28,9", O: 073° 14' 48,9"	RECEPCION : 09/06/2018
CODIGO : 180638805	TIPO DE MUESTRA : COMPUESTA	INICIO ENSAYOS : 09/06/2018
LOTE : N.A	PLAN DE MUESTREO : 18-04028	FINAL ENSAYOS : 21/06/2018
REGISTRO INVIMA : N.A	PROC. DE MUESTREO : PO-29	INFORME : 25/06/2018

ANALISIS	METODO - TECNICA	ESPECIFICACION	RESULTADO
Acidez Total mg CaCO3/L	SM 2310 B - Titulométrico	Análisis y Reporte	278
Alcalinidad Total mg CaCO3/L (A)	SM 2320 B - Volumétrico	Análisis y Reporte	<0,500
Caudal (Insitu) L/s (A)	Volumétrico - Volumétrico	N.R	0,437
Cloruros mg Cl/L (A)	SM 4500-Cl B - Argentométrico	500,00	<2,00
Color Real 436nm m <sup>-1</sup> (pH 6,37/24,8°C)	ISO 7887 B - Fotométrico	Análisis y Reporte	7,1
Color Real 525nm m <sup>-1</sup> (pH 6,37/24,8°C)	ISO 7887 B - Fotométrico	Análisis y Reporte	6,2
Color Real 620nm m <sup>-1</sup> (pH 6,37/24,8°C)	ISO 7887 B - Fotométrico	Análisis y Reporte	6,5
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5) mg O2/L (A)	SM 5210 B / EPA 360.3 - Incubación 5 días	375,00	3742
Demanda Química de Oxígeno (DQO) mg O2/L (A)	SM 5220 C - Reflujo cerrado - Volumétrico	675,00	5838
Dureza Calcica mg CaCO3/L (A)	SM 3500-Ca B - Volumétrico - EDTA	Análisis y Reporte	223
Dureza Total mg CaCO3/L (A)	SM 2340 C - Volumétrico - EDTA	Análisis y Reporte	264
Fósforo reactivo total mg P-PO4/L (A)	SM 4500-P E - Acido ascórbico	Análisis y Reporte	10,5
Fósforo Total mg P/L (A)	SM 4500-P B,E - Fotométrico	Análisis y Reporte	47,2
Grasas y Aceites mg/L (A)	SM 5520 B - Partición líquido - líquido	30,00	176
Nitratos mg N-NO3/L (A)	J. Rodier, 3ra Ed. 1998 - Fotométrico	Análisis y Reporte	<0,200
Nitritos mg N-NO2/L (A)	SM 4500-NO2 B - Fotométrico	Análisis y Reporte	0,008
Nitrógeno Amoniacal mg N-NH3/L (A)	SM 4500-NH3 B,C - Titulométrico	Análisis y Reporte	11,6
Nitrógeno Total Kjeldahl mg N/L (A)	SM 4500-Norg B / SM 4500-NH3 B,C - Volumétrico	Análisis y Reporte	114
pH (Insitu) (30,0 °C) U de pH (A)	SM 4500-H+ B - Electrométrico	5,00 a 9,00	6,35
Sólidos Sedimentables mL/L (A)	SM 2540 F - Cono Imhoff	3,00	32
Sólidos Suspendidos Totales mg/L (A)	SM 2540 D - Gravimétrico	225,00	623
Sulfatos mg SO4/L (A)	SM 4500-SO4 E - Turbidimétrico	500,00	21,9
Surfactantes aniónicos mg SAAM/L (A)	SM 5540 C - Fotométrico	Análisis y Reporte	0,627
Temperatura (Insitu) °C (A)	SM 2550 B - Electrométrico	40,00 °C	30,0

Especificación: RESOLUCIÓN 0631 DEL 2015 ART 12 Y 16 (ELABORACIÓN DE PRODUCTOS LÁCTEOS) - (MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE)

Página 1 de 2

Teléfonos: (5)5842072 Fax:5703920-3145060908 E-mail: calidad.amb@labsnancyflorez.com.co  
 Carrera 15No. 13C - 72 Esquina - Valledupar

COD: RO-104 Ver. 07 del 14 de Febrero de 2018

**CERTIFICADO DE ANALISIS FISICOQUIMICO**  
N° 15870

**INFORMACION DEL CLIENTE**

EMPRESA : LACTEOS DEL CESAR S.A  
 DIRECCION : CR 7A N° 30A-04  
 CONTACTO : JUAN MIGUEL DIAZ CASTILLA  
 CARGO : ANALISTA AMBIENTAL

NIT : 892301290  
 CIUDAD : VALLEDUPAR  
 TELEFONO : 3106487986

**INFORMACION DE LA MUESTRA**

NOMBRE : AGUA RESIDUAL NO DOMESTICA  
 LUGAR DE MUESTREO : LACTEOS DEL CESAR  
 PUNTO DE MUESTREO : EFLUENTE STARnd  
 COORDENADAS GEOGRAFICAS : N: 10° 27' 28,9"; O: 073° 14' 48,9"  
 CODIGO : 180638805  
 LOTE : N.A  
 REGISTRO INVIMA : N.A  
 TIPO DE MUESTRA : COMPUSTA  
 PLAN DE MUESTREO : 18-04028  
 PROC. DE MUESTREO : PO-29

HORA MUESTRA : 06:25 PM  
 MUESTREO : 08/06/2018  
 RECEPCION : 09/06/2018  
 INICIO ENSAYOS : 09/06/2018  
 FINAL ENSAYOS : 21/06/2018  
 INFORME : 25/06/2018

**NOTA :**


La fecha de muestreo fue concretada y programada con el cliente.  
 La muestra cumple con los parámetros de la especificación para: Cloruros, Sulfatos, pH y Temperatura.  
 N.A: No Aplica      N.S: No Suministrado      N.R: Parametro no requerido por la especificación  
 (A): Acreditado      (S): Subcontratado  
 Todo resultado del laboratorio está respaldado por una marca que verifica su autenticidad.  
 Resultado no controlado una vez entregado al cliente.  
 El resultado aplica unicamente a la muestra recibida y analizada.  
 No se permite la reproducción parcial de este documento sin autorización expresa del laboratorio.

**APROBÓ**

*Gipsy Abril Peña Ramirez*

**GIPSY PEÑA**  
 Jefe Físicoquímica  
 Fin de Informe

## Anexo B. Caracterización de la DBO5 y grasas & aceites a la salida del reactor.



**COD: RO-104 Ver: 08 del 17 de Agosto de 2018**  
**CERTIFICADO DE ANALISIS**  
**N° 20102**

**INFORMACIÓN DEL CLIENTE**  
 EMPRESA : JESID YESNEIDER ACOSTA TORRES  
 DIRECCIÓN : CALLE 18B #4-7B EL CARMEN  
 CONTACTO : JESID ACOSTA  
 CARGO : ESTUDIANTE  
 NIT : 1003240631  
 CIUDAD : VALLEDUPAR  
 TELÉFONO : 3013511548

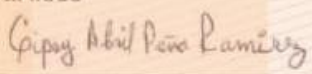
**INFORMACIÓN DE LA MUESTRA**  
 NOMBRE : AGUA RESIDUAL NO DOMESTICA  
 LUGAR DE MUESTREO : Universidad Popular del Cesar  
 PUNTO DE MUESTREO : REACTOR  
 TIPO DE MUESTRA : SIMPLE  
 PLAN DE MUESTREO : N.S  
 PROC. DE MUESTREO : N.S  
 CODIGO : 181143465  
 LOTE : N.A  
 REGISTRO INVIMA : N.A  
 HORA MUESTRA : 13:00  
 MUESTREO : 2018/11/15  
 RECEPCIÓN : 2018/11/15  
 INICIO ENSAYOS : 2018/11/16  
 FINAL ENSAYOS : 2018/11/27  
 INFORME : 2018/11/28

Físicoquímico					
ANÁLISIS	MÉTODO - TÉCNICA	LCM	FECHA ANÁLISIS	ESPECIFICACIÓN	RESULTADO
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5) mg O2/L (A)	SM 8210 B / EPA 360.3 - Incubación 5 días	2,00	2018/11/16	375,00	+ 3,00
Grasas y Aceites mg/L (A)	SM 5520 B - Partición Líquido - líquido	10,0	2018/11/26	90,00	< 10,0

Especificación: RESOLUCIÓN 0631 DEL 2015 ART 12 Y 14 (ELABORACIÓN DE PRODUCTOS LÁCTEOS) - (MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE)

**NOTA:**  
 Muestra tomada y traída al laboratorio por el cliente.  
 La muestra cumple con los parámetros de la especificación.

N.A: No Aplica      N.S: No Suministrado      N.R: Parametro no requerido por la especificación  
 (A): Acreditado      (S): Subcontratado      (LCM) Limite de cuantificación del método  
 Todo resultado del laboratorio está respaldado por una marca que verifica su autenticidad.  
 Resultado no controlado una vez entregado al cliente.  
 El resultado aplica únicamente a la muestra recibida y analizada.  
 No se permite la reproducción parcial de este documento sin autorización expresa del laboratorio.  
 Cuando se coloque la sigla N.S en la Fecha de Análisis, indica que el Laboratorio Subcontratado no la ha suministrado en el certificado de análisis entregado.  
 Para los ensayos microbiológicos y DBO, la fecha de análisis corresponde a la fecha de inicio de los mismos. La fecha de finalización cumple en cada caso los tiempos establecidos en el método.  
 Laboratorio Acreditado por el IDEAM según Resolución No. 1658 del 12 de julio de 2011, Resolución de Renovación - Extensión No. 1927 del 29 de julio de 2014, Resolución de Extensión No 1326 del 23 de junio de 2017, Resolución de Extensión No. 0099 del 9 de enero de 2018

**APROBÓ**  
  
**GIPSY PEÑA**  
 TP: PQ 06476  
 Jefe Físicoquímica  
 Fin de Informe

Página 1 de 1

Teléfonos: (5)5842072 Fax:5703920-3145060908 E-mail: calidad.amb@labsnancyflorez.com.co  
 Carrera 15No. 13C - 72 Esquina - Valledupar

Anexo C. Formatos de asistencia al laboratorio de Ingeniería Ambiental y Sanitaria



Universidad  
Popular del Cesar



Departamento  
Ingeniería Ambiental y Sanitaria

CONTROL DE ENTRADA Y SALIDA DE ESTUDIANTES CON PROYECTO DE GRADO

SEMESTRE II-2018

FECHA	NOMBRES Y APELLIDOS	DOCUMENTO	HORA DE ENTRADA	HORA DE SALIDA	FIRMA	OBSERVACION
19/09/2018	Osvaldo David Beltrán Díaz	1065655457	9:00 am	6:00 pm	Osvaldo Díaz	
19/09/2018	Héctor Antonio Rava Morales	1065654021	9:00 A.M	6:00 P.M	Héctor Rava	
20/09/2018	Osvaldo David Beltrán Díaz	1065655457	10:00 A.M	6:00 P.M	Osvaldo Díaz	
20/09/2018	Héctor Antonio Rava Morales	1065654021	9:00 A.M	6:00 P.M	Héctor Rava	
20/09/2018	Heselin Pérez Mejía	1067217781	9:15 A.M	6:00 P.M	Heselin Pérez	
20/09/2018	Luis Miguel Lara Castro	1062910270	9:15 am	6:00 pm	Luis Lara	
21/09/2018	José Esteban Ramírez	1065836281	9:25 am	6:00 pm	José Ramírez	
24/09/2018	Ender Rosendo Díaz	1063728305	9:25 am	6:00 pm	Ender Díaz	
27/09/18	Keila Bentes Ruiz	10658211195	9:40 am	10:15 am	Keila Bentes	
28/09/18	Alejandro Betancourt V	1065817233	2:00 pm	6:00 pm	Alejandro Betancourt	
28/09/18	Hector Rava Morales	1065654021	3:00 PM	6:00 PM	Hector Rava	
28/09/18	Osvaldo David Beltrán Díaz	1065655457	8:00 AM	6:00 pm	Osvaldo Díaz	
28/09/2018	Vaferel José Osorio Pérez	1064801659	10:00 AM	6:00 PM	Vaferel Osorio	
01/10/2018	Deiver Cáceres Julio	1065828908	10:00 am	6:00 pm	Deiver Cáceres	
01/10/2018	Osvaldo David Beltrán Díaz	1065655457	10:00 A.M	6:00 pm	Osvaldo Díaz	

CONTROL DE ENTRADA Y SALIDA DE ESTUDIANTES CON PROYECTO DE GRADO

SEMESTRE II-2018

FECHA	NOMBRES Y APELLIDOS	DOCUMENTO	HORA DE ENTRADA	HORA DE SALIDA	FIRMA	OBSERVACION
01/10/2018	Hector Pava Morales.	1065654021	3:00 P.M	6:00 PM	H. Pava	
02/10/2018	Cesar David Beland Diaz	1065655457	8:00 Am	6:00 pm	Cesar Beland	
02/10/2018	Robel José Cario Perez	1064801659	10:00 AM	3:00 Pm	Robel Cario	
02/10/2018	Deiver Cáceres Julio	1065828908	10:00 AM		Deiver Cáceres	
04/10/2018	Luis Angel Luna Castro	1062910290	10:00 am	6:00 pm	Luis Angel	
02/10/2018	Zinzair Meja	101-166194	3:00 pm	5:00 pm	Zinzair	
02/10/2018	Yoselin Perez Mejia	1067817981	8:00 am	6:00 pm	Yoselin P.M	
02/10/2018	Hector Antonio Pava Morales	1065654021	8:00 A.M	6:00 P.M	H. Pava	
03/10/18	Yoselin Perez Mejia .	1067817781	8:00 AM	6:00 PM	Yoselin P.M	
03/10/2018	Robel José Cario Perez	1064801659	8:00 AM	6:00 PM	Robel Cario	
03/10/2018	Luis Angel Luna Castro	1062910290	8:00 Am	6:00 pm	Luis Angel	
03/10/2018	Deiver Cáceres Julio	1065828908	12:00 AM	8:00 PM	Deiver Cáceres	
03/10/2018	Andrés Felipe Ribón Hernández	1065826312	10:00 am	6:00 pm	Andrés Ribón	
03/10/2018	Hector Pava Morales	1065654021	8:00 A.M	6:00 P.M	H. Pava	
03/10/2018	Zinzair Meja fonsa	1010126198	10:00 am	6:00 pm	Zinzair	



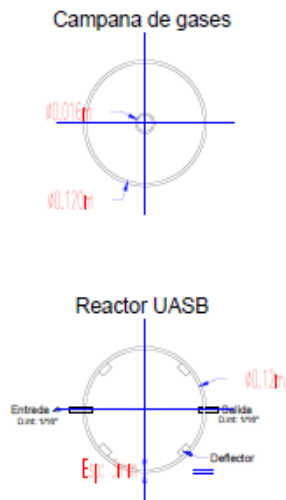
CONTROL DE ENTRADA Y SALIDA DE ESTUDIANTES CON PROYECTO DE GRADO

SEMESTRE II-2018

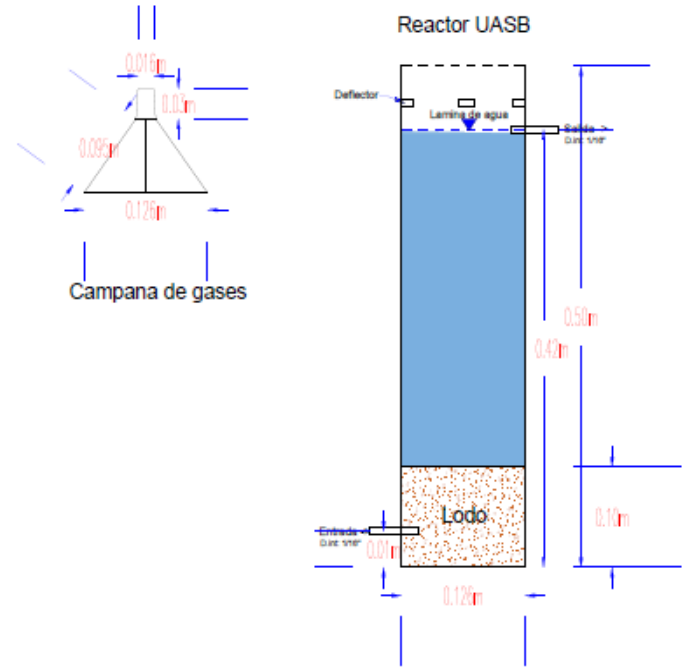
FECHA	NOMBRES Y APELLIDOS	DOCUMENTO	HORA DE ENTRADA	HORA DE SALIDA	FIRMA	OBSERVACION
5/10/2018	Jhon Carlos Campo Jimenez	1065650308	9:30 Am	12:00 Am	Jhon Carlos	
5/10/2018	Albino Lobo Buzo	1065656769	9:30 Am	12:00 Am	Albino	
5/10/2018	Maria Fernanda Martinez	1067816356	8:30 Am	6:00 Pm	Maria F	
5/10/2018	Luis Miguel Luna Castro	1062910270	8:00 Am	6:00 Pm	Luis M	
5/10/2018	Hector Pava Morales	1065654021	9:00 AM	6:00 PM	Hector	
8/10/2018	Edwin Gome B.	1062402339	8:40 AM	6:00 PM	Edwin	
08/10/2018	Hector Pava Morales	1065654021	9:00 AM	8:00 PM	Hector	
8/10/2018	Jhon Carlos Campo Jimenez	1065650308	9:00 Am	6:00 Pm	Jhon Carlos	
8/10/2018	Albino Lobo Buzo	1065656769	8:30 Am	6:00 Pm	Albino	
9/10/2018	Sahlyn Sege Rodriguez	1065827858	10:20 Am	10:57 pm	Sahlyn	
9/10/2018	Feyla Renteria Ruiz	1065824475	10:20 Am	10:57 pm	Feyla Renteria	
09/10/2018	Luis Miguel Luna Castro	1062910270	11:01 am		Luis M	
09/10/2018	Yubiel José Osorio Perez	1064801659	11:01 am		Yubiel	
10/10/2018	Luis Alfredo Torres Gutierrez	1049943367	9:47 am		Luis A	
10/10/2018	Jhon Carlos Campo Jimenez	1065650308	8:30 Am	4: Pm	Jhon Carlos	

## Anexo D. Plano del reactor UASB

### VISTA EN PLANTA



### VISTA FRONTAL



UNIVERSIDAD POPULAR DEL CESAR  
 FACULTAD DE INGENIERIAS Y TECNOLOGIAS  
 INGENIERIA AMBIENTAL Y SANITARIA  
 VALLEDUPAR-CESAR  
 2019

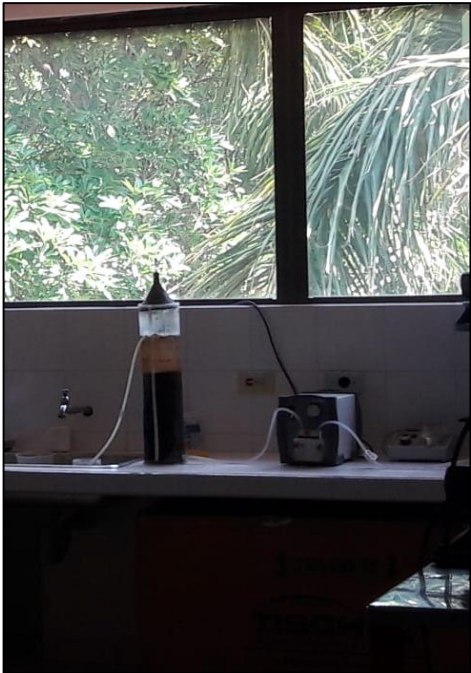
Proyecto de grado:  
 DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN  
 PROTOTIPO DE REACTOR UASB PARA  
 EL TRATAMIENTO DE AGUAS  
 RESIDUALES DE LACTEOS DEL CESAR  
 EN VALLEDUPAR.

Autores:  
 ACOSTA TORRES JESID YESNEIDER  
 PAVA MORALES HECTOR ANTONIO

Fecha: 09/04/2019

Escala: Plano No.  
 1 de 1

**Anexo E. Montaje y puesta en marcha del Reactor.**



**Anexo F.** Estimación de parámetros como DQO, Acidez, Sólidos disueltos, pH y Temperatura.



**Anexo G. Muestras a la entrada y salida del reactor**

