



UNIVERSIDAD  
NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
NICARAGUA,  
MANAGUA  
UNAN - MANAGUA

RECINTO UNIVERSITARIO RUBÉN DARO  
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA  
DEPARTAMENTO DE QUÍMICA  
CARRERA QUÍMICA INDUSTRIAL

## MONOGRAFÍA PARA OPTAR AL TÍTULO DE LICENCIADO EN QUÍMICA INDUSTRIAL

**TÍTULO:** Estimación de la biodegradabilidad del efluente de las aguas residuales generadas en el CIRA/UNAN-Managua empleando el Método ISO 10707 y Línea Guía de la OECD 301D en el Laboratorio de Aguas Residuales, CIRA/UNAN-Managua, octubre 2018 – diciembre 2019.

**Autor:**

Br. Martínez Espinoza Freddy Alexander

**Tutor:**

Ing. Felipe Cándido Mendoza Arriaza

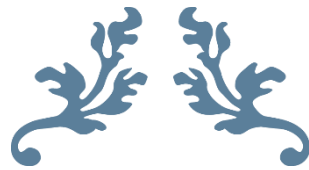
**Asesor técnico:**

MSc. Osnar Antonio Mondragón Grios

**Asesor metodológico:**

Esp. José Luis Prado Arroliga

Managua, diciembre 2019.



---

# ASPECTOS GENERALES

---



**TÍTULO:**

Estimación de la biodegradabilidad del efluente de las aguas residuales generadas en el CIRA/UNAN-Managua empleando el Método ISO 10707 y Línea Guía de la OECD 301D en el Laboratorio de Aguas Residuales, CIRA/UNAN-Managua, octubre 2018 – diciembre 2019.

## **Dedicatoria**

### ***Al padre celestial:***

Por brindarme salud, entendimiento, sabiduría y paciencia; por regalarme los días y permitirme llegar hasta esta etapa de mi vida, con buenos valores y la humildad necesaria para afrontar cada prueba.

### ***A mis padres:***

***Fátima del Socorro Espinoza***

***Carlos José Martínez Arroliga***

Por forjarme como la persona que soy en la actualidad; este y cada uno de mis logros los debo a ustedes; quienes con paciencia y dedicación me han mostrado lecciones invaluable para seguir adelante luchando por alcanzar mis metas.

### ***A mis familiares y amistades:***

En especial a mis sobrinas Alyeri y Alexa espero lograr ser una inspiración para ellas y poder guiarlas a alcanzar lo que anhelen sus corazones, esperando poder construir un buen futuro para ustedes.

A mis amistades quienes estuvieron en cada momento que necesite ayuda y consejo. En especial a la familia Delgado Sotelo quienes me brindaron de su apoyo y su hogar en momentos difícil, siempre le estaré agradecido eternamente.

## **Agradecimiento**

Durante el camino recorrido en estos años de mi formación profesional fueron muchas las personas que contribuyeron en el proceso y culminación para alcanzar esta meta en mi vida; ahora me encontrare con una nueva etapa y espero poder afrontarla tal como lo he hecho ahora.

Agradezco a mis padres; porque en medio de las dificultades no han dejado de luchar para que hoy pueda culminar mi carrera profesional, y así poder seguir adelante con los mismos valores que inculcaron en mí.

Le agradezco a mi tutor el Ing. Felipe Mendoza y asesores el MSc. Osnar Mondragón y el Esp. José Luis Prado por su apoyo y motivación y sobre todo tenerme paciencia y siempre estar dispuesto a aclarar cualquier duda que afronte a lo largo mi investigación.

Agradezco al CIRA/UNAN-Managua, en especial a la Maestra Selvia Flores Sánchez Directora del Centro, por confiar en mí y abrirme las puertas para poder realizar mi tesis en sus instalaciones, brindándome el acceso a los materiales necesarios y por el financiamiento de mi investigación.

También agradezco a los docentes quienes aportaron en mi formación y a mis amistades quienes siempre estuvieron brindando su apoyo; a su vez al colectivo del Laboratorio de Aguas Residuales por el apoyo y por hacerme sentir uno más de ustedes.



UNIVERSIDAD  
NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
NICARAGUA,  
MANAGUA  
UNAN - MANAGUA

## CONSTANCIA DE AUTENTICIDAD Y AVAL TUTORIAL



Jueves, 12 de diciembre del año 2019

La monografía titulada “Estimación de la biodegradabilidad del efluente de las aguas residuales generadas en el CIRA/UNAN-Managua empleando el Método ISO 10707 y Línea Guía de la OECD 301D en el Laboratorio de Aguas Residuales, CIRA/UNAN-Managua, octubre 2018 – diciembre 2019” ha sido realizada con autenticidad por: Br. Freddy Alexander Martínez Espinoza, bajo mi tutoría y con asesoramiento técnico y metodológico por el MSc. Osnar Antonio Mondragón Grios y el Esp. José Luis Prado Arroliga.

Esta investigación es el comienzo de un largo camino para incentivar el desarrollo de nuevas investigaciones, relacionadas a las áreas de Biotecnología Ambiental e Industrial y otras ramas de las ciencias de la química que están vinculadas con la elaboración de plantas tratamiento de aguas residuales provenientes de los procesos industriales y la realización de controles de calidad de la misma. Los resultados obtenidos podrían ser información y valores de referencias, para realizar estudios mediambientales.

Con certeza manifiesto que el bachiller: Freddy Alexander Martínez Espinoza ha desarrollado la capacidad investigadora y liderazgo en las actividades para culminar este trabajo, además ha cumplido con todas las disposiciones y requisitos académicos en cuanto a la elaboración de esta monografía para optar al título de licenciado en química industrial.

---

Ing. Felipe Mendoza Arriaza

Tutor

---

MSc. Osnar Mondragón Grios

Asesor Técnico

---

Esp. José Luis Prado Arroliga

Asesor Metodológico

## **Resumen**

El estudio para la estimación de la biodegradabilidad de las aguas residuales del CIRA/UNAN-Managua, se llevó a cabo mediante la implementación del método ISO 10707 y Línea Guía de la OECD 301D, ensayo conocidos como biodegradabilidad última fácil o prueba de la botella cerrada; para ello se elaboró un manual de procedimiento para el mejor manejo de ambas metodologías; a su vez fue necesario el desarrollo de un inóculo líquido, a partir del efluente de los sedimentadores secundarios de un sistema de tratamiento de origen biológico en un reactor aireado de mezcla completa; estos microorganismos permitirán biodegradar la materia orgánica presente en el efluente final. El estudio también aborda una inspección in situ para el reconocimiento del punto idóneo donde serán tomadas las muestras del residual, la medición del caudal y caracterización físico-química del efluente, comparando los resultados que serán obtenidos con lo establecido en el Reglamento Disposiciones para el Vertido de Aguas Residuales No. 21-2017 que especifica su artículo 22. La estimación del porcentaje de biodegradabilidad del efluente final es de 94,78%, paralelo a esto el análisis de los parámetros y rangos máximo permisibles que establece el Reglamento proporcionaron valores aceptables con respecto a la caracterización del efluente; para lo cual la recolección de estos datos conllevarán al CIRA/UNAN-Managua a futuras investigaciones, en el ámbito del estudio de la biodegradabilidad tanto para aquellas aguas que son sometidas en los procesos industriales como a productos químicos, teniendo en cuenta la elaboración de un sistema de tratamiento biológico en el efluente.

**Palabras claves:** *Biodegradabilidad, inóculo, reactor, tratamiento biológico, caudal, caracterización.*

# Índice

## ASPECTOS GENERALES

Titulo	
Dedicatoria .....	i
Agradecimiento .....	ii
Carta Aval .....	iii
Resumen .....	iv

## CAPÍTULO I

1.1 Introducción .....	1
1.2 Planteamiento del problema .....	2
1.3 Justificación .....	3
1.4 Objetivos .....	4
1.4.1 Objetivo General .....	4
1.4.2 Objetivos Específicos .....	4

## CAPÍTULO II

2.1 Marco teórico .....	5
2.1.1 Agua residual .....	5
2.1.2 Caracterización Físico-Química del Agua Residual .....	5
2.1.3 Principales contaminantes .....	6
2.1.4 Calidad del agua .....	8
2.1.5 Muestreo de aguas .....	8
2.1.5.1 Toma de muestras .....	9
2.1.5.2 Tipos de muestras .....	9
2.1.5.3 Preservación de las muestras .....	9
2.1.6 Caudal .....	10



2.1.6.1 Medición del Caudal.....	11
2.1.7 Inóculo .....	12
2.1.8 Lodos activados.....	14
2.1.9 Biodegradabilidad .....	14
2.1.9.1 Biodegradabilidad del Agua Residual .....	15
2.1.9.2 Biodegradabilidad según la OECD 301D .....	15
2.1.9.3 Biodegradabilidad según la ISO 10707 .....	16
2.1.10 Parámetros de Caracterización Según el Reglamento No. 21-2017 .....	17
2.1.10.1 Artículo 22.....	17
2.2 Antecedentes .....	20
2.3 Hipótesis .....	22
<b>CAPITULO III</b>	
3.1 Diseño Metodológico.....	23
3.1.1 Descripción del ámbito de estudio .....	23
3.1.2 Tipo de estudio .....	24
3.1.2.1 Alcance de la investigación.....	24
3.1.2.2 Según su orientación de tiempo.....	24
3.1.3 Población y muestra .....	25
3.1.3.1 Población .....	25
3.1.3.2 Muestra .....	25
3.1.4 Criterios de selección de la muestra.....	26
3.1.4.1 Criterios de inclusión.....	26
3.1.4.2 Criterios de exclusión.....	26
3.1.5 Variables.....	26
3.1.5.1 Variables independientes.....	26

3.1.5.2 Variables dependientes.....	26
3.1.6 Operacionalización de las variables .....	27
3.1.7 Materiales y métodos.....	28
3.1.7.1 Materiales para recolectar información .....	28
3.1.7.2 Materiales para procesar información .....	29
3.1.7.3 Equipos, reactivos y materiales de Laboratorio.....	29
3.1.7.4 Método .....	32
3.2 Metodología.....	33
3.2.1 Inspección in situ (identificación punto de muestreo y medición del caudal). 33	
3.2.2 Caracterización del efluente del CIRA/UNAN-Managua .....	34
3.2.3 Desarrollo de inóculo .....	35
3.2.4 Estimación de la Biodegradabilidad .....	36
 <b>CAPÍTULO IV</b>	
4.1 Análisis y Discusión de los Resultados .....	37
4.1.1 Inspección in situ, medición del caudal y toma de la muestra .....	37
4.1.2 Caracterización físico-química del efluente .....	49
4.1.3 Desarrollo y crecimiento del inoculo .....	54
4.1.4 Montaje del método para la estimación de la biodegradabilidad del efluente ...	63
 <b>CAPÍTULO V</b>	
5.1 Conclusiones.....	73
5.2 Recomendaciones.....	74
5.3 Bibliografía .....	75
 <b>ANEXOS</b>	
Anexo 1 .....	- 1 -
Anexo 2 .....	- 3 -
Anexo 3.....	- 4 -

Anexo 4 .....	- 11 -
Anexo 5 .....	- 11 -
Anexo 6 .....	- 14 -
Anexo 7 .....	- 15 -

### **Índice de Tablas**

Tabla 1. Principales contaminantes en el agua.....	7
Tabla 2. Ensayos para el análisis de biodegradabilidad fácil.....	16
Tabla 3. Parámetros, Rangos y Valores Máximos Permisibles.....	17
Tabla 4. Equipos de laboratorio.....	29
Tabla 5. Materiales de laboratorio.....	30
Tabla 6. Reactivos.....	30
Tabla 7. Primera medición del caudal.....	40
Tabla 8. Primer Muestreo.....	47
Tabla 9. Segundo muestreo.....	48
Tabla 10. Tercer muestreo.....	48
Tabla 11. Primera emisión de los resultados.....	50
Tabla 12. Segunda emisión de los resultados.....	51
Tabla 13. Tercera emisión de los resultados.....	52
Tabla 14. Resultados obtenidos en la caracterización del efluente.....	53
Tabla 15. Parámetros del inóculo.....	55
Tabla 16. Preparación de muestra y controles.....	66
Tabla 15. Lecturas del OD de la muestra cada 7 días.....	69

## Índice de Figuras

Figura 1. Parámetros hidráulicos de la tubería.....	11
Figura 2. Desarrollo de inóculo.....	12
Figura 3. Fase de crecimiento microbiano en medio líquido.....	13
Figura 4. Imagen satelital del área de estudio.....	23
Figura 5. Primer punto de inspección.....	37
Figura 6. Segundo punto de inspección.....	38
Figura 7. Tercer punto de inspección.....	38
Figura 8. Cuarto punto de inspección.....	38
Figura 9. Punto final de la inspección.....	38
Figura 10. Efluente final.....	38
Figura 11. Recorrido del efluente.....	39
Figura 12. Envases donde serán almacenadas las muestras.....	45
Figura 13. Medición de los parámetros de campo.....	45
Figura 14. Recolección de la alícuota del efluente.....	45
Figura 15. Medición del tirante del efluente.....	46
Figura 16. Recolección de la muestra.....	46
Figura 17. Almacenamiento de la muestra para ser trasladada al laboratorio.....	46
Figura 18. Desarrollo del inóculo.....	54
Figura 19. Análisis de SSV para determinar la madurez del inóculo.....	58
Figura 20. Determinación de los Ssed para la purga del inóculo.....	61
Figura 21. Inóculo maduro para el ensayo de biodegradabilidad.....	63
Figura 22. Toma del sobrenadante.....	64
Figura 23. Inóculo y muestra del efluente.....	67
Figura 24. Preparación de las botellas.....	68
Figura 25. Primera lectura del OD para la estimación de la biodegradabilidad.....	68

## **Índice de Gráficos**

Gráfico 1. Primer muestreo con su aforo.....	41
Gráfico 2. Segundo muestreo con su aforo.....	41
Gráfico 3. Tercer aforo.....	42
Gráfico 4. Cuarto aforo.....	42
Gráfico 5. Quinto aforo con su muestreo.....	43
Gráfico 6. pH inóculo.....	57
Gráfico 7. Representación de la estimación de la biodegradabilidad.....	71

## **Índice de Diagramas**

Diagrama 1. Medición del caudal, toma y preservación de las muestra.....	34
Diagrama 2. Preparación de botellas Winkler.....	65



---

# CAPÍTULO I

---



## **1.1 Introducción**

La biodegradabilidad y las aguas residuales, son dos conceptos estrechamente vinculados, teniendo en cuenta que gran parte de las sustancias que transporta el agua, es materia orgánica la cual en gran medida es biodegradable. La biodegradabilidad de estas sustancias es la propiedad que permite que las aguas residuales puedan ser depuradas por medio de microorganismos, los que utilizan esta matriz como alimento y fuente de energía para su metabolismo y reproducción.

La presente investigación tiene como objetivo principal estimar la biodegradabilidad del efluente de las aguas residuales generadas en el Centro para la Investigación de Recursos Acuáticos CIRA/UNAN-Managua, mediante la inoculación de microorganismos que permitan degradar la materia contenida en el efluente en estudio; a su vez determinar las características físico-químicas del residual comparando los resultados con lo que establece el Reglamento No. 21-2017.

El CIRA/UNAN-Managua, no cuenta con un sistema de tratamiento dirigido a sus aguas residuales, ya que en el anterior Decreto Ejecutivo No. 33-95 no establecía dentro de sus parámetros la inclusión de los centros de investigación y aquellas instalaciones que vierten sus aguas residuales al alcantarillado sanitario, por ello el centro se ha propuesto conocer la carga contaminante residual, en miras de cumplir con las demandas que se establece el nuevo Reglamento.

En este sentido la perspectiva de la investigación se centra en el montaje del ensayo de biodegradabilidad del efluente también conocida como biodegradabilidad última fácil o prueba de la botella cerrada, mediante los métodos de la ISO 10707 y OEDC 301D; paralelo a esto conocer las características físico-químicas del efluente final del centro. Cabe mencionar que no existen registros a nivel nacional que establezcan estudios de biodegradabilidad de aguas residuales mediante los métodos descritos.

## **1.2 Planteamiento del problema**

El Centro para la Investigación de Recursos Acuáticos (CIRA/UNAN-Managua) es una institución académica de investigación, dedicada a contribuir al aprovechamiento y a la protección de los recursos hídricos de Nicaragua y Centroamérica, el cual forma parte de la Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, Managua desde su fundación en 1980.

En los últimos años el estudio de la biodegradabilidad se ha convertido en prioridad para el centro, dicho parámetro es determinante en el comportamiento ambiental de las sustancias químicas generadas en los diferentes procesos industriales; de forma general los efluentes se encuentran ampliamente cargados de agentes contaminantes tales como: detergentes, pesticidas, metales pesados entre otros, lo que produce consecuencias negativas para los cuerpos de aguas receptores de estos.

Debido a lo antes descrito el centro ha manifestado el interés en conocer las características físico-químicas de su efluente, sustancias químicas orgánicas biodegradables vertidas en el alcantarillado sanitario, ya que en el reglamento Disposiciones para el Vertido de Aguas Residuales No. 21-2017 en su artículo 22 expresa los rangos y valores máximos permisibles para los vertidos a la red de alcantarillado sanitario; por lo tanto el Centro para la Investigación de Recursos Acuáticos se ve obligado a cumplir con estos parámetros impuestos en la regulación nacional.

Para esta investigación es importante tener en cuenta la metodología que será implementada para la estimación de la biodegradabilidad del efluente; estos ensayos deben permitir evaluar el porcentaje de degradación de la materia orgánica; el método de la ISO 10707 y la línea guía de la OECD 301D (Organización para el Cooperación y el Desarrollo Económicos por sus siglas en inglés) tienen como objetivo evaluar la biodegradabilidad última fácil por la prueba de la botella cerrada.

A continuación, se plantea la siguiente interrogante ¿Por qué es importante la estimación de la biodegradabilidad del efluente de los laboratorios?



### **1.3 Justificación**

Según Ottenbrite y Albertsson, (1992) “El estudio de la biodegradabilidad permite conocer la capacidad en la cual una sustancia puede ser transformada a una estructura más simple por medio de una vía microbiana”.

La importancia de esta investigación radica en la estimación del porcentaje de biodegradación del efluente, dicho análisis está basado en los métodos de la ISO 10707 y la OECD 301D, también conocidos como biodegradabilidad última fácil o método de la botella cerrada; a su vez se determinaran las características físico-químicas del efluente en cuestión, comparando los resultados obtenidos con lo establecido en el Reglamento Disposiciones para el Vertido de Aguas Residuales No. 21-2017 en su artículo 22, permitiendo contemplar si el Centro cumple con los parámetros que delimita dicho reglamento.

La información generada en el análisis de biodegradabilidad última fácil proveerá al centro de un aporte investigativo para futuros análisis de biodegradación, conociendo a su vez que tan biodegradables son sus aguas residuales; de esta manera siendo el CIRA/UNAN-Managua, líder en la implementación de esta metodología, aplicando y desarrollando futuras investigaciones en otras matrices.

Con lo antes mencionado, es preciso resaltar que la realización de los análisis pertinentes y montaje del método de ensayo, conllevarán al levantamiento de la información cuantitativa y cualitativa para futuras investigaciones en efluentes de aguas ya sean residuales (industriales y domésticas), así como en otras matrices ya sea productos de limpieza sólidos y líquidos y otras sustancias químicas. Teniendo en cuenta que a nivel interno (en el Centro) la recolección de esta información permitirá determinar si es necesaria la implementación de un sistema de tratamiento para la mejora de la calidad del agua.

## **1.4 Objetivos**

### **1.4.1 Objetivo General**

Estimar la Biodegradabilidad del efluente de las aguas residuales generadas en el CIRA/UNAN-Managua empleando el Método ISO 10707 y la Línea Guía de la OECD 301D en el Laboratorio de Aguas Residuales, CIRA/UNAN-Managua, octubre 2018 – diciembre 2019.

### **1.4.2 Objetivos Específicos**

1. Analizar muestras de aguas residuales en el laboratorio de aguas residuales del CIRA/UNAN-Managua, para conocer la calidad del agua bajo el Reglamento disposiciones para el vertido de aguas residuales No. 21-2017 artículo No. 22.
2. Generar un inóculo a partir del efluente secundario de un sistema de tratamiento de aguas residuales biológico, en un reactor aireado de mezcla completa a escala de laboratorio.
3. Determinar el porcentaje de biodegradabilidad del efluente residual generado en las instalaciones del CIRA/UNAN-Managua, basado en los métodos ISO 10707 y OECD 301D.



---

# CAPÍTULO II

---



## **2.1 Marco teórico**

Para una mejor comprensión de la investigación en cuestión es conveniente conocer diversos conceptos, definiciones y aspectos básicos del estudio para la estimación de biodegradabilidad, como se muestra a continuación:

### **2.1.1 Agua residual**

Son aguas cuya calidad se ve afectada por la actividad de industrias las cuales inevitablemente generan una parte significativa de los residuos que terminan convirtiéndose en aguas residuales. La cantidad y calidad de estos efluentes son determinadas por diversos factores, sabiendo que no todas las industrias, centros o empresas generan la misma cantidad de residuos.

Las aguas residuales, antes de ser vertidas en las masas receptoras, deben recibir un tratamiento adecuado según su composición, capaz de modificar sus condiciones físicas, químicas y microbiológicas, hasta evitar que se provoquen problemas de contaminación y de contaminación de las aguas receptoras (MPOACCL-AR-02).

### **2.1.2 Caracterización Físico-Química del Agua Residual**

Para caracterizar las aguas residuales deben emplearse parámetros que permitan cuantificar los contaminantes generados en los procesos que son sometidas estas aguas; algunos de los análisis utilizados para la determinación de estos parámetros usualmente son:

- ✓ **Sólidos en Suspensión:** Estos sólidos no pasan a través de una membrana filtrante, dentro de los cuales pueden ser sedimentables, no sedimentables.
- ✓ **Aceites y Grasas:** Para conocer el contenido en aceites y grasas presente en el agua residual se determina mediante su extracción previa con un disolvente apropiado, la posterior evaporación del disolvente y el pesaje del residuo obtenido.
- ✓ **Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>):** “Es la medida indirecta del contenido de materia orgánica biodegradable, expresada mediante la cantidad de oxígeno

necesario para oxidar biológicamente la materia orgánica en una muestra de agua” (Gaceta, 2017).

- ✓ **Demanda Química de Oxígeno (DQO):** “Es una medida indirecta del contenido de materia orgánica e inorgánica oxidable, mediante el uso de un fuerte oxidante en la muestra de agua” (Gaceta, 2017).
- ✓ **Nitrógeno:** Presente en las aguas residuales en forma de amoníaco fundamentalmente. El contenido total de nitrógeno está compuesto por nitrógeno amoniacal, nitritos, nitratos y nitrógeno orgánico.
- ✓ **Fósforo:** En las aguas residuales aparece principalmente como fosfatos orgánicos y polifosfatos.
- ✓ **Fenoles:** Derivados de los hidroxilos del benceno, su proceso de determinación es por extracción con cloroformo ( $\text{CHCl}_3$ ) y por el método Directo. (W. Rice, B. Baird, D. Eaton, & S. Clesceri, 2012)
- ✓ **SAAM:** La determinación de surfactantes o sustancias activas al azul de metileno es un análisis empleado en los desechos de aguas de lavado doméstico o industrial. (W. Rice, B. Baird, D. Eaton, & S. Clesceri, 2012)
- ✓ **Metales:** Se realiza para detectar aquellos elementos químicos que causan efectos negativos en el receptor de las aguas residuales.

De los antes mencionado es importante destacar que para la determinación de estos parámetros es vital considerar la procedencia o procesos en los que fue sometido el efluente de la misma manera conocer los reglamentos, decretos o normas que establecen los rangos máximos permisibles de los vertidos de las aguas residuales.

### **2.1.3 Principales contaminantes**

Los contaminantes en las aguas residuales provocan un impacto negativo en el ambiente, es importante conocer los principales componentes de estas aguas contaminadas realizando los análisis físicos-químicos como los antes mencionados para poder diseñar y operar una planta de sistema de tratamiento, generando una posibilidad de reusó.

*Estimación de la biodegradabilidad del efluente de las aguas residuales generadas en el CIRA/UNAN-Managua empleando el Método ISO 10707 y Línea Guía de la OECD 301D en el Laboratorio de Aguas Residuales, CIRA/UNAN-Managua, octubre 2018 – diciembre 2019.*

De esta manera se puede disminuir la contaminación de los acuíferos, lagos, ríos etc. En la siguiente tabla se observan los principales contaminantes vertidos en las aguas residuales:

**Tabla 1. Principales contaminantes en el agua**

<b>Contaminante</b>	<b>Origen del contaminante</b>
Arenas	Como gravas y partículas más o menos grandes de origen mineral u orgánico.
Grasas y aceites	Al no ser miscibles con el agua permanecen en su superficie dando lugar a natas. Su procedencia es tanto doméstica como industrial.
Sustancias con requerimientos de oxígeno	Son materias orgánicas y compuestos inorgánicos que se oxidan fácilmente, lo que provoca un consumo del oxígeno del medio al que se vierten
Nutrientes (nitrógeno y fosforo)	Se encuentran en las aguas principalmente por detergentes y fertilizantes. Igualmente, las excretas humanas aportan nitrógeno orgánico. El nitrógeno, fósforo y carbono son nutrientes esenciales para el crecimiento de los organismos.
Agentes patógenos	Organismos presentes en mayor o menor cantidad en las aguas residuales y que pueden producir o transmitir enfermedades (virus, bacterias, protozoos, hongos, etc.).

---

<b>Contaminante</b>	<b>Origen del contaminante</b>
Contaminantes emergentes o prioritarios	Estas sustancias aparecen principalmente añadidas a productos de cuidado personal, de limpieza doméstica y farmacéuticos.

---

*Fuente: Modificado por el autor, información recopilada de la “Guía sobre tratamientos de aguas residuales urbanas para pequeños núcleos de población” Martín et al. (2006).*

### **2.1.4 Calidad del agua**

La calidad del agua depende de las normas obligatorias que establecen los parámetros organolépticos, físicos, químicos y microbiológicos para conferir un determinado uso. De esta manera es importante conocer la variabilidad de la calidad del agua destacando sus características, a través de la cual se podrán identificar el tipo de tratamiento a la cual serán sometidas las aguas, para que estas sean idóneas en sus diferentes aplicaciones.

Para determinar la calidad se utilizan dos parámetros indicadores, como lo son: la demanda bioquímica de oxígeno a cinco días (DBO<sub>5</sub>) y la demanda química de oxígeno (DQO), que muestran la influencia y nivel de afectación que por sus características producen desechos líquidos de calidad diferenciable. Estos parámetros permiten reconocer gradientes que van desde una condición relativamente natural, hasta aguas que muestran indicios importantes de descargas de los residuales. También se puede determinar la calidad haciendo análisis de biodegradabilidad del agua residual siguiendo el método estándar.

### **2.1.5 Muestreo de aguas**

Este muestreo consiste en extraer una porción representativa de una masa de agua, con el propósito de examinar las diversas características del proceso del cual provenga, a manera que los resultados obtenidos sean confiables, medibles y trazables.

### **2.1.5.1 Toma de muestras**

Para la toma de las muestras se deben tener en consideración el método específico y tipo de muestreo (muestreo compuesto y puntual); reconociendo el punto idóneo para recolectar la muestra de agua, la hora y volumen que se desea tomar de la matriz.

### **2.1.5.2 Tipos de muestras**

La toma de las muestras de aguas depende de los objetivos del muestreo, los que permiten identificar y cuantificar las características del agua que sirvan en la proyección de un sistema de tratamiento, evaluando la eficiencia de estos sistemas, al observar y controlar la descarga de agua residual o agua natural a un cuerpo receptor.

Estas muestras se encuentran sujetas a los siguientes tipos de muestreos:

- ✓ **Muestras compuestas:** Consiste en una mezcla de muestras individuales proporcionales al caudal instantáneo o independientes a este, para el efecto se toman muestras simples a intervalos constantes de tiempo, generalmente 1 y 0,5 horas, estas se almacenan apropiadamente con hielo y al final del periodo de muestreo, se mezclan en proporción directa al caudal aforado en cada instante del muestreo. (PROC-AR-02, contenido en el MPOACCL-AR-02)
  
- ✓ **Muestras puntuales (muestreo simple):** Es una muestra discreta tomada aleatoriamente (con respecto al tiempo y/o lugar) de un cuerpo de agua, y puede reflejar las características instantáneas del cuerpo de agua donde proceden. Las muestras simples o puntuales son aquellas que se toman en un lugar y hora determinada y luego se analizan en ella los componentes de interés. (PROC-AR-02, contenido en el MPOACCL-AR-02)

### **2.1.5.3 Preservación de las muestras**

El método para la toma y conservación de la muestra es el siguiente:

- ✓ Plan de muestreo:
  - 1.- Cadena de custodia de la muestra en el laboratorio.



- 2.- Muestras compuestas y puntuales.
  - 3.- Medición del caudal en aguas residuales y naturales.
- ✓ Etiquetado del envase donde se tomará la muestra el cual debe constar con el número de muestra, fecha, hora, lugar de la toma.
  - ✓ Sellado del envase.
  - ✓ Determinación del tiempo en el que tomara la siguiente muestra.
  - ✓ Técnicas y equipos específicos (muestreo manual o automático).
  - ✓ Lista de parámetros a ser medidos.
  - ✓ Técnicas para preservación, transporte y almacenamiento de la muestra:
    - 1.- Control de pH: Se utilizan reactivos para aumentar o disminuirlo ( $H_2SO_4$  o NaOH), para aceites y grasas, DQO, nitrógeno amoniacal entre otros.
    - 2.- Se debe proteger de la luz para muestras de oxígeno disuelto, sulfito y cianuro.
    - 3.- Las muestras deben ser refrigeradas.
    - 4.- Filtración para muestras de CDO (Carbono Orgánico Disuelto).
    - 5.- Se debe garantizar que la temperatura de la muestra debe mantenerse en  $10^{\circ}C$  hasta llegar al laboratorio.

En **Anexo 1**. Se encuentra el resumen del tipo de recipiente, preservación y tiempo de almacenamiento de la muestra.

### **2.1.6 Caudal**

Por definición el caudal no es más que la cantidad de fluido, medido en volumen que se mueve en un determinado tiempo a través de un ducto, (tubería, río, canal, cañería, etc.).

Para la determinación del caudal existen diversos métodos, uno de ellos es por el método de Manning; siendo este método utilizado cuando no es posible medir la velocidad por medio del método de molinete o del flotador, teniendo mayor aplicación en sitios como alcantarillas y cajas de registros.

### 2.1.6.1 Medición del Caudal.

Existen diversas maneras convenientes de medir la cantidad de agua o caudal en una tubería; en este caso es importante destacar el método de Manning siendo esta una ecuación empírica, reuniendo las variables que influyen en la velocidad de la corriente.

Para el cálculo del caudal por el método de Manning es necesario tener en cuenta las siguientes ecuaciones:

$$\theta = 2 \times \text{Cos}^{-1} \left( 1 - \frac{2 \times d}{D} \right) \quad (\text{Ec. 1})$$

$$A = \frac{D^2}{4} \left( \frac{\pi \times \theta}{360} - \frac{\text{Sen } \theta}{2} \right) \quad (\text{Ec. 2})$$

$$Rh = \frac{D}{4} \left( 1 - \frac{360 \times \text{Sen } \theta}{2 \times \pi \times \theta} \right) \quad (\text{Ec. 3})$$

$$v = \frac{1}{n} \times \sqrt{S} \times Rh^{2/3} \quad (\text{Ec. 4})$$

$$Q = v \times A \quad (\text{Ec. 5})$$

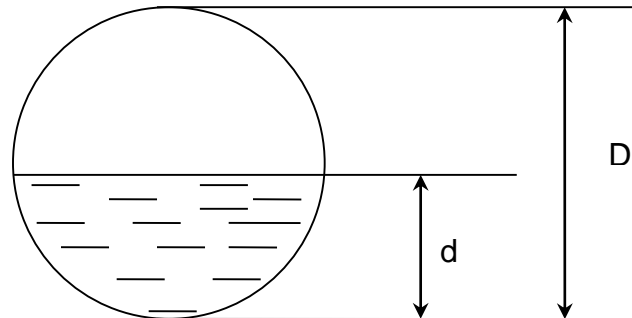


Figura 1. Parámetros hidráulicos de la tubería;  
Fuente: PROC-CIRA-AR-03

Expresando la ecuación de Manning de la siguiente manera:

$$Q = \frac{1}{n} \times \sqrt{S} \times \left[ \frac{D}{4} \left( 1 - \frac{360 \times \text{Sen } \theta}{2 \times \pi \times \theta} \right) \right]^{2/3} \times \frac{D^2}{4} \left( \frac{\pi \times \theta}{360} - \frac{\text{Sen } \theta}{2} \right) \quad (\text{Ec. 6})$$

Donde:

Q = Caudal (m<sup>3</sup>/s)

s = Pendiente

d = Tirante (m)

v = Velocidad (m/s)

A = Área mojada (m<sup>2</sup>)

n = Coeficiente de rugosidad

Θ = Angulo (Grados)

Rh = Radio hidráulico (m)

D = Diámetro de la tubería (m)

### 2.1.7 Inóculo

Se define como inóculo al medio de cultivo ya sea sólido o líquido el cual posee la capacidad de desarrollar un consorcio de diversas especies microbianas, o bien generar un microorganismo específico y especializado con afinidad con un compuesto.

Para el desarrollo del inóculo es importante tener en consideración la cepa que será utilizada para la generación de este, dichas cepas pueden ser provenientes de efluentes de sistemas de tratamientos o cepas obtenidas en el laboratorio; una vez preparada el medio de cultivo se irá incrementando el volumen del recipiente como sea conveniente, tal como se muestra en la siguiente figura:

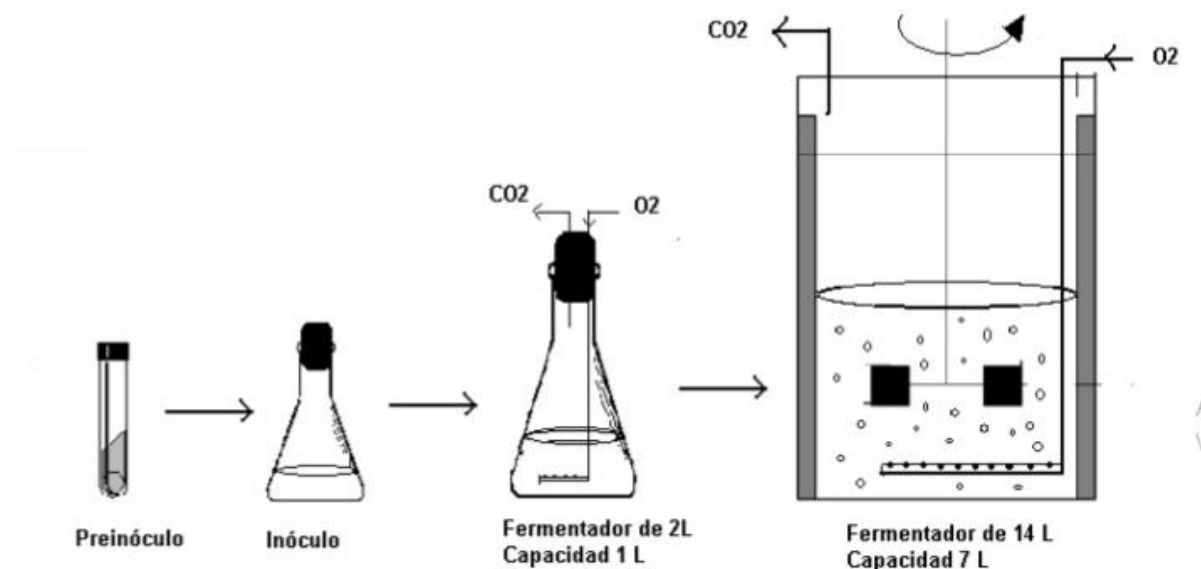
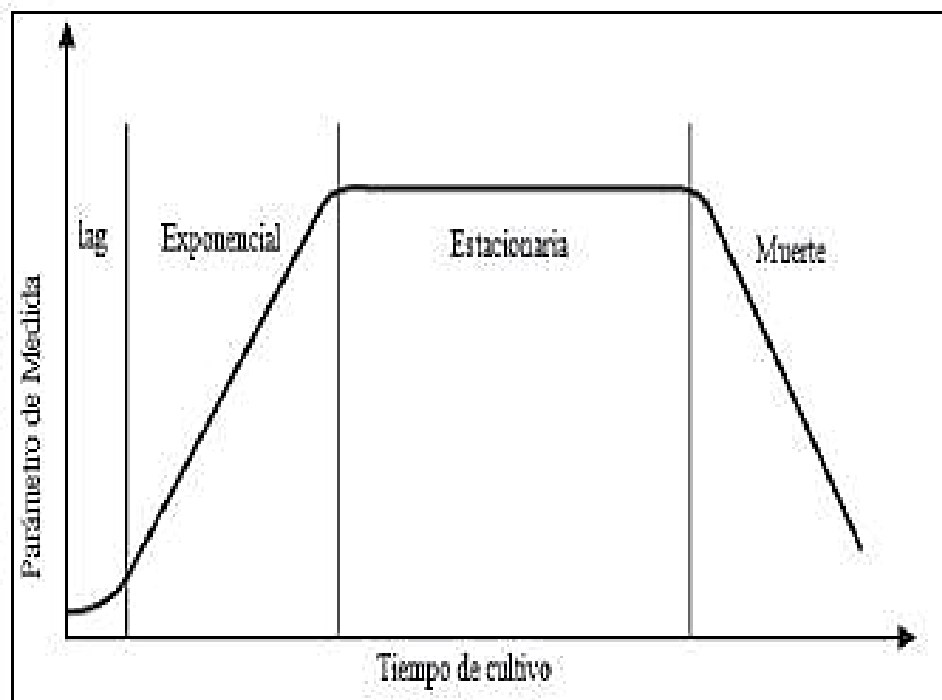


Figura 2. Desarrollo de inóculo, incremento del volumen de cultivo; fuente: (Rodrigo, 2015).

Una vez desarrollo el inóculo se logran identificar cuatro fases en la evolución de los parámetros que miden su crecimiento microbiano:

- a. **Fase lag o de adaptación:** En esta fase los microorganismos adaptan su metabolismo a las nuevas condiciones ambientales (abundancia de nutrientes y condiciones de cultivo) para iniciar la fase de crecimiento exponencial.

- b. Fase exponencial o logarítmica:** La velocidad de crecimiento es máxima y el tiempo de generación es mínimo. Durante esta fase las bacterias consumen a velocidad máxima los nutrientes del medio.
- c. Fase estacionaria:** No se incrementa el número de bacterias (ni la masa u otros parámetros del cultivo). Los microorganismos entran en fase estacionaria porque se agota algún nutriente esencial del medio o porque los productos de desecho que han liberado durante la fase exponencial hacen que el medio sea inhóspito para el crecimiento microbiano. La fase estacionaria tiene gran importancia porque probablemente represente con mayor fidelidad el estado metabólico real de los microorganismos en los ambientes naturales.
- d. Fase de declive:** Se produce una reducción del número de bacterias viables del cultivo. A continuación, se presentan fases del inoculo en la curva de crecimiento microbiano:



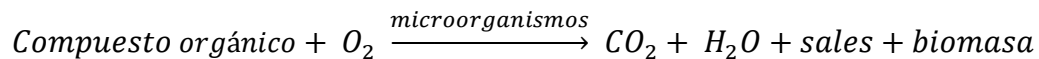
*Figura 31. Fase de crecimiento microbiano en medio líquido, desde su etapa de adaptación hasta su muerte; fuente: (Armando, 2012).*

### **2.1.8 Lodos activados**

Es un proceso biológico empleado en el tratamiento de aguas residuales, dicho bioproceso permite el desarrollo de una depuración de origen natural en la que los microorganismos actúan sobre el efluente siendo capaces de biodegradar la materia presente en el agua contaminada devolviéndola a su estado natural (Fibras y Normas de Colombia, 2004).

Para la generación de los lodos, es necesario el cultivo de microorganismos los cuales serán mezclados con el efluente, descomponiendo la materia que les servirá como alimento; consiguiendo clarificar el agua residual sin materia orgánica.

De este modo los microorganismos se encargan de transformar los contaminantes biológicos en biomasa, dióxido de carbono y agua. Eliminando compuestos como el amonio y otros compuestos nitrogenados, oxidando la materia orgánica disuelta y las partículas en suspensión, formando sedimento que puede ser utilizado como compost.



### **2.1.9 Biodegradabilidad**

La biodegradabilidad ha sido definida como la capacidad intrínseca de una sustancia a ser transformada en una estructura química más simple por vía microbiana (Vazquez Rodriguez & Beltrán Hernández, 2004).

Este es un parámetro determinante en el comportamiento ambiental de las sustancias químicas y una propiedad deseable de los productos que se liberan en grandes cantidades al medio natural, tales como detergentes, pesticidas, materiales de embalaje, etc. Mediante el proceso conocido como biodegradación, los microorganismos transforman los compuestos orgánicos, la mayoría de las veces en productos menos tóxicos que los compuestos originales; en cuyo caso denominada como biodegradabilidad última (Vazquez Rodriguez & Beltrán Hernández, 2004).

### **2.1.9.1 Biodegradabilidad del Agua Residual**

La materia orgánica contenida en las aguas residuales puede ser removida por acción microbiana en dos vías metabólicas (aerobia y anaerobia), la cual en una importante fracción es biodegradable. La biodegradabilidad de estas sustancias es la propiedad que permite que las aguas residuales puedan ser depuradas por medio de microorganismos, los que utilizan estas sustancias como alimento y fuente de energía para su metabolismo y reproducción (Peña, 2013)

En este proceso de degradación participan una gran variedad de microorganismos, principalmente bacterias. Estas bacterias utilizan la materia disuelta y en suspensión en forma coloidal, para sobrevivir en el ambiente en que se encuentran. Al consumir esta materia cuyo principal componente es el carbono, una parte de ella la convierten en biomasa y otra parte es emitida al medio ambiente en forma de gases.

### **2.1.9.2 Biodegradabilidad según la OECD 301D**

Según la OCDE (Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico), La biodegradabilidad es un aspecto muy importante para la evaluación de las sustancias y para la descripción de su descomposición y mineralización a cargo de los microorganismos en el medioambiente.

La prueba 301D (prueba de la botella cerrada) puede determinar una gran variedad de compuestos, debido a que se basan en el seguimiento de parámetros que analizan el Carbono Orgánico Disuelto (COD), o bien de parámetros indirectos correlacionados con la mineralización de la molécula, como la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) o la producción de CO<sub>2</sub>. Este método es aplicable para determinar la biodegradabilidad fácil de los productos químicos orgánicos.

A continuación, se pueden observar los ensayos de biodegradabilidad fácil que pueden ser implementados para la determinación de la misma:

**Tabla 2. Ensayos para el análisis de biodegradabilidad fácil**

<b>Norma</b>	<b>Análisis</b>	<b>Propiedades de la sustancia</b>
OECD 301A	DOC-Die-Away Test	soluble, no volátil
OECD 301B	CO <sub>2</sub> -Evolution Test (Sturm Test)	no soluble, no volátil
OECD 301C	Modified MITI Test (I)	no soluble, volátil
OECD 301D	Closed-Bottle Test	soluble en agua, volátil
OECD 301F	Manometric Respirometry Test	no soluble, volátil
OECD 310	CO <sub>2</sub> -Headspace Test	volátil

*Fuente: Tabla recopilada de la línea guía para prueba de productos químicos 301 (OEDC, 1992).*

### **2.1.9.3 Biodegradabilidad según la ISO 10707**

Según la ISO 10707 este método puede implementarse a aquellos compuestos orgánicos que son suficientemente solubles en agua; para la determinación de la biodegradabilidad es necesario la aplicación del análisis de la demanda bioquímica de oxígeno, evaluando de esta manera la biodegradabilidad de los compuestos orgánicos en una concentración dada gracias a la utilización de microorganismos aerobios. En **ANEXO 2** se presenta una tabla sobre los diferentes métodos o pruebas normalizados para el estudio de la biodegradabilidad.

## **2.1.10 Parámetros de Caracterización Según el Reglamento No. 21-2017**

Según la definición establecida en el Reglamento No. 21-2017, Disposiciones para Vertido de Aguas Residuales, se entiende como parámetros a los elementos compuestos o características mediante análisis donde se determina su valor y sirve para mostrar la composición de una descarga.

### **2.1.10.1 Artículo 22.**

El Decreto en su arto 22. De los rangos y valores máximos permisibles en los vertidos a la red de alcantarillado sanitario establece: los vertidos de aguas residuales de origen doméstico, industriales, comerciales, agroindustriales y de servicios autorizados de acuerdo a sus características, que sean descargados al alcantarillado sanitario, deberán cumplir los rangos y valores máximos permisibles siguientes:

**Tabla 3. Parámetros, Rangos Y Valores Máximos Permisibles**

<b>Parámetros</b>	<b>Rangos y valores máximos permisibles</b>
Temperatura °C	50
Color (UC)	20
pH	6 – 9
Conductividad eléctrica (µS/cm)	5 000
Solidos totales (mg/L)	1 500
Solidos suspendidos totales (mg/L)	400
Solidos sedimentables (ml/L)	10
Aceites y grasas totales (mg/L)	100
Aceites y grasas minerales (mg/L)	20



*Estimación de la biodegradabilidad del efluente de las aguas residuales generadas en el CIRA/UNAN-Managua empleando el Método ISO 10707 y Línea Guía de la OECD 301D en el Laboratorio de Aguas Residuales, CIRA/UNAN-Managua, octubre 2018 – diciembre 2019.*

<b>Parámetros</b>	<b>Rangos y valores máximos permisibles</b>
DBO <sub>5</sub> (mg/L)	400
DQO (mg/L)	900
Fósforo total (mg/L)	12
Nitrógeno total Kjeldhal (mg/L)	60
Mercurio (mg/L)	0,02
Manganeso (mg/L)	10
Arsénico (mg/L)	0,50
Cadmio (mg/L)	0,75
Cromo hexavalente (mg/L)	0,5
Cobre (mg/L)	3
Plomo (mg/L)	1
Fenoles (mg/L)	0,5
Níquel (mg/L)	3
Zinc (mg/L)	3
Plata (mg/L)	1
Selenio (mg/L)	1
Sulfuros (mg/L)	1

*Estimación de la biodegradabilidad del efluente de las aguas residuales generadas en el CIRA/UNAN-Managua empleando el Método ISO 10707 y Línea Guía de la OECD 301D en el Laboratorio de Aguas Residuales, CIRA/UNAN-Managua, octubre 2018 – diciembre 2019.*

<b>Parámetros</b>	<b>Rangos y valores máximos permisibles</b>
Sulfatos (mg/L)	500
Hierro (mg/L)	10
Cloruros (mg/L)	1 000
Fluoruro (mg/L)	10

*Fuente:* Tabla recopilada del Reglamento No. 21-2017 (Gaceta, 2017).

Es importante resaltar que todas aquellas empresas, industrias y laboratorios, que descargan sus aguas residuales a la red de alcantarillado sanitario y estas presenten excesos de contaminantes en su efluente, deberán pagar el costo de tratamiento del residual, ya que estas cargas serán tratadas en el sistema central de tratamiento que opere ENACAL o la Empresa Operadora de los servicios de agua potable y alcantarillado sanitario en el territorio que corresponda. Cabe aclarar que dicha penalidad se encuentra descrita en el artículo 23 del presente Reglamento.

## **2.2 Antecedentes**

A nivel nacional no se encontraron registros de estudios concretos que aborden en su totalidad la estimación de la biodegradabilidad en los laboratorios, centros de investigación o industrias, pero si se destacan estudios de tratamientos de aguas en los cuales se deben caracterizar las aguas residuales con diferentes parámetros a los establecidos en el Decreto No. 21-2017.

En 2014, en el Departamento de Boaco. Báez y compañía determinaron a través de un diagnóstico socio-ambiental las aguas residuales emitidas por las plantas de tratamientos (PTAR-Boaco) destacando la repercusión del mal manejo de este tipo de desecho.

En 2010, en Nicaragua. Gago Aburto y colaborador, realizaron la evaluación del sistema de tratamiento de aguas residuales domésticas del comedor de transportistas de Holcim Nicaragua S.A, incluyendo un tanque séptico y un filtro anaerobio de flujo ascendente.

En 2005, en Nicaragua. García Pérez se enfocó en el estudio de la caracterización físico-química de las aguas residuales, textilera del complejo industrial de zona franca las Mercedes, encontrando que la planta de tratamiento trabaja de manera óptima para los requerimientos de la empresa.

Es importante resaltar que para la estimación de la biodegradabilidad de las aguas residuales previamente se deben caracterizar dichas aguas, por ello se toma como antecedentes la caracterización, ya que no existen estudios de biodegradabilidad de efluentes ya sea de laboratorios, industrias o cualquier empresa que de tratamiento a sus aguas a nivel nacional.

*Estimación de la biodegradabilidad del efluente de las aguas residuales generadas en el CIRA/UNAN-Managua empleando el Método ISO 10707 y Línea Guía de la OECD 301D en el Laboratorio de Aguas Residuales, CIRA/UNAN-Managua, octubre 2018 – diciembre 2019.*

A nivel internacional existen gran cantidad de estudios sobre biodegradabilidad de los efluentes como los que destacan:

En 2011, en España. Val del Rio y colaboradores implementaron tecnologías avanzadas para el tratamiento de aguas residuales por medio de biomasa granular aerobia, lo que permitió validar un método para estimar y comparar la biodegradabilidad anaerobia de lodo tanto granulares como floculantes.

En 2008, en Argentina. Yonni y colaboradores realizaron un estudio de la biodegradabilidad sobre colorantes textiles, logrando degradar el colorante textil en las aguas residuales por ataque bacteriano, a la vez estudiaron la toxicidad del uso de los colorantes en estas industrias.

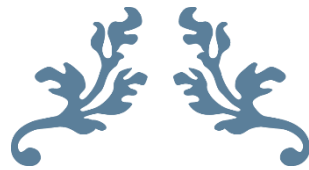
En 2004, en México. Vázquez y Beltrán realizaron estudios sobre las distintas formas de estimar la biodegradabilidad, llevando a cabo las pruebas normalizadas para la que son utilizadas en la evaluación de la biodegradabilidad de sustancias químicas.

Estas investigaciones buscan entender la eficacia del estudio de la biodegradabilidad en aguas residuales de origen industrial, lo que conlleva a la implementación de nuevas biotecnologías en el tratamiento de este tipo de efluentes. Cabe señalar que la investigación permitirá el avance de nuevas exploraciones en el ámbito de la biodegradación de las aguas residuales a nivel nacional, abordando de esta manera el impacto medio ambiental que las industrias generan en los cuerpos receptores en el cual su efluente es desechado.

*Estimación de la biodegradabilidad del efluente de las aguas residuales generadas en el CIRA/UNAN-Managua empleando el Método ISO 10707 y Línea Guía de la OECD 301D en el Laboratorio de Aguas Residuales, CIRA/UNAN-Managua, octubre 2018 – diciembre 2019.*

### **2.3. Hipótesis**

*El ensayo de biodegradabilidad sometido al efluente de los laboratorios del CIRA/UNAN-Managua por los métodos ISO 10707 y OECD 301D permiten comprobar la viabilidad del tratamiento biológico.*



---

# CAPÍTULO III

---



### **3.1 Diseño Metodológico**

#### **3.1.1 Descripción del ámbito de estudio**

El área de estudio está ubicada en el Centro para la Investigación en Recursos Acuáticos (CIRA/UNAN-Managua), el cual se encuentra conformado por un área Administrativa, Aula de Maestría, Dirección y Área Analítica, una Sala de Docentes, Bodega y Comedor, a su vez de 9 laboratorios como: Laboratorio de Microbiología, Contaminantes Orgánicos, Contaminantes Metálicos, Aguas Naturales, Instrumental, Aguas Residuales, Hidrobiología, Mercurio Ambiental, Radioquímica, Área de mantenimiento y baños, el centro tiene como dirección: Hospital Monte España 300 metros al norte, Managua, Nicaragua. Sitio en el cual se llevará a cabo el ensayo para la estimación de la biodegradabilidad del efluente de sus aguas residuales, así como la caracterización físico-química de este; para la toma de la muestra y medición del caudal es necesario un reconocimiento o inspección in situ. Para ubicar el punto idóneo de muestreo donde converjan todos los efluentes de cada uno de las áreas que componen el CIRA/UNAN-Managua.



*Figura 4.* Imagen satelital del área de estudio; fuente: (Google Earth Pro 2018).

### **3.1.2 Tipo de estudio**

La presente investigación posee un enfoque de la metodología mixta, ya que presenta características tanto cualitativas como cuantitativas, debido que se determinaran parámetros de diversos análisis para caracterizaciones físico-químicas, estimación de la biodegradabilidad y desarrollo de microorganismos mediante la inoculación de bacterias de origen aeróbico; para la recopilación y medición de los datos e implementación de la metodología, fue necesaria la utilización de herramientas estadísticas que permitan la resolución de los resultados; esto mediante la comprobación y de la hipótesis con base a estas mediciones numéricas, con el fin establecer pautas de comportamiento que faciliten la validez, confiabilidad y factibilidad de los resultados (Hernández Sampieri, 2014)

#### **3.1.2.1 Alcance de la investigación**

Para conocer de mejor manera el enfoque que posee el estudio es importante tener en cuenta el alcance de la investigación, así como su orientación en el tiempo, de esta forma dicho estudio tomara el rumbo deseado y su desarrollo conllevará al cumplimiento de los objetivos; por lo cual el alcance de la investigación es el siguiente:

**Experimental:** La investigación posee un alcance experimental, puesto que se utilizaron técnicas y métodos para la evaluación de la efectividad del análisis de cada una de las variables en estudio; este alcance se presenta mediante la manipulación de una o varias variables no comprobadas (estimación de biodegradabilidad), esto en condiciones controladas con el fin de describir de qué modo o porque causa se produce una situación o acontecimiento particular. (Tamayo Tamayo, 2002)

#### **3.1.2.2 Según su orientación de tiempo**

Es de suma importancia el conocer la orientación que toma la investigación conforme al tiempo, esto para predecir cuánto tardará el desarrollo del estudio; por lo tanto, según su orientación de tiempo se describe de la siguiente manera:

**Trasversal:** El presente estudio es de corte transversal; dado que, para llevar a cabo el ensayo de estimación de biodegradabilidad se necesita un determinado periodo para



lograr desarrollar la inoculación de las bacterias que serán utilizadas en dicho ensayo, así como el montaje del método partiendo de la interpretación de la norma ISO 10707 y de la línea guía de la OEDC 301D, teniendo en cuenta la recopilación de datos que permitan el procesamiento de los resultados; tanto de la biodegradabilidad como la caracterización físico-química del efluente.

### **3.1.3 Población y muestra**

Para estudiar la estimación de biodegradabilidad es necesario conocer la procedencia del efluente, por lo cual es indispensable una inspección in situ del lugar donde se realizará el muestreo; para ello es de suma importancia describir y diferenciar cual será el universo (población) y cuál será la muestra del estudio.

#### **3.1.3.1 Población**

Efluente final del CIRA/UNAN-Managua; caja de registro que conecta directamente con la red alcantarillado de la alcaldía de Managua, en dicha caja son depositados los residuos líquidos o aguas residuales que son generados por los distintos laboratorios de ensayo, oficinas, baños, área administrativa y comedor. Esto para el estudio de la estimación de biodegradabilidad en el periodo octubre 2018 – diciembre 2019.

#### **3.1.3.2 Muestra**

El muestreo es según sea conveniente para la investigación, ya que permite la adecuación de la recolección de la información para el estudio y se encuentra primeramente conformado por una inspección in situ para el reconocimiento del efluente final donde será tomada la alícuota para los posteriores análisis correspondientes que dicta el reglamento No.21-2017 y la metodología para el ensayo de biodegradabilidad; el muestreo en el efluente tendrá una duración de 8 horas (muestreo compuesto).

### **3.1.4 Criterios de selección de la muestra**

Para la realización del estudio y selección de la muestra se tomaron en cuenta los siguientes criterios:

#### **3.1.4.1 Criterios de inclusión**

- ✓ Todos aquellos desechos líquidos generados en el efluente que conforman las instalaciones del Centro para la Investigación en Recursos Acuáticos CIRA/UNAN-Managua.

#### **3.1.4.2 Criterios de exclusión**

- ✓ Desechos con alto grado de contaminación.
- ✓ Desechos inorgánicos.
- ✓ Desechos sólidos.

### **3.1.5 Variables**

Para una mejor comprensión y análisis de la investigación las variables en estudios fueron separadas como se muestra a continuación:

#### **3.1.5.1 Variables independientes**

- ✓ Método ISO 10707.
- ✓ Línea guía OECD 301D.
- ✓ Efluente del centro.
- ✓ Aguas residuales.

#### **3.1.5.2 Variables dependientes**

- ✓ Biodegradabilidad.
- ✓ Valores físico-químicos.
- ✓ Desarrollo de inóculo.

### 3.1.6 Operacionalización de las variables

Para la operacionalización de cada una de las variables en estudios es necesario conocer sus conceptos, indicadores y categorías en las cuales estas se encuentran; esto permite una mejor comprensión y su desglose que ayudará en el análisis e interpretación de las mismas, a continuación se muestra la operacionalización de estas variables:

<b>Variables independientes</b>	<b>Conceptos</b>	<b>Indicador</b>	<b>Valor</b>
<i>ISO 10707</i>	Método para la evaluación de un medio acuoso mediante el estudio de biodegradación de los compuestos orgánicos, también conocida como biodegradabilidad última fácil (ensayo de la botella cerrada).	$D_t = \frac{(\rho_0 - \rho_{0,t}) - (\rho_{0,b} - \rho_{0,t,b})}{ThOD \times \rho_c}$	< 60% no es biodegradable.  > 60% es biodegradable.
<i>OECD 301D</i>	Prueba normalizada para la evaluación de la biodegradabilidad fácil de las sustancias químicas, ensayo de la botella cerrada.	$D_t = \frac{(\rho_0 - \rho_{0,t}) - (\rho_{0,b} - \rho_{0,t,b})}{ThOD \times \rho_c}$	< 60% no es biodegradable.  > 60% es biodegradable.
<i>Efluente</i>	Corriente también conocida como el residual que fluye de una instalación.	Fluido del cual se tomarán las muestras para los análisis previos.	L/s
<i>Aguas residuales</i>	Agua que procede de viviendas, poblaciones o zonas industriales que arrastra suciedad.	Residual al cual se le implementará el estudio de biodegradación.	L/s

<b>Variables dependientes</b>	<b>Conceptos</b>	<b>Indicador</b>	<b>Valor</b>
<i>Biodegradabilidad</i>	Propiedad que poseen las sustancias para su reincorporación en la naturaleza.	$ThOD = \frac{DQO_m \times Volumen_m}{Volumen_{Winkler}}$	mg/L de OD
<i>Caracterización físico-química</i>	Son características específicas de la materia ejerciendo cambios en estas.	Análisis empleados según Reglamento establecido.	mg/L de las muestras
<i>Inóculo</i>	Es un medio líquido de cultivo, cuyo funcionamiento es implementado para el desarrollo de microorganismos.	Crecimiento microbiano para el ensayo de biodegradabilidad.	2 500 mg/L de SSV

### **3.1.7 Materiales y métodos**

Para la elaboración de una investigación, estudio o proyecto es de suma importancia tomar en cuenta los materiales que serán implementados en el procesamiento y recolección de la información y de ser el caso destacar los equipos, reactivos y materiales de laboratorio, que fueron utilizados en el estudio.

#### **3.1.7.1 Materiales para recolectar información**

Para la realización de la presente investigación, las fuentes utilizadas para la recolección de información fueron:

- ✓ Textos bibliográficos
- ✓ Artículos científicos
- ✓ Normas internacionales
- ✓ Páginas web (fuentes fidedignas)
- ✓ Revistas científicas
- ✓ Líneas guía de investigación

### **3.1.7.2 Materiales para procesar información**

Para procesar la información los materiales utilizados en la investigación fueron:

- ✓ Microsoft Word 2013
- ✓ Microsoft Excel 2013
- ✓ Microsoft PowerPoint 2013
- ✓ Tablas
- ✓ Figuras
- ✓ Gráficas

### **3.1.7.3 Equipos, reactivos y materiales de Laboratorio**

Los equipos, reactivos y materiales de laboratorio implementados en el ensayo para la estimación de biodegradabilidad son los siguientes:

**Tabla 4. Equipos de laboratorio**

<b>Nombre del equipo</b>	<b>Marca</b>	<b>Modelo</b>
Oxígenometro	YSI	5 000
Sonda	YSI	5 010 - 115
pH-metro	Fisher Scientific	Accumet XL25
Agitador magnético	Curtin Matheson Scientific, Inc.	Equatherm
Conductímetro	Thermo Scientific	Orion Star A212
Incubadora	VWR	
Bomba de aireación		
Balanza analítica	PIONEER OHAUS	PA224C
Horno	BLUE M	STABIL-THERM
Mufla	Fisher Scientific	Isotemp
Reactor DQO	Bioscience, Inc	COD – B0213
Pirómetro	Thomas Scientific	TRACEABLE
Bomba de vacío	GAS T	

**Tabla 5. Materiales de laboratorio**

<b>Nombre del material</b>	<b>Capacidad</b>	<b>Marca</b>
Tubos de ensayo	15 ml	PYREX
Balones aforados clase A	500 ml	KIMAX
Erlenmeyer clase A	300 ml	PYREX
Bureta semiautomática	10 ml	KIMAX
Pipetas clase A	5, 10, 15 y 25 ml	Fisherbrand
Matraz Kitasato	1000 ml,	DURAN
Porta Filtro		
Espátula		
Cono Imhoff		
Pinza		
Filtro	25 mm	Watman
Crisol Gooch	50 ml	
Soporte con aro		

**Tabla 6. Reactivos**

<b>Nombre del Reactivo</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Fórmula</b>	<b>Marca</b>	<b>Código Cas</b>
Dicromato de potasio	4,903 g	$K_2Cr_2O_7$	MERCK	1.04864.0500
Sulfato de mercurio	33,33 g	$HgSO_4$	ACROS	7783-35-9
Ácido sulfúrico	2,5 L	$H_2SO_4$	Fisher Scientific	A300C-212
Sulfato de plata	10,0925 g	$AgSO_4$	Scharlau	PL00710100
Sulfato de hierro II y amonio hexahidratado	39,2 g	$Fe(SO_4)_2(NH_4)_2 \cdot 6H_2O$	MERCK	1.03965

*Estimación de la biodegradabilidad del efluente de las aguas residuales generadas en el CIRA/UNAN-Managua empleando el Método ISO 10707 y Línea Guía de la OECD 301D en el Laboratorio de Aguas Residuales, CIRA/UNAN-Managua, octubre 2018 – diciembre 2019.*

Nombre del Reactivo	Cantidad	Fórmula	Marca	Código Cas
Hidrogeno ftalato de potasio	0,425 g	$\text{KH}_5\text{C}_8\text{O}_4$	Fisher Scientific	P243-500
1, 10 Fenantrolina	1,485 g	$\text{C}_{12}\text{H}_8\text{N}_2$ $\text{H}_2\text{O}$	MERCK	L418725
Acetato de sodio trihidratado	0,9591	$\text{CH}_3\text{COONa}$ $3\text{H}_2\text{O}$	MERCK	6267
Agua destilada	10 L			
Agua de dilución	6 L			
Dihidrogeno fosfato de potasio	2,125 g	$\text{KH}_2\text{PO}_4$	Fisher Scientific	P285-500
Hidrogeno fosfato de dipotasio	5,438 g	$\text{K}_2\text{HPO}_4$	MERCK	5104
Hidrogeno fosfato de sodio heptahidratado	8,35 g	$\text{Na}_2\text{HPO}_4$ $7\text{H}_2\text{O}$	MERCK	6574
Cloruro de amonio	0,425 g	$\text{NH}_4\text{Cl}$	Scharlau	AM02730500
Sulfato de magnesio heptahidratado	5,625 g	$\text{MgSO}_4$ $7\text{H}_2\text{O}$	Fisher Scientific	M63-500
Cloruro de calcio	6,875	$\text{CaCl}_2$		VTD 092022
Tricloruro férrico hexahidratado	0,125 g	$\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	Fisher Scientific	B543143444

#### **3.1.7.4 Método**

Dado a los diversos procedimientos que serán ejecutados y a la toma de decisiones en la presente investigación, el aspecto mixto (cuantitativo y cualitativo), se adecua en la identificación de aquellos elementos claves en el estudio para la estimación de biodegradabilidad, así como en los análisis regidos por los parámetros de caracterización físico-química que establece el reglamento No. 21-2017 y el desarrollo de microorganismo aerobios en un inóculo líquido; dichos estudios empleados en el efluente final del CIRA/UNAN-Managua, para lo cual cabe destacar los métodos y/o herramientas utilizadas en la investigación cuantitativa y cualitativa; de la misma manera la importancia que presenta la metodología de trabajo.

**Método para la investigación mixta:** Para la realización de la presente investigación se tendrán en cuenta, la problemática y las variables como principales fuentes de información para la implementación de las técnicas o métodos referentes al tema en estudio, modificando a conveniencia la metodología de análisis que se efectuará en la investigación. Por la cual cabe resaltar los métodos implementados en la investigación:

- ✓ **Método lógico deductivo:** La presente investigación es de orden lógico deductivo ya que “según Custodio Ruiz 2008, el método lógico deductivo consiste en encontrar principios desconocidos a partir de consecuencias conocidas”; tal es el caso del efluente en estudio; en este se determinará la biodegradabilidad y características físico-químicas por medio de métodos de alta precisión, considerando detalladamente como se espera que se comporten estos parámetros; por lo tanto, aunque en cierto modo se puede predecir sin estudios previos el comportamiento del porcentaje de biodegradabilidad por las cargas de contaminantes residuales vertidas al alcantarillado, lo cual justifica y vuelve necesaria la obtención de datos reales, logrando así conocer plenamente que tan degradable es la materia contenida en el residual.



- ✓ **Método de la experimentación científica:** La investigación se centra en el desarrollo científico con pruebas de ensayo y error, esto por el compendio basado en el Reglamento No. 21-2017, en la norma de la ISO 10707 y línea guía de la OECD 301D; por lo tanto, la investigación depende de las características del efluente, las variables en estudio y de su problemática; teniendo en cuenta la naturaleza y circunstancia de este. La experimentación científica consiste en el aislamiento del fenómeno para sus análisis posteriores y mejor comprensión; El objetivo del experimento puede esclarecer determinadas leyes, relaciones o detectar en el objeto una determinada propiedad; verificando una hipótesis, una teoría, un modelo. Un mismo experimento puede llevarse a cabo con variados fines (Custodio 2008).

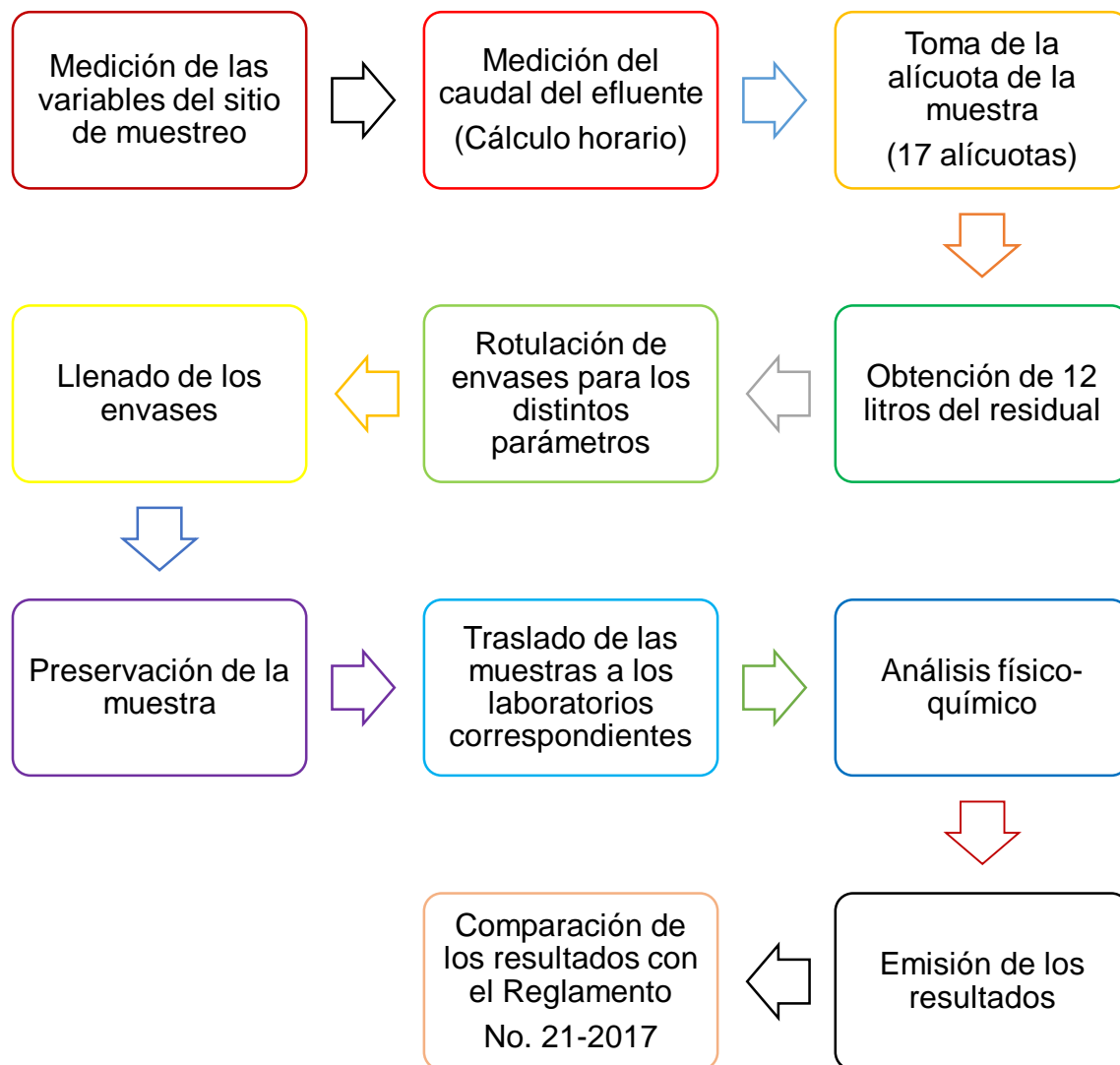
### **3.2 Metodología**

#### **4.2.1 Inspección in situ (identificación punto de muestreo y medición del caudal)**

Para la debida caracterización del efluente de las aguas residuales será necesario identificar el punto de medición del caudal y toma de la muestra, mediante una inspección in situ para conocer dicho punto de muestreo; en que cual se procederá al levantamiento de las tapas de distintas cajas de registro para una mejor observación de la proveniencia, conexión y recorrido de cada efluente correspondiente a los laboratorios, oficinas, baños, que conforman al centro.

En el siguiente diagrama se presenta como se realizará la medición del caudal, toma y preservación de las muestras:

**Diagrama 1. Medición del caudal, toma y preservación de las muestras**



Para la caracterización del efluente se realizaron 2 inspecciones in situ para conocer el punto idóneo del muestreo, 3 muestreos en el efluente final del Centro ya que las cargas de contaminantes no siempre son las mismas y 5 mediciones de caudal valor que permite contar con un mayor registro de datos reproducibles.

### **3.2.2 Caracterización del efluente del CIRA/UNAN-Managua**

Una vez trasladadas las muestras a los laboratorios pertinentes (Laboratorio de Aguas Residuales y Laboratorio de Contaminantes Metálicos), se llevarán a cabo los análisis descritos en el Reglamento, algunos de estos son: DBO<sub>5</sub>, DQO, Aceites y Grasas, Fosforo total, así como distintos metales, por mencionar algunos; también se

decidió realizar al efluente el análisis de Sustancias Activas al Azul de Metileno (SAAM), esto con el hecho de conocer la cantidad de surfactantes contenidos en el residual.

A partir de lo antes mencionado, una vez verificados todos y cada uno de los parámetros con el Reglamento en cuestión, será notificado al Centro para que tome cartas en el asunto.

### **3.2.3 Desarrollo de inóculo**

Para el desarrollo del inóculo será necesaria la utilización de un embudo de separación con un volumen de 2 000 ml previamente sellado, el cual funciona como un sistema de lodos activados a nivel de laboratorio; teniendo en cuenta que el material del cual está fabricado (vidrio), permitirá que el floculo o lodo activado generado por el inóculo no se adhiera a las paredes de este, de la misma manera se utilizará una bomba de aireación ayudando al crecimiento de los microorganismos por factor aerobio, ya que se requieren condiciones aeróbicas y agitación que permitan mantener la biomasa en suspensión, cabe mencionar que dicha aireación debe ser constante durante todo el tiempo del desarrollo del inóculo 24/7; a su vez, el inóculo debe ser alimentado gradualmente.

El medio líquido donde serán generados los microorganismos encargados de la biodegradación, se planea ser tomado del efluente de los sedimentadores secundarios de un sistema de tratamiento de aguas residuales, teniendo en cuenta que para este punto el medio líquido se encuentra libre de cualquier contaminante que pueda afectar el desarrollo del inóculo, evitando la presencia del sólidos no bacterianos y grasas, por lo cual no se recomienda la utilización de efluentes crudos; se debe tener en cuenta que el volumen de muestra necesaria para el inicio de un inóculo es igual al volumen total que se desea mantener, por ejemplo 1 litro.

De lo antes mencionado, existen parámetros que deben determinarse para conocer el estado de maduración del inóculo, estos parámetros son:

- ✓ Determinación de sólidos suspendidos totales (SST)
- ✓ Determinación de sólidos suspendidos volátiles (SSV)

*Estimación de la biodegradabilidad del efluente de las aguas residuales generadas en el CIRA/UNAN-Managua empleando el Método ISO 10707 y Línea Guía de la OECD 301D en el Laboratorio de Aguas Residuales, CIRA/UNAN-Managua, octubre 2018 – diciembre 2019.*

- ✓ Determinación de pH
- ✓ Determinación del índice volumétrico del lodo (IVL)
- ✓ Determinación de Sólidos Sedimentables (Ssed)

### **3.2.4 Estimación de la Biodegradabilidad**

Para el estudio de biodegradabilidad se tomarán en cuenta los métodos basados en la determinación del porcentaje de biodegradación de matrices acuosas en compuestos orgánicos, mediante los ensayos denominados pruebas de la botella cerrada o biodegradabilidad última fácil, dichos métodos se encuentran regidos tanto por la norma de la ISO 10707 y la línea guía de la OECD 301D, tomando en cuenta que la utilización de ambos análisis permiten mayor flexibilidad y rango de trabajo, adecuándolo tanto a las necesidades presentes en el desarrollo de la investigación, como a las condiciones de trabajo.

De lo antes mencionado, para la estimación de la biodegradabilidad del efluente final del CIRA/UNAN-Managua, será necesario el estudio de los métodos de la ISO y la OECD, formando de esta manera una guía que permitirá la implementación del ensayo; llevando a cabo los cálculos pertinentes para la determinación de la biodegradación. Dichos métodos indican el control de la calidad, la cantidad de muestra y réplicas que serán utilizadas en el análisis tal como lo describen los métodos en cuestión.

Los cálculos pertinentes e interpretación de estos resultados serán elaborados a partir de análisis estadísticos descritos en los métodos en cuestión. La guía para la estimación de la biodegradabilidad se puede observar en el **ANEXO 3**.



---

# CAPÍTULO IV

---



## **4.1 Análisis de los Resultados**

Los fundamentos empleados en el análisis y discusión de los resultados que se presentes en el estudio en cuestión, serán abordados a partir de los objetivos específicos y variables de la investigación.

### **4.1.1 Inspección in situ, medición del caudal y toma de la muestra**

#### **a. Inspección in situ**

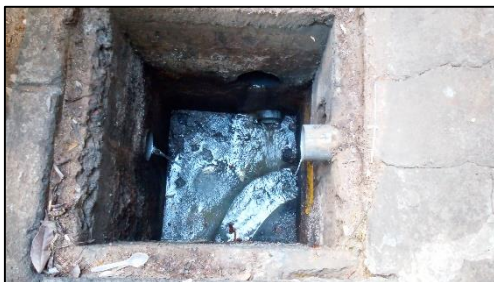
El día miércoles 28 de noviembre del año 2018 se realizó la inspección in situ y reconociendo el punto idóneo donde serán recolectadas las muestras, dicho punto fue identificado como Efluente Final del Centro; tomando a su vez, las coordenadas y elevación del punto de muestreo obteniendo las siguientes:

- ✓ Coordenadas N: 1339680
- ✓ Coordenadas E: 579747
- ✓ Elevación: 132 msnm

Estas coordenadas son reportadas con el fin de obtener datos históricos, las cuales sirvan como referencia para una fácil ubicación del lugar de muestreo, para investigaciones futuras.

A continuación, se muestra el reconocimiento del punto de muestreo que fue realizado:

Inspección in situ, realizada el 2018/11/28 para reconocimiento del punto de medición del caudal y toma de muestra.



Primer punto de inspección, efluentes: Laboratorio de Microbiología + Administración + Cocina + Dirección + Aula de Maestría.

*Figura 5. Primer punto de inspección; fuente: Autor.*

*Estimación de la biodegradabilidad del efluente de las aguas residuales generadas en el CIRA/UNAN-Managua empleando el Método ISO 10707 y Línea Guía de la OECD 301D en el Laboratorio de Aguas Residuales, CIRA/UNAN-Managua, octubre 2018 – diciembre 2019.*



Segundo punto de inspección, efluentes: Laboratorio de Microbiología + Administración + Cocina + Dirección + Aula de Maestría + Laboratorio de Extracción + Laboratorio de Aguas Naturales + Cuarto de Destilación.

Figura 6. Segundo punto de inspección; fuente: Autor.



Tercer punto de inspección: Efluentes de puntos de inspección 1 y 2 + Laboratorio de contaminantes Metálicos + Laboratorio de Contaminantes Orgánicos.

Figura 7II. Tercer punto de inspección; fuente: Autor.



Cuarto punto de inspección: Efluentes de puntos de inspección 1, 2 y 3 + Laboratorio de Mercurio Ambiental + Laboratorio de Aguas Residuales, Laboratorio de Hidrobiología + Laboratorio de Radio Química + Baños.

Figura 8. Cuarto punto de inspección; fuente: Autor.



Punto final de la inspección, efluente final del centro, conexión de todos los efluentes, disposición final hacia la red alcantarillado.

Figura 9III. Punto final de la inspección; fuente: Autor.



**Nota:** Se realizó mantenimiento (limpieza) a las cajas de registro para una mejor observación de punto del muestro y medición del caudal.

Figura 10. Efluente final luego de realizada la limpieza; fuente: Autor.





*Estimación de la biodegradabilidad del efluente de las aguas residuales generadas en el CIRA/UNAN-Managua empleando el Método ISO 10707 y Línea Guía de la OECD 301D en el Laboratorio de Aguas Residuales, CIRA/UNAN-Managua, octubre 2018 – diciembre 2019.*

los cuales en tres de ellos también se tomaron muestras para análisis de laboratorio o caracterización del efluente. La fórmula descrita anteriormente como Ec.6 es necesaria para el cálculo del caudal.

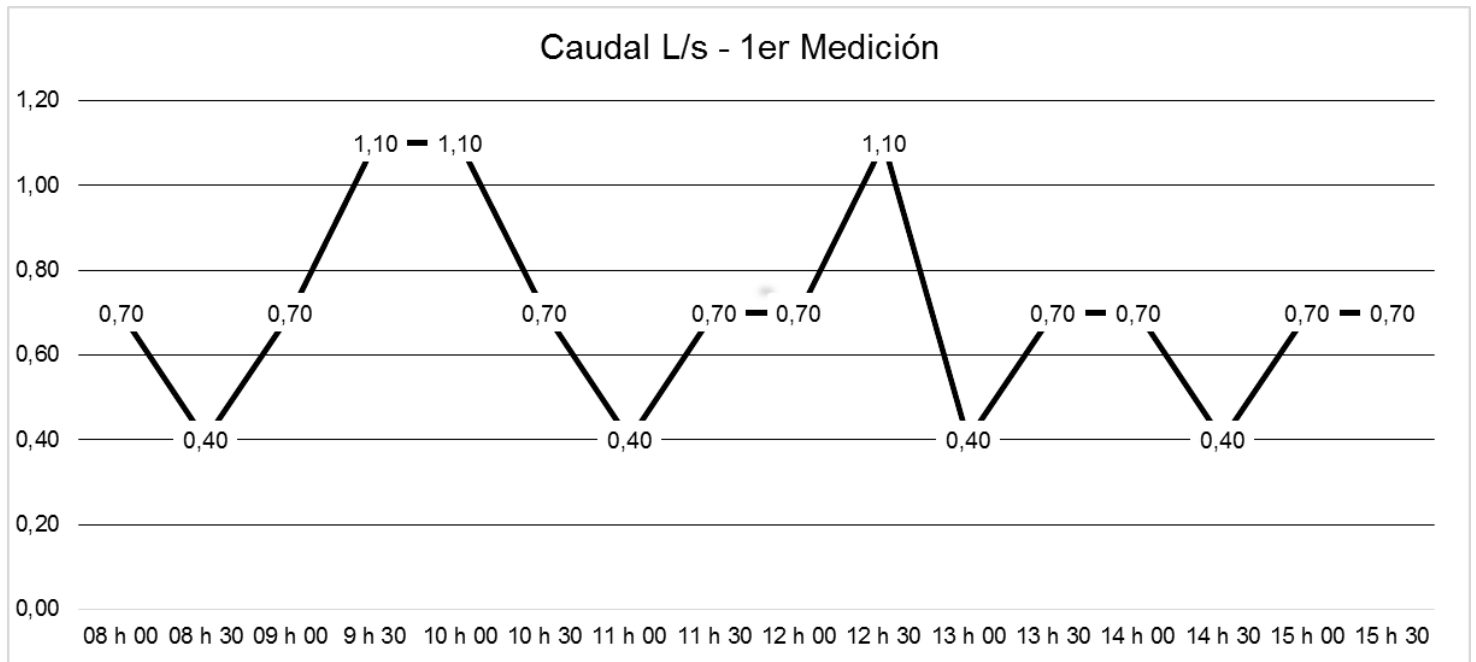
En **ANEXO 4**, Se muestran los parámetros a considerar en la ecuación de Manning. Los resultados obtenidos en la medición del caudal son los siguientes:

**Tabla 7. Primera medición del caudal**

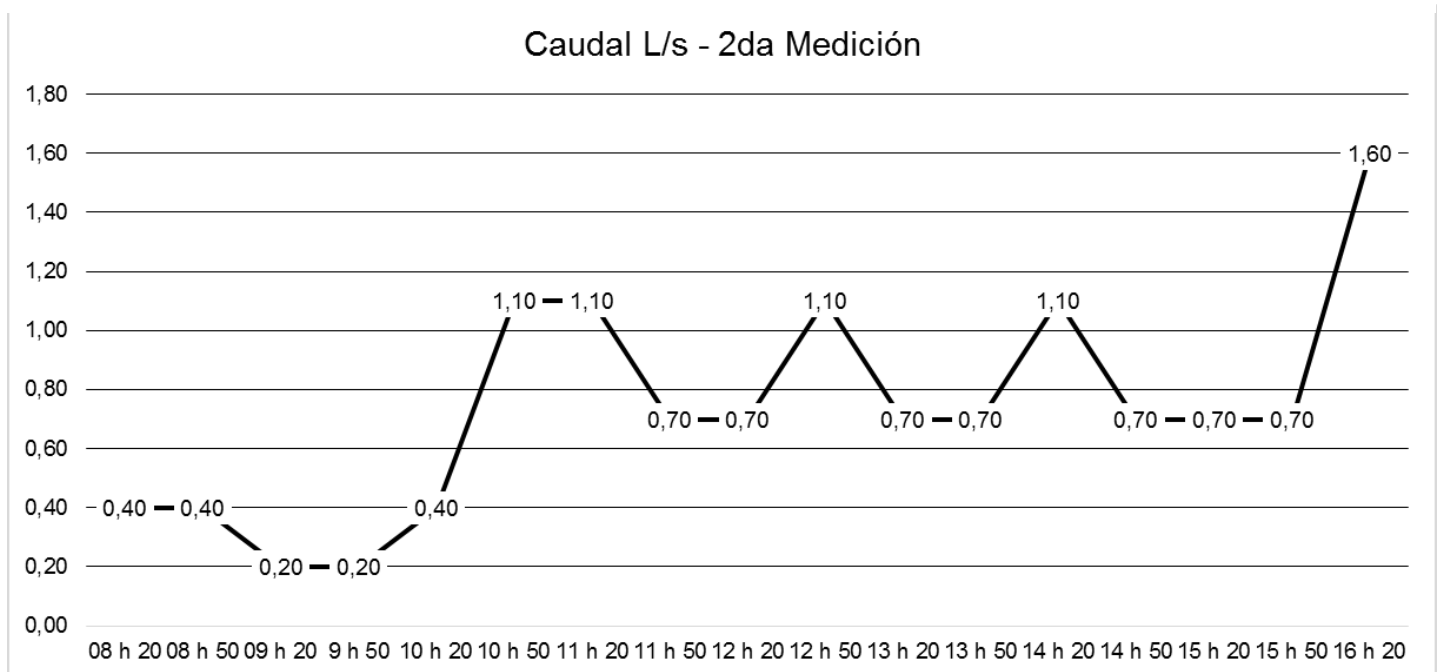
Datos	Tirante d	Angulo	Área	Radio hidráulico	Velocidad	Caudal	Caudal	Caudal
Nº	m	grados	m <sup>2</sup>	m	m/s	m <sup>3</sup> /s	m <sup>3</sup> /h	L/s
08 h 00	0,020	84,9567	0,0014128	0,012504397	0,5006	0,0007	2,52	0,70
08 h 30	0,015	73,1361	0,0009275	0,009535529	0,4174	0,0004	1,44	0,40
09 h 00	0,020	84,9567	0,0014128	0,012504397	0,5006	0,0007	2,52	0,70
9 h 30	0,025	95,5698	0,0019531	0,015366221	0,5747	0,0011	3,96	1,10
10 h 00	0,025	95,5698	0,0019531	0,015366221	0,5747	0,0011	3,96	1,10
10 h 30	0,020	84,9567	0,0014128	0,012504397	0,5006	0,0007	2,52	0,70
11 h 00	0,015	73,1361	0,0009275	0,009535529	0,4174	0,0004	1,44	0,40
11 h 30	0,020	84,9567	0,0014128	0,012504397	0,5006	0,0007	2,52	0,70
12 h 00	0,020	84,9567	0,0014128	0,012504397	0,5006	0,0007	2,52	0,70
12 h 30	0,025	95,5698	0,0019531	0,015366221	0,5747	0,0011	3,96	1,10
13 h 00	0,015	73,1361	0,0009275	0,009535529	0,4174	0,0004	1,44	0,40
13 h 30	0,020	84,9567	0,0014128	0,012504397	0,5006	0,0007	2,52	0,70
14 h 00	0,020	84,9567	0,0014128	0,012504397	0,5006	0,0007	2,52	0,70
14 h 30	0,015	73,1361	0,0009275	0,009535529	0,4174	0,0004	1,44	0,40
15 h 00	0,020	84,9567	0,0014128	0,012504397	0,5006	0,0007	2,52	0,70
15 h 30	0,020	84,9567	0,0014128	0,012504397	0,5006	0,0007	2,52	0,70

En **ANEXO 5**, se encuentran las tablas con los resultados obtenidos en las mediciones del caudal. A continuación se presentan los datos recolectados en el aforo del efluente del Centro:

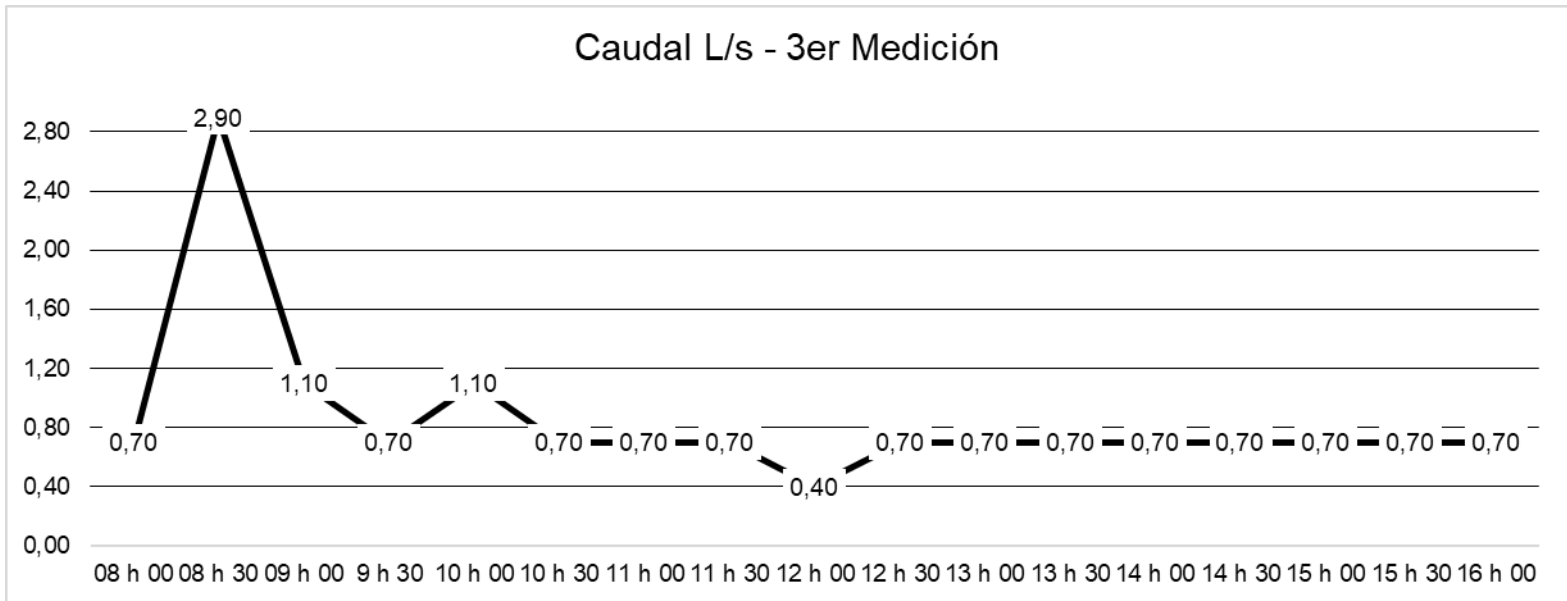
**Gráfico 1. Primer muestreo con su aforo en la fecha: 2018-12-18.**



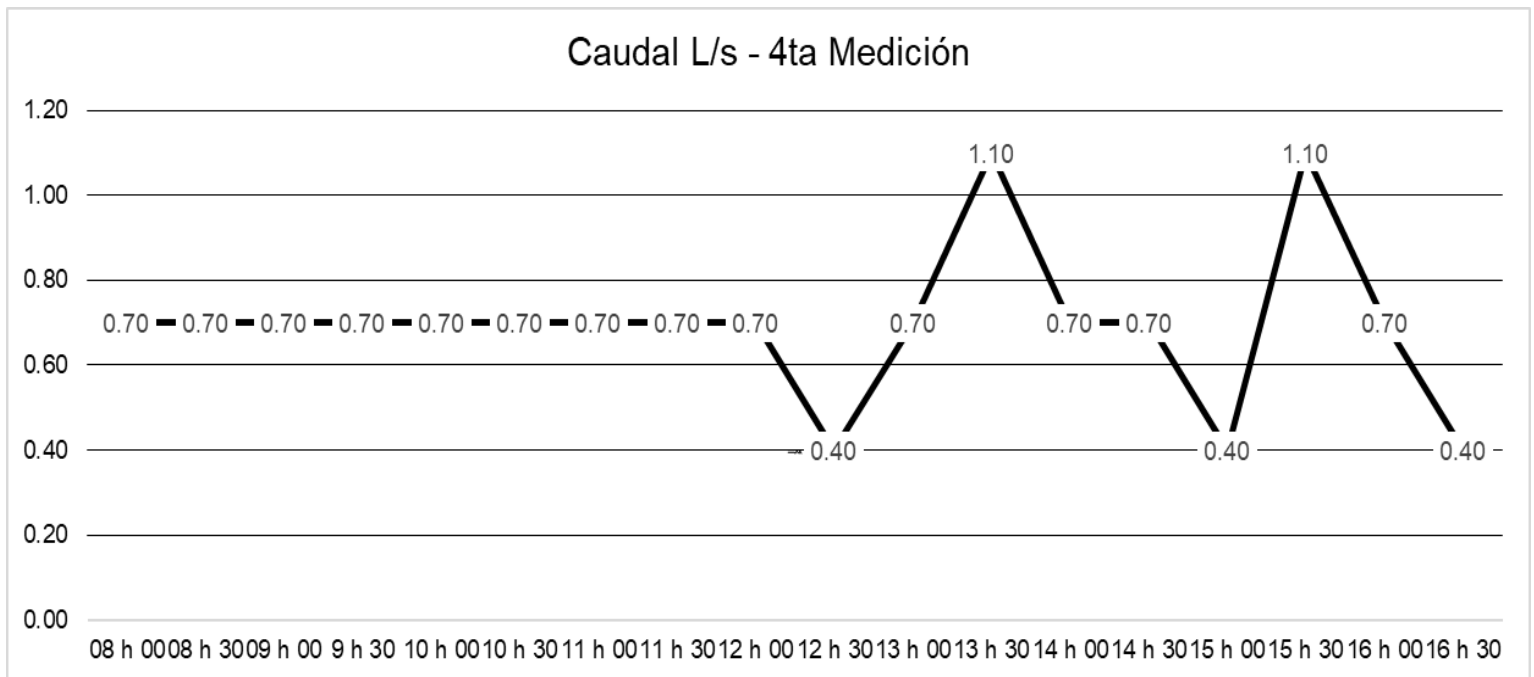
**Gráfico 2. Segundo muestreo con su aforo en la fecha: 2019-01-24.**



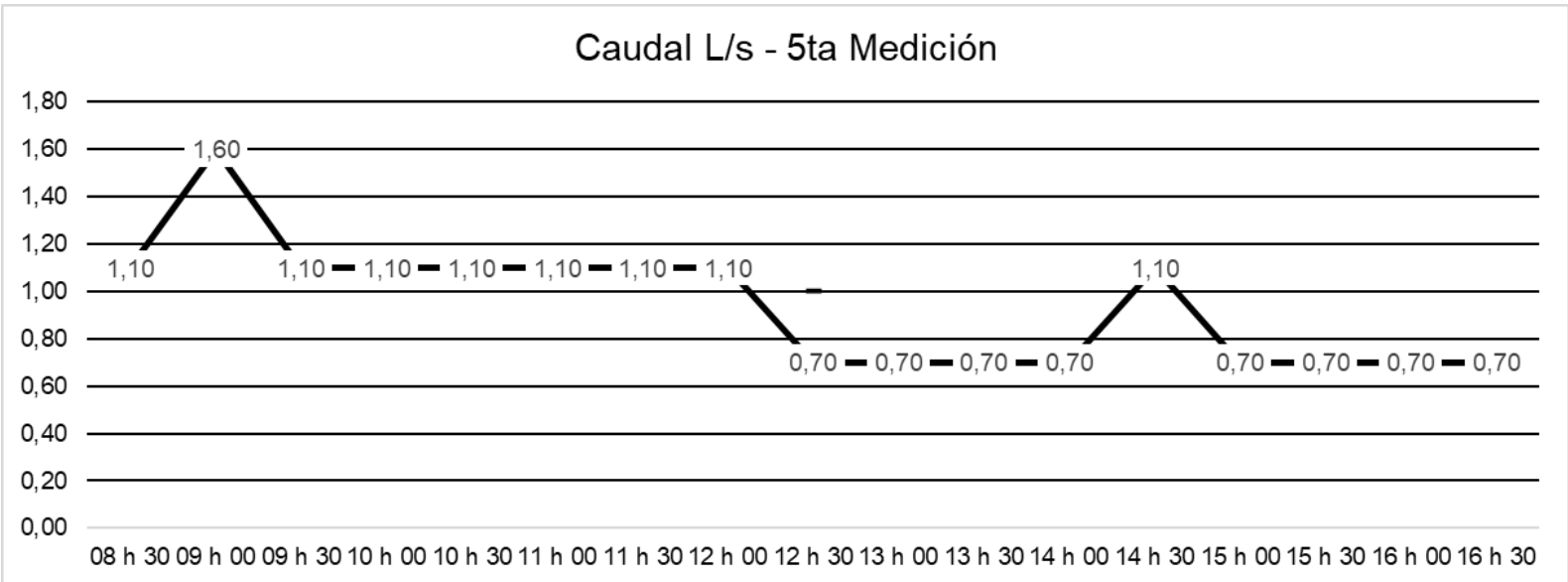
**Gráfico 3. Tercer aforo en la fecha: 2019-02-25.**



**Gráfico 4. Cuarto aforo en la fecha: 2019-02-26.**



**Gráfico 5. Quinto aforo con su muestreo en la fecha: 2019-02-27.**



Para los cálculos del caudal es necesario tener en consideración cada uno de los parámetros que se logran observar en las tablas en **ANEXO 4**, estos datos pueden ser calculados con sus respectivas ecuaciones, en el caso del valor obtenido del tirante este fue medido con una regla debidamente graduada convirtiendo los centímetros a metros; a partir de dichos valores también se logra conocer la alícuota del residual que será recolectada por cada toma de muestra, el cual depende del volumen del caudal.

En cada una de las gráficas anteriormente se logran observar los valores máximos y mínimos obtenidos en la medición del caudal; teniendo oscilaciones en la primera medición con un caudal mínimo de 0,40 y un máximo de 1.10 L/s, siendo el valor promedio de 0,70 L/s el dato más constante reportado en el efluente.

En el segundo aforo del caudal se puede observar valores mínimos de hasta 0,20 L/s siendo este el dato más bajo reportado en las 5 mediciones; presentando siempre oscilaciones con valores entre 0,70 y 1,10 L/s, solo siendo a las 16 h 20 el punto más alto registrado del caudal de 1,60 en este día.

*Estimación de la biodegradabilidad del efluente de las aguas residuales generadas en el CIRA/UNAN-Managua empleando el Método ISO 10707 y Línea Guía de la OECD 301D en el Laboratorio de Aguas Residuales, CIRA/UNAN-Managua, octubre 2018 – diciembre 2019.*

En el tercer aforo se logra observar a las 08 h 30 se obtuvo un valor de caudal de 2,90 L/s, siendo este el valor máximo reportado en las 5 mediciones del caudal; también se logra apreciar datos muy constantes y frecuentes en el efluente, considerando que el valor reportado de 0,70 L/s de caudal es constante.

El cuarto aforo del caudal las primeras 4 horas se reportaron valores de 0,70 L/s, presentando un caudal de oscilación entre 0,40 hasta 1,10 L/s siendo estos datos frecuentes en el efluente.

El último aforo realizado en la fecha del 27 de febrero del año 2019, a partir de las 12 h 30 el efluente presento datos constantes de caudal de 0,70 L/s.

Cabe mencionar que la variabilidad que presentan los valores del caudal, se debe probablemente a la producción que se realizaba en estas fechas en los laboratorios; tomando en cuenta que en los meses en los que se realizaron los aforos, son fechas en las cuales el ingreso de las muestras disminuye considerablemente, ya que son fechas de cierre de año y apertura de uno nuevo.

### **c. Toma de la muestra**

El día 18 de diciembre del año 2018, se realizó el primer muestreo compuesto con duración de 7,5 horas. La cantidad de muestra a conocer o el volumen recolectado del efluente final del Centro, se encuentra sumamente ligado a los parámetros descritos en el Reglamento de las Disposiciones de los Vertidos de las Aguas Residuales, permitiendo así disponer del material necesario o envases en los que la muestra será trasladada al laboratorio para sus análisis.

La ecuación a utilizar para conocer la alícuota que deber ser tomada del efluente para conformar la muestra compuesta es la siguiente:

$$V_{necesario} = Q_{horario} \cdot \frac{V_{total}}{Q_{promedio} \cdot N^{\circ}_{muestra}} \quad (Ec. 7)$$

***Estimación de la biodegradabilidad del efluente de las aguas residuales generadas en el CIRA/UNAN-Managua empleando el Método ISO 10707 y Línea Guía de la OECD 301D en el Laboratorio de Aguas Residuales, CIRA/UNAN-Managua, octubre 2018 – diciembre 2019.***

Donde:

- ✓  $V_{necesario}$ : Volumen a recolectar (ml)
- ✓  $Q_{horario}$ : Caudal horario (L/s)
- ✓  $V_{total}$ : Volumen total (ml)
- ✓  $Q_{promedio}$ : Caudal Promedio
- ✓  $N^{\circ}_{muestra}$ : Numero de muestras

Para el primer muestreo compuesto con duración de 7,5 horas se consideró recolectar 12 000 ml de muestra total, teniendo en cuenta los parámetros físico-químicos que serán determinados en la caracterización del efluente.

En las siguientes figuras se logran apreciar los envases donde fueron recolectadas las muestras, la ejecución del muestreo, así como el almacenamiento temporal de la muestra, los parámetros o mediciones de campo y punto de muestreo:



Figura 12. Envases donde serán almacenadas las muestras.



Figura 13. Medición de los parámetros de campo



Figura 14. Recolección de la alícuota del efluente.

*Estimación de la biodegradabilidad del efluente de las aguas residuales generadas en el CIRA/UNAN-Managua empleando el Método ISO 10707 y Línea Guía de la OECD 301D en el Laboratorio de Aguas Residuales, CIRA/UNAN-Managua, octubre 2018 – diciembre 2019.*



*Figura 15. Medición del tirante del efluente.*



*Figura 16. Recolección de la muestra.*



*Figura 17. Almacenamiento de la muestra para ser trasladada al laboratorio.*

Este procedimiento de toma de muestra y medición del caudal fue el mismo para los 2 muestreos restantes; teniendo en consideración los datos recolectados en el campo como pH, Conductividad eléctrica y temperatura, dichos parámetros corresponderán a los 3 muestreos compuestos programados. En los mismos serán reflejados el tirante, caudal y volumen de la muestra.

En las siguientes tablas se logran observar los resultados de las mediciones de los datos recolectados en campo, con sus respectivas fechas de toma:

**Tabla 8. Primer Muestreo**

Hora	Tirante	Volumen	Caudal	pH	Conductividad	Temperatura
	m	ml	L/s	Unidades	μS/cm	°C
08 h 00	0,020	750	0,70	7,28	587,86	27,9
08 h 30	0,015	430	0,40	7,18	591,07	28,0
09 h 00	0,020	750	0,70	7,01	593,93	27,3
9 h 30	0,025	1 200	1,10	7,28	626,01	27,4
10 h 00	0,025	1 200	1,10	7,14	688,81	28,0
10 h 30	0,020	750	0,70	7,21	734,49	28,1
11 h 00	0,015	430	0,40	7,30	745,65	28,3
11 h 30	0,020	750	0,70	7,17	645,41	28,2
12 h 00	0,020	750	0,70	8,06	1 097,00	28,2
12 h 30	0,025	1 200	1,10	7,15	658,02	28,6
13 h 00	0,015	430	0,40	7,11	585,41	28,5
13 h 30	0,020	750	0,70	7,07	655,93	28,6
14 h 00	0,020	750	0,70	7,12	712,56	28,6
14 h 30	0,015	430	0,40	7,10	629,08	28,4
15 h 00	0,020	750	0,70	6,95	724,01	28,5
15 h 30	0,020	750	0,70	7,01	692,39	28,7

Estas mediciones corresponden a los datos de campo recolectado en el muestreo compuesto de 7,5 horas, realizado el día 18 de diciembre del año 2018, identificando el punto de la toma de la muestra como: Efluente Final del CIRA/UNAN-Managua, Agua residual doméstica más laboratorios.

Las mediciones representadas en la **Tabla 9** corresponden al muestreo compuesto de 08 horas, realizado el día 24 de enero del año 2019, identificando el punto de la toma de la muestra como: Efluente Final del CIRA/UNAN-Managua, Agua residual doméstica más laboratorios.



*Estimación de la biodegradabilidad del efluente de las aguas residuales generadas en el CIRA/UNAN-Managua empleando el Método ISO 10707 y Línea Guía de la OECD 301D en el Laboratorio de Aguas Residuales, CIRA/UNAN-Managua, octubre 2018 – diciembre 2019.*

**Tabla 9. Segundo Muestreo**

Hora	Tirante	Volumen	Caudal	pH	Conductividad	Temperatura
	m	ml	L/s	Unidades	µS/cm	°C
08 h 00	0.020	640	0.70	7.44	708.81	28.1
08 h 30	0.040	2 700	2.90	7.41	792.25	27.6
9 h 00	0.025	1 000	1.10	7.27	663.54	28.0
9 h 30	0.020	640	0.70	7.42	684.93	28.2
10 h 00	0.025	1 000	1.10	7.42	709.65	28.0
10 h 30	0.020	640	0.70	7.27	798.63	28.1
11 h 00	0.020	640	0.70	7.48	948.37	28.0
11 h 30	0.020	640	0.70	7.26	881.02	28.3
12 h 00	0.015	370	0.40	7.68	879.30	28.6
12 h 30	0.020	640	0.70	7.27	843.40	28.8
13 h 00	0,020	640	0.70	7.39	743.35	28.9
13 h 30	0,020	640	0.70	7.33	709.81	29.0
14 h 00	0.020	640	0.70	7.71	1 168,00	28.8
14 h 30	0,020	640	0.70	7.23	760.42	28.9
15 h 00	0,020	640	0.70	7.45	687.84	29.0
15 h 30	0,020	640	0.70	7.14	769.45	28.4
16 h 00	0.020	640	0.70	7.19	689.57	28.4

**Tabla 10. Tercer Muestreo**

Hora	Tirante	Volumen	Caudal	pH	Conductividad	Temperatura
	m	ml	L/s	Unidades	µS/cm	°C
08 h 20	0.015	380	0,40	7.65	830	27.0
08 h 50	0.015	380	0,40	7.02	852	26.9
09 h 20	0.010	190	0.20	6.67	910	27.0
09 h 50	0.010	190	0.20	7.70	843	27.2
10 h 20	0.015	380	0.40	8.31	740	28.6
10 h 50	0.025	1 050	1.10	8.10	880	28.5
11 h 20	0.025	1 050	1.10	8.11	821	28.2
11 h 50	0.020	670	0,70	7.78	794	28.4
12 h 20	0.020	670	0,70	7.86	857	28.6
12 h 50	0,025	1 050	1.10	7.85	1 099	28.6
13 h 20	0,020	670	0.70	6.86	902	28.7
13 h 50	0,020	670	0.70	8.22	874	28.6
14 h 20	0,025	1 050	1.10	7.59	806	28.6
14 h 50	0,020	670	0.70	7.51	852	28.1
15 h 20	0,020	670	0,70	7.40	806	28.6
15 h 50	0,020	670	0,70	7.88	860	29.0
16 h 20	0,030	1 600	1.60	7.29	1 064	28.6

*Estimación de la biodegradabilidad del efluente de las aguas residuales generadas en el CIRA/UNAN-Managua empleando el Método ISO 10707 y Línea Guía de la OECD 301D en el Laboratorio de Aguas Residuales, CIRA/UNAN-Managua, octubre 2018 – diciembre 2019.*

Estas mediciones corresponden al muestreo compuesto de 08 horas, realizado el día 27 de febrero del año 2019, identificando el punto de la toma de la muestra como: Efluente Final del CIRA/UNAN-Managua, agua residual doméstica más laboratorios.

Se puede observar que los datos de pH recolectados en los muestreos se encuentran en un rango en 7 – 8 unidades de pH, a su vez también se logra analizar que las conductividades eléctricas reportadas oscilan entre 600 – 900  $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ , de la misma manera las temperaturas medidas en el efluente es de 28 °C aproximadamente. Siendo comparados estos resultados con el Reglamento No. 21-2017 teniendo que; estos resultados se encuentren dentro del rango máximo permisible establecido en el Reglamento en cuestión.

Cabe mencionar que los muestreos compuestos permiten obtener una muestra representativa del caudal en función de las descargas en el efluente, las mediciones de los parámetros en cuestión permiten conocer las condiciones en las cuales se encuentra el residual y las posibles interferencias que puede presentar este.

#### **4.1.2 Caracterización físico-química del efluente**

Para la caracterización físico-química de las muestras de las aguas residuales recolectadas en el efluente final del CIRA/UNAN-Managua, se debe tomar en cuenta las Disposiciones para el vertido de las aguas residuales contempladas en el Reglamento No. 21-2017 en el artículo 22. Para ello, dichas muestras fueron trasladadas a los laboratorios encargados en la determinación de los parámetros implementados en el Reglamento.

Los análisis llevados a cabo se encuentran separados en 3 grupos: Agentes Físicos (Sólidos suspendidos, calor), Agentes Químicos (pH, Sustancias consumidoras de oxígeno disuelto, Nutrientes, Aceites y grasas) y Compuestos Metálicos; para lo cual, tanto los agentes físicos como químicos son trasladados para su análisis en el Laboratorio de Aguas Residuales, y los compuestos metálicos serán analizados en el Laboratorio de Contaminante Metálicos, ambas instalaciones formando parte del Centro donde es realizada la investigación.

*Estimación de la biodegradabilidad del efluente de las aguas residuales generadas en el CIRA/UNAN-Managua empleando el Método ISO 10707 y Línea Guía de la OECD 301D en el Laboratorio de Aguas Residuales, CIRA/UNAN-Managua, octubre 2018 – diciembre 2019.*

Se realizaron tres muestreos, tomando muestras compuestas proporcionales al caudal y se realizaron los análisis según el artículo 22 del Reglamento No.21 - 2017. Cabe señalar que los parámetros de campo expresado en las Tablas 8, 9 y 10, fueron recolectados en simultáneo con cada muestreo. Para la emisión de los resultados que se muestran a continuación, se compararon con los parámetros descritos en el Reglamento:

**Tabla 11. Primera emisión de los resultados**

<b>Parámetros</b>	<b>Valores máximos permisibles</b>	<b>I Muestreo</b>	<b>Limite y rangos de detección</b>
Temperatura °C	50	28,70	
Color (UC)	20	15,00	5,0 - 70,0
pH	6 – 9	7,66	0,10 a 14,00
Conductividad eléctrica (µS/cm)	5 000	799,00	0,01 a 200 000
Solidos totales (mg/L)	1500	670,00	Hasta 20 000
Solidos suspendidos totales (mg/L)	400	143,33	Hasta 20 000
Solidos sedimentables (ml/L)	10	0,5	0,1 a 1 000
Aceites y grasas totales (mg/L)	100	11,93	
Aceites y grasas minerales (mg/L)	20	N/A	
DBO <sub>5</sub> (mg/L)	400	192,00	1,00
DQO (mg/L)	900	329,03	10,00
Fósforo total (mg/L)	12	3,12	0,25
Nitrógeno total Kjeldahl (mg/L)	60	23,32	1,00
Mercurio (mg/L)	0,02	0,00098	0,00009
Manganeso (mg/L)	10	0,105	0,00116
Arsénico (mg/L)	0,5	0,00384	0,00099
Cadmio (mg/L)	0,75	0,00152	0,00015
Cromo hexavalente (mg/L)	0,5	<0,007	0,007
Cobre (mg/L)	3	0,0141	0,00124
Plomo (mg/L)	1	0,00134	0,00084
Fenoles (mg/L)	0,5	0,040	0,01
Níquel (mg/L)	3	0,00237	0,00028
Zinc (mg/L)	3	0,0564	0,03595
Plata (mg/L)	1	0,00231	0,00064
Selenio (mg/L)	1	<0,00443	0,00443
Sulfuros (mg/L)	1	2,84	0,010
Sulfatos (mg/L)	500	35,32	0,25
Hierro (mg/L)	10	1,48	0,02
Cloruros (mg/L)	1 000	2,00	0,25
Fluoruro (mg/L)	10	0,92	0,25
SAAM (mg/L)		3,580	0,01

*\*Análisis no empleado en el Reglamento pero considerado por el autor como un parámetro importante de determinar.*

*N/A: No Analizado.*

El 15 de febrero del año 2019 fueron emitidos los resultados del primer muestreo compuesto, la muestra fue procesada bajo un régimen de calidad de acuerdo a lo establecido en los procedimientos de los laboratorios de Aguas Residuales y

*Estimación de la biodegradabilidad del efluente de las aguas residuales generadas en el CIRA/UNAN-Managua empleando el Método ISO 10707 y Línea Guía de la OECD 301D en el Laboratorio de Aguas Residuales, CIRA/UNAN-Managua, octubre 2018 – diciembre 2019.*

Contaminantes Metálicos; Los resultados expresados en la **Tabla 11**, debieron ser comprobados con lo establecido en el Reglamento No. 21-2017 en su artículo 22, esto con el fin de conocer el cumplimiento de los parámetros en cuestión.

En la **Tabla 11**, los resultados generados en la primera caracterización del efluente, en su mayoría se encuentran dentro de los rangos máximos permisibles indicados en el Reglamento, siendo esto de gran importancia para el centro lo que indica que las cargas de contaminantes son las mínimas, presentando datos aceptables de acuerdo con los análisis y procedimientos establecidos en el artículo 22 del presente Reglamento; teniendo que solo el valor del Sulfuro Total es el único parámetro que no cumple obteniendo 2,84 mg/L de sulfuros de 1 mg/L permitido en el Reglamento.

**Tabla 12. Segunda emisión de los resultados**

<b>Parámetros</b>	<b>Valores máximos permisibles</b>	<b>II Muestreo</b>	<b>Limite y rangos de detección</b>
Temperatura °C	50	28,60	
Color (UC)	20	20,00	5,0 - 70,0
pH	6 – 9	8,22	0,10 a 14,00
Conductividad eléctrica (µS/cm)	5 000	1 005	0,01 a 200 000
Solidos totales (mg/L)	1500	701,00	Hasta 20 000
Solidos suspendidos totales (mg/L)	400	197,36	Hasta 20 000
Solidos sedimentables (ml/L)	10	1,0	0,1 a 1 000
Aceites y grasas totales (mg/L)	100	23,27	
Aceites y grasas minerales (mg/L)	20	N/A	
DBO <sub>5</sub> (mg/L)	400	161,60	1,00
DQO (mg/L)	900	236,24	10,00
Fósforo total (mg/L)	12	5,561	0,25
Nitrógeno total Kjeldahl (mg/L)	60	*	1,00
Mercurio (mg/L)	0,02	0,00351	0,00009
Manganeso (mg/L)	10	0,382	0,00116
Arsénico (mg/L)	0,5	0,00175	0,00099
Cadmio (mg/L)	0,75	0,00165	0,00015
Cromo hexavalente (mg/L)	0,5	<0,007	0,007
Cobre (mg/L)	3	0,0215	0,00124
Plomo (mg/L)	1	0,0436	0,00084
Fenoles (mg/L)	0,5	0,110	0,01
Níquel (mg/L)	3	0,00154	0,00028
Zinc (mg/L)	3	0,252	0,03595
Plata (mg/L)	1	<0,00064	0,00064
Selenio (mg/L)	1	<0,00443	0,00443
Sulfuros (mg/L)	1	2,84	0,010
Sulfatos (mg/L)	500	45,28	0,25
Hierro (mg/L)	10	1,10	0,02
Cloruros (mg/L)	1 000	76,48	0,25
Fluoruro (mg/L)	10	0,885	0,25
SAAM (mg/L)		5,760	0,01

\*Resultado no reportado por fallas en equipo digestor Kjeldahl

*Estimación de la biodegradabilidad del efluente de las aguas residuales generadas en el CIRA/UNAN-Managua empleando el Método ISO 10707 y Línea Guía de la OECD 301D en el Laboratorio de Aguas Residuales, CIRA/UNAN-Managua, octubre 2018 – diciembre 2019.*

El 25 de marzo del año 2019 correspondiente a la segunda emisión de los resultados del muestreo compuesto, en esta muestra al igual que la primera fue procesada bajo un régimen de calidad de acuerdo a lo establecido en los procedimientos de los laboratorios de Aguas Residuales y Contaminantes Metálicos; dichos resultados fueron comparados con lo establecido en el Reglamento No. 21-2017 en su artículo 22.

La **Tabla 12**, expresa los resultados generados en la segunda caracterización del efluente, al igual que los primeros datos obtenidos el valor del Sulfuro Total es el único parámetro que no cumple obteniendo 2,84 mg/L de sulfuros de 1 mg/L permitido, de acuerdo con los análisis y procedimientos establecidos en el artículo 22 del Reglamento.

**Tabla 13. Tercera emisión de los resultados**

<i>Parámetros</i>	<i>Valores máximos permisibles</i>	<i>III Muestreo</i>	<i>Limite y rangos de detección</i>
Temperatura °C	50	28,40	
Color (UC)	20	20,00	5,0 - 70,0
pH	6 – 9	7,78	0,10 a 14,00
Conductividad eléctrica (µS/cm)	5 000	827,10	0,01 a 200 000
Sólidos totales (mg/L)	1500	615,00	Hasta 20 000
Sólidos suspendidos totales (mg/L)	400	111	Hasta 20 000
Sólidos sedimentables (ml/L)	10	2,5	0,1 a 1 000
Aceites y grasas totales (mg/L)	100	22,84	
Aceites y grasas minerales (mg/L)	20	N/A	
DBO <sub>5</sub> (mg/L)	400	156,80	1,00
DQO (mg/L)	900	228,05	10,00
Fósforo total (mg/L)	12	5,08	0,25
Nitrógeno total Kjeldahl (mg/L)	60		1,00
Mercurio (mg/L)	0,02	0,00579	0,00009
Manganeso (mg/L)	10	0,0758	0,00116
Arsénico (mg/L)	0,5	0,00565	0,00099
Cadmio (mg/L)	0,75	0,00094	0,00015
Cromo hexavalente (mg/L)	0,5	<0,007	0,007
Cobre (mg/L)	3	0,0115	0,00124
Plomo (mg/L)	1	0,00647	0,00084
Fenoles (mg/L)	0,5	0,03	0,01
Níquel (mg/L)	3	0,00357	0,00028
Zinc (mg/L)	3	0,196	0,03595
Plata (mg/L)	1	<0,00064	0,00064
Selenio (mg/L)	1	<0,00443	0,00443
Sulfuros (mg/L)	1	0,163	0,010
Sulfatos (mg/L)	500	35,62	0,25
Hierro (mg/L)	10	0,60	0,02
Cloruros (mg/L)	1 000	26,99	0,25
Fluoruro (mg/L)	10	0,81	0,25
SAAM (mg/L)		4,280	0,01

*Estimación de la biodegradabilidad del efluente de las aguas residuales generadas en el CIRA/UNAN-Managua empleando el Método ISO 10707 y Línea Guía de la OECD 301D en el Laboratorio de Aguas Residuales, CIRA/UNAN-Managua, octubre 2018 – diciembre 2019.*

El 01 de abril del año 2019 fueron emitidos los resultados correspondientes al tercer y último muestreo compuesto, expresados en la **Tabla 13**, dichas muestras fueron procesadas en los laboratorios de Aguas Residuales y Contaminantes Metálicos; los resultados de igual maneras se compararon con lo establecido en el Reglamento No. 21-2017 en su artículo 22.

Cabe señalar que las cantidad de sulfuro total reportadas se debe a la descomposición de la materia orgánica presente en el efluente como se logró apreciar en la inspección in situ siento este un problema latente para el centro. A continuación, se presentan en conjunto los resultados obtenidos en la caracterización del efluente de las aguas residuales del CIRA/UNAN-Managua:

**Tabla 14. Resultados obtenidos en la caracterización del efluente**

<i>Parámetros</i>	<i>Valores máximos permisibles</i>	<i>I Muestreo</i>	<i>II Muestreo</i>	<i>III Muestreo</i>	<i>Limite y rangos de detección</i>
Temperatura °C	50	28,70	28,60	28,40	
Color (UC)	20	15,00	20,00	20,00	5,0 - 70,0
pH	6 – 9	7,66	8,22	7,78	0,10 a 14,00
Conductividad eléctrica (µS/cm)	5 000	799,00	1 005	827,10	0,01 a 200 000
Sólidos totales (mg/L)	1500	670,00	701,00	615,00	Hasta 20 000
Sólidos suspendidos totales (mg/L)	400	143,33	197,36	111	Hasta 20 000
Sólidos sedimentables (ml/L)	10	0,5	1,0	2,5	0,1 a 1 000
Aceites y grasas totales (mg/L)	100	11,93	23,27	22,84	
Aceites y grasas minerales (mg/L)	20	N/A	N/A	N/A	
DBO <sub>5</sub> (mg/L)	400	192,00	161,60	156,80	1,00
DQO (mg/L)	900	329,03	236,24	228,05	10,00
Fósforo total (mg/L)	12	3,12	5,561	5,08	0,25
Nitrógeno total Kjeldahl (mg/L)	60	23,32			1,00
Mercurio (mg/L)	0,02	0,00098	0,00351	0,00579	0,00009
Manganeso (mg/L)	10	0,105	0,382	0,0758	0,00116
Arsénico (mg/L)	0,5	0,00384	0,00175	0,00565	0,00099
Cadmio (mg/L)	0,75	0,00152	0,00165	0,00094	0,00015
Cromo hexavalente (mg/L)	0,5	<0,007	<0,007	<0,007	0,007
Cobre (mg/L)	3	0,0141	0,0215	0,0115	0,00124
Plomo (mg/L)	1	0,00134	0,0436	0,00647	0,00084
Fenoles (mg/L)	0,5	0,040	0,110	0,03	0,01
Níquel (mg/L)	3	0,00237	0,00154	0,00357	0,00028
Zinc (mg/L)	3	0,0564	0,252	0,196	0,03595
Plata (mg/L)	1	0,00231	<0,00064	<0,00064	0,00064
Selenio (mg/L)	1	<0,00443	<0,00443	<0,00443	0,00443
Sulfuros (mg/L)	1	2,84	2,84	0,163	0,010
Sulfatos (mg/L)	500	35,32	45,28	35,62	0,25
Hierro (mg/L)	10	1,48	1,10	0,60	0,02
Cloruros (mg/L)	1 000	2,00	76,48	26,99	0,25
Fluoruro (mg/L)	10	0,92	0,885	0,81	0,25
SAAM (mg/L)		3,580	5,760	4,280	0,01

*Estimación de la biodegradabilidad del efluente de las aguas residuales generadas en el CIRA/UNAN-Managua empleando el Método ISO 10707 y Línea Guía de la OECD 301D en el Laboratorio de Aguas Residuales, CIRA/UNAN-Managua, octubre 2018 – diciembre 2019.*

En la **Tabla 14**, se recopilan los resultados emitidos en cada uno de los análisis físico-químicos para conocer la calidad del agua proveniente del efluente de los laboratorios del Centro, con estos resultados se puede destacar la efectividad de los análisis, el cumplimiento de las gestiones de las aguas residuales y el compromiso del Centro por conocer y mejorar la calidad de las aguas residuales generadas en los procesos de los distintos laboratorios que conforman el CIRA.

#### **4.1.3 Desarrollo y crecimiento del inóculo**

Para el crecimiento del inóculo a nivel escala de laboratorio fue necesario el uso de un reactor aireado de mezcla completa el cual permite un buen desarrollo de los microorganismos, el medio de cultivo donde serán generados estas bacterias provienen del efluente secundario de un sistema de tratamiento de aguas residuales; es importante mencionar que aquellos efluentes con procedencias de sólidos no bacterianos y grasas no pueden ser tomadas en consideración como medio de cultivo, ya que al presentar contaminación producirá interferencias no deseadas en el inóculo.

El 19 de noviembre del año 2018, se inició la inoculación de las bacterias aerobias que fueron utilizadas en el ensayo; a continuación, en la siguiente figura se presenta el montaje del reactor y desarrollo del inóculo:



Figura 18. Desarrollo del inóculo.

*Estimación de la biodegradabilidad del efluente de las aguas residuales generadas en el CIRA/UNAN-Managua empleando el Método ISO 10707 y Línea Guía de la OECD 301D en el Laboratorio de Aguas Residuales, CIRA/UNAN-Managua, octubre 2018 – diciembre 2019.*

En la **Figura 18**, se aprecia el proceso de maduración del inóculo, desarrollando de esta manera los microorganismos esenciales en el proceso de la biodegradación de la materia orgánica presente en el efluente en estudio. El volumen que se utilizó para el desarrollo del inóculo fue de 800 ml principalmente; luego se incrementó el volumen en 1 100 ml, se debe tener en cuenta que el volumen del medio puede ser mayor o menor según convengan o lo decida el investigador.

El reactor fue puesto en funcionamiento el 18 de noviembre del año 2018, agregando el medio de cultivo a dicho reactor con aireación continua 24/7, la alimentación con solución de leche preparada a partir del peso de 20 g de leche en polvo descremada en 500 ml de agua destilada, comenzó el 20 de noviembre del año 2018; cabe mencionar que la concentración de la solución debe ser de 40g/L. Antes de cada alimentación se deben realizar la medición de parámetros de control como pH y Conductividad Eléctrica para conocer el comportamiento del inóculo. A continuación, se presentan los resultados obtenidos de cada parámetro a los cuales fue sometido el inóculo:

**Tabla 15. Parámetros del inóculo**

Fecha	pH	Conductividad ( $\mu$ S/cm)	OD (mg/L)	Cantidad de alimento (ml)	DQO (mg/L)
2018-11-19	8,57	917,5			
2018-11-20	8,79	926,3		1	
2018-11-21	8,71	937,5		1	
2018-11-23	8,64	841,9		1	
2018-11-26	8,73	865,1	8,50	1	
2018-11-27	8,66	878,3		1	
2018-11-28	8,63	909,5	9,66	1	
2018-11-29	8,64	892,9		1	
2018-12-04	8,57	925,7		1	
2018-12-05	8,50	947,6		5	
2018-12-06	8,54	954,6	8,48	15	
2018-12-11	8,61	1 062	8,12	5	
*2018-12-12	8,39	1 077		5	37,11
2018-12-13	8,50	1 093		5	36,41



*Estimación de la biodegradabilidad del efluente de las aguas residuales generadas en el CIRA/UNAN-Managua empleando el Método ISO 10707 y Línea Guía de la OECD 301D en el Laboratorio de Aguas Residuales, CIRA/UNAN-Managua, octubre 2018 – diciembre 2019.*

Fecha	pH	Conductividad (µS/cm)	OD (mg/L)	Cantidad de alimento (ml)	DQO (mg/L)
**2018-12-13					185,53
2018-12-14	8,30	1 155		21	
2018-12-20	8,22	1 407		5	
2018-12-21				10	
2018-12-22				10	
2018-12-23				10	
2018-12-24				10	
2018-12-25				10	
2018-12-26				10	
2018-12-27				***15	
2018-12-28				10	
2018-12-29				10	
2018-12-30				10	
2018-12-31				10	
2019-01-01				10	
2019-01-02				10	
2019-01-03				10	
2019-01-04				10	
2019-01-05				10	
2019-01-06				10	
2019-01-07	8,03	2 099	7,71	10	
2019-01-08	8,14	2 164		10	
2019-01-09	8,05	2 269		10	
2019-01-10	8,02	2 325			

*\*Los parámetros de pH y conductividad se realizaron después de alimentado el inoculo; exceptuando el análisis de DQO, se tomó la muestra antes de alimentar al inóculo. \*\*Análisis de DQO realizado con el inoculo alimentado. \*\*\*Cambio del alimento (de leche descremada en polvo a leche descremada líquida).*

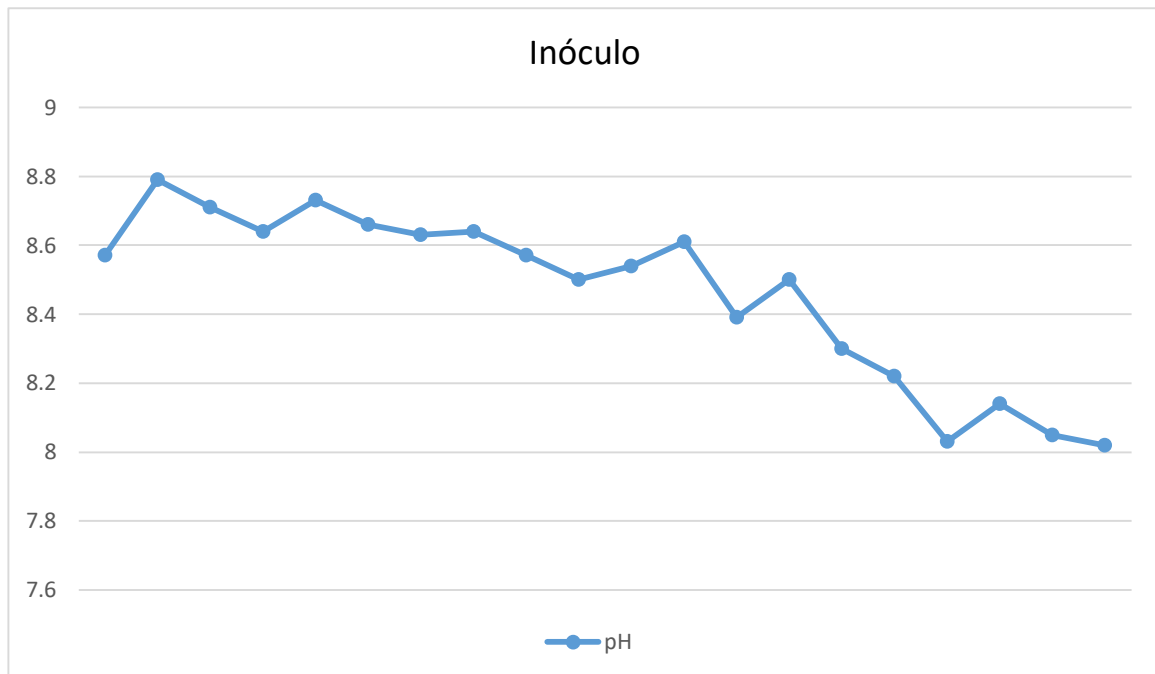
**Nota:** *Del 2018-12-21 al 2019-01-06 no se realizaron mediciones de parámetros, dado que el centro se encontraba en periodo de vacaciones. El inóculo debió ser trasladado a la casa de habitación de autor.*

Los datos de pH presentados en la **Tabla 15**, indican valores significativamente constantes, por ende no fue necesario el ajuste de dicho parámetro, ya que el pH óptimo del medio cultivo para el desarrollo de los microorganismos debe ser entre 6,5 y 8,5. Sin embargo la conductividad eléctrica fue en aumento, cabe mencionar que este parámetro

no es necesaria su determinación, a la hora del desarrollo del inóculo, pero fue tomada en cuenta por parte del investigador para conocer el comportamiento de este dato.

Para una mejor apreciación del pH del inóculo en la **Tabla 15**, antes que este se ajustara, se elaboró el siguiente gráfico:

**Gráfico 6. pH Inóculo**



Se debe tener en cuenta las condiciones óptimas y parámetros para conocer que el lodo está listo para ser utilizado como inóculo, estos son los parámetros que se utilizan en el buen funcionamiento de los sistemas de tratamiento con lodos activados:

- ✓ **pH:** Este debe estar entre 6,5 y 8,5 unidades de pH
- ✓ **Sólidos Suspendidos Volátiles (SSV):** 2 500 mg/L
- ✓ **Temperatura:**  $22 \pm 4^{\circ}\text{C}$
- ✓ **Índice Volumétrico de Lodo (IVL):** Debe ser menor a 150 mg/L

Para la alimentación del inóculo se agregó 1 ml de leche por un lapso de aproximadamente 2 semanas, aumentando la cantidad del alimento con el paso del tiempo y maduración del inóculo, adicionando con un volumen de 10 ml del alimento en

*Estimación de la biodegradabilidad del efluente de las aguas residuales generadas en el CIRA/UNAN-Managua empleando el Método ISO 10707 y Línea Guía de la OECD 301D en el Laboratorio de Aguas Residuales, CIRA/UNAN-Managua, octubre 2018 – diciembre 2019.*

las últimas 3 semanas. **Nota:** No siendo necesario el incremento gradual de la alimentación, ya que se puede comenzar con un volumen mayor de alimento tomando en cuenta los parámetros que debe cumplir el inóculo al momento de su maduración.

El 20 de diciembre del año 2018 un mes después del inicio para el desarrollo de los microorganismos presentes en el inóculo, se determinaron los Sólidos Suspendedos Volátiles (SSV), los que permitirán conocer el estado de madurez del lodo activado, para luego proceder al montaje del método de la estimación de la biodegradabilidad, teniendo en cuenta que las condiciones óptimas de maduración de dichos lodos deben presentar concentraciones de 2 500 mg/L aproximadamente de SSV.

Para ello fue realizado el análisis basado con lo establecido en el Procedimiento Operativo Normalizado del Laboratorio de Aguas Residuales (PON-AR-01) y Manual de Procedimientos Operativos Normalizados del Laboratorio de Contaminantes Metálicos (MPON-CM-03), así como del Standard Methods for the Examination of Water & Wastewater 22ND Edition.

Tomando el volumen de muestra del inóculo hasta la saturación del filtro (30 ml) hasta su calcinación tal como se aprecia en la siguiente figura:



*Figura 19. Análisis de SSV para determinar la madurez del inóculo.*

*Estimación de la biodegradabilidad del efluente de las aguas residuales generadas en el CIRA/UNAN-Managua empleando el Método ISO 10707 y Línea Guía de la OECD 301D en el Laboratorio de Aguas Residuales, CIRA/UNAN-Managua, octubre 2018 – diciembre 2019.*

Para la obtención del resultado el método se realiza por diferencia de peso, los cálculos y datos recolectados para la determinación de SSV se muestran a continuación:

	<b>Capsula vacía</b>	<b>Peso con muestra</b>	<b>Muestra calcinada</b>
	46,9895	47,0962	47,0463
	46,9896	47,0961	47,0462
	46,9896	47,0958	47,0462
$\bar{X}$ :	46,9896	47,0960	47,0462

La fórmula su determinación es la siguiente:

$$SSV = \frac{(B - C) * 1\,000}{V_{muestra}} \quad (Ec. 8)$$

Donde:

SSV: Sólidos Suspendidos Volátiles (mg/L)

V: Volumen de la muestra (L)

B: Peso del crisol con muestra (mg)

C: Peso del crisol con muestra calcinada (mg)

$$SSV = \frac{(47,0960\,mg - 47,0462\,mg) * 1\,000}{0.030\,L} = 1\,660\,mg/L$$

Obteniendo una concentración de 1 660 mg/L, lo que permitió interpretar el tiempo a considerar para obtener SSV esperados para el montaje del método de la estimación de la biodegradabilidad; cabe mencionar que este parámetro fue nuevamente realizado aproximadamente un mes más tarde.

Los días 08 y 09 de enero del año 2019, se volvieron a realizar la determinación de los Sólidos Suspendidos volátiles, esto para llevar a cabo los preparativos para la estimación de la biodegradabilidad del efluente; teniendo como resultados: 5 223,53 mg/L y 5 282,35 mg/L de SSV respectivamente con un volumen de muestra de 0,017 L de saturación en el filtro.

*Estimación de la biodegradabilidad del efluente de las aguas residuales generadas en el CIRA/UNAN-Managua empleando el Método ISO 10707 y Línea Guía de la OECD 301D en el Laboratorio de Aguas Residuales, CIRA/UNAN-Managua, octubre 2018 – diciembre 2019.*

Los datos obtenidos fueron muy elevados para lo cual se necesitó realizar una purga de los lodos activados.

	<b>Capsula vacía</b>	<b>Peso con muestra</b>	<b>Muestra calcinada</b>
	<b>2019-01-08</b>	<b>2019-01-08</b>	<b>2019-01-08</b>
	46,4812	46,5869	46,4981
	46,4813	46,5869	46,4981
	46,4812	46,5870	46,4981
$\bar{\bar{X}}$ :	46,4812	46,5869	46,4981

	<b>Capsula vacía</b>	<b>Peso con muestra</b>	<b>Muestra calcinada</b>
	<b>2019-01-09</b>	<b>2019-01-09</b>	<b>2019-01-09</b>
	46,8202	46,9259	46,8363
	46,8202	46,9260	46,8362
	46,8201	46,9260	46,8362
$\bar{\bar{X}}$ :	46,8202	46,9260	46,8362

Para la purga se determinaron los sólidos sedimentables (Ssed) presentes en el inóculo, teniendo un volumen de 370 ml/L de Ssed, para efectuar la purga en un cono imhoff tal como lo describe el método, posteriormente se mide un tiempo de sedimentación de 45 minutos, pasado el tiempo se agita la muestra contenida en el cono suavemente con movimientos circulares para lograr precipitar aquellos sólidos que aún se encuentren en suspensión, midiendo más 15 minutos y se reportan los ml obtenidos.

El volumen de purga fue de 180 ml medido con 3 pipetas volumétricas de 100 ml, 50 ml y 30 ml, dicho volumen fue considerado a partir de la concentración obtenida de SSV eliminando aproximadamente el 50% del lodo sedimentado.

*Estimación de la biodegradabilidad del efluente de las aguas residuales generadas en el CIRA/UNAN-Managua empleando el Método ISO 10707 y Línea Guía de la OECD 301D en el Laboratorio de Aguas Residuales, CIRA/UNAN-Managua, octubre 2018 – diciembre 2019.*

En la **Figura 20**, se logra apreciar el análisis (Sólidos sedimentables), realizado en el laboratorio para la purga del inóculo:

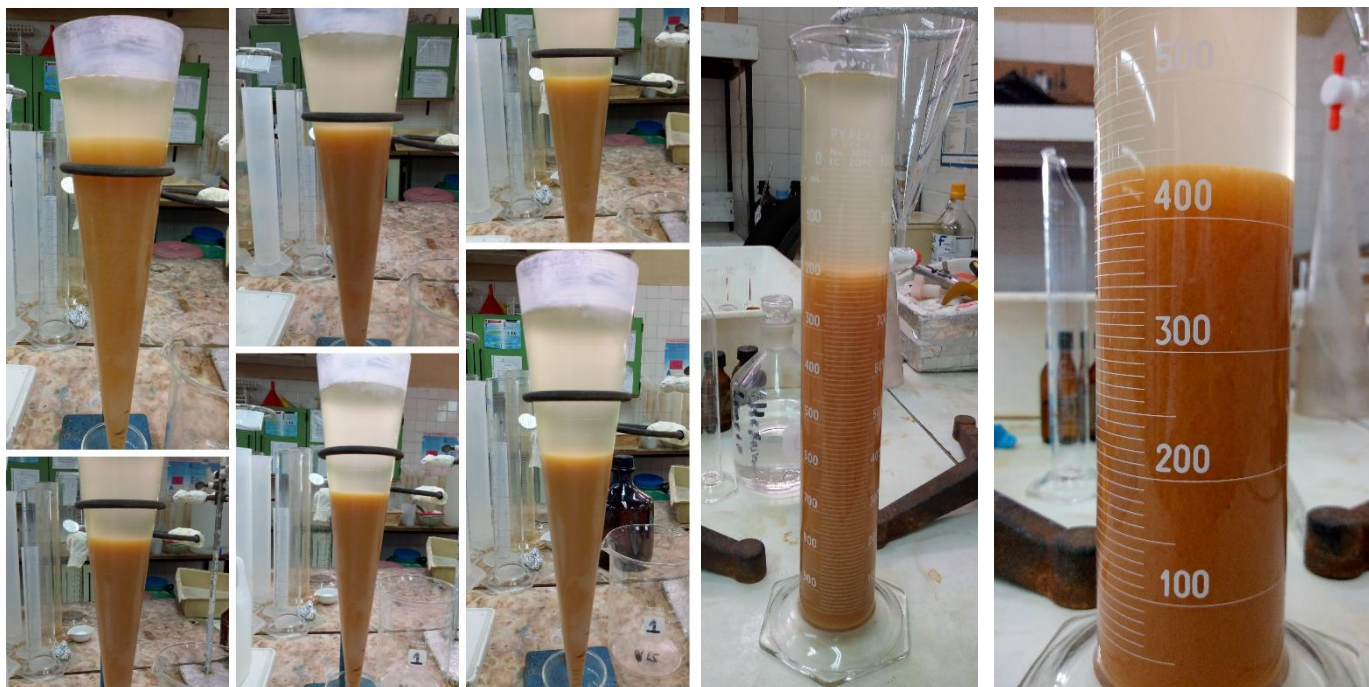


Figura 20. Determinación de los Ssed para la purga del inóculo.

El día 15 de enero del año 2019 se realizó nuevamente el análisis de SSV por duplicado obteniendo los siguientes resultados: SSV (de la muestra N° 1) = 2 528 mg/l y SSV (de la muestra N° 2) = 2 532 mg/l, el volumen de muestra fue de 0.025 L; determinando que la concentración del inóculo en sus lodos activados es la óptima para ejecutar el ensayo de biodegradabilidad. También se determinaron los Sólidos Suspendidos Totales para las mismas muestras y los Ssed del inóculo; teniendo los siguientes resultados: Ssed = 140 ml/L, SST (de la muestra N° 1) = 2 996 mg/L y 2 992 mg/L correspondiente a la muestra N° 2.

Los cálculos para conocer los SSV y los SST fueron los siguientes:

Capsula vacía	Peso con muestra	Muestra calcinada
Muestra N° 1	Muestra N° 1	Muestra N° 1
47,1968	47,2717	47,2084
47,1967	47,2716	47,2084

*Estimación de la biodegradabilidad del efluente de las aguas residuales generadas en el CIRA/UNAN-Managua empleando el Método ISO 10707 y Línea Guía de la OECD 301D en el Laboratorio de Aguas Residuales, CIRA/UNAN-Managua, octubre 2018 – diciembre 2019.*

	47,1967	47,2716	47,2083
$\bar{X}$ :	47,1967	47,2716	47,2084
	<b>Capsula vacía</b>	<b>Peso con muestra</b>	<b>Muestra calcinada</b>
	<b>Muestra Nº 2</b>	<b>Muestra Nº 2</b>	<b>Muestra Nº 2</b>
	47,1496	47,2244	47,1611
	47,1496	47,2244	47,1611
	47,1497	47,2243	47,1612
$\bar{X}$ :	47,1496	47,2244	47,1611

La siguiente ecuación es la utilizada para el cálculo de los SST:

$$SST = \frac{(B - A) * 1\ 000}{V_{muestra}} \quad (Ec. 9)$$

Donde:

SST: Sólidos Suspendidos Totales (mg/L)      V: Volumen de la muestra (L)

B: Peso del crisol con muestra (mg)

A: Peso del crisol vacío (mg)

Una vez determinados los datos antes mencionados se procede a evaluar el Índice Volumétrico del Lodo (IVL), esto para evaluar las características de sedimentación de los lodos, así como la calidad de estos; el valor del IVL obtenido debe ser menor a 150 ml/g; donde se obtuvo 46,79 ml/g de IVL.

A continuación, se detalla la fórmula que permite el cálculo y su respectivo resultado:

$$IVL = \frac{Ssed (ml/L) * 1\ 000}{SST (mg/L)} \quad (Ec. 10)$$

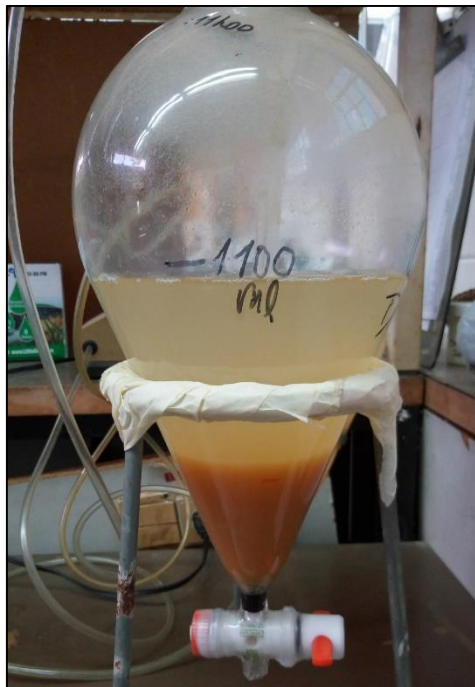
Donde:

IVL: Índice Volumétrico de Lodo      SST: Sólidos Suspendidos Totales (mg/L)

Ssed: Sólidos Sedimentables (ml/L)

Tanto los SSV como el IVL se encuentran dentro de los rangos indicados en el método. Obtenidas las condiciones óptimas del inóculo ya desarrollado y cumpliendo con los parámetros establecidos, se procede al montaje del ensayo de biodegradabilidad; para esto se debe separar una porción de aproximadamente 200 ml del sobrenadante del inóculo, para retirar este es imprescindible que sea en días sin alimentación y someterlo a aireación de 3 a 5 días. Una vez finalizado el periodo de aireación (sin alimentación) el inóculo se encuentra listo para su respectiva utilización para la estimación de la biodegradabilidad; cabe señalar que, si se observa turbidez, se pueden someter el sobrenadante a filtración. Esto se detalla en el próximo apartado.

#### **4.1.4 Montaje del método para la estimación de la biodegradabilidad del efluente**



*Figura 21. Inóculo maduro para el ensayo de biodegradabilidad*

Para la estimación de la biodegradabilidad como primer paso se debe extraer del reactor una alícuota de 200 ml del sobrenadante del inóculo, adicionarlo a un matraz de 250 ml en el que se logre generar una mezcla homogénea por medio de aireación; simulando las mismas condiciones presentes en el reactor. Dicho sobrenadante será aislado durante una semana sin alimentación, esto con el fin de que las bacterias acostumbradas a la sobre alimentación se “activen”, y al ser adicionadas en la botella Winkler con la muestra del efluente estas logren consumir toda aquella materia orgánica fácilmente biodegradable en los primeros 14 días; teniendo en cuenta que estos primeros días se logran producir datos que indiquen o que permitan predecir qué tan biodegradable será la muestra al finalizar el ensayo.

En la **Figura 22**, se observa la toma del sobrenadante del inóculo, para esto es necesaria la sedimentación del lodo por 45 minutos, considerando que transcurrido dicho tiempo todos los sólidos se logren sedimentar y de esta manera solo sea tomado el



*Estimación de la biodegradabilidad del efluente de las aguas residuales generadas en el CIRA/UNAN-Managua empleando el Método ISO 10707 y Línea Guía de la OECD 301D en el Laboratorio de Aguas Residuales, CIRA/UNAN-Managua, octubre 2018 – diciembre 2019.*

sobrenadante; de observarse turbidez o sólidos en suspensión en la alícuota de 200 ml este será sometido a filtración para eliminar este tipo de interferencias.

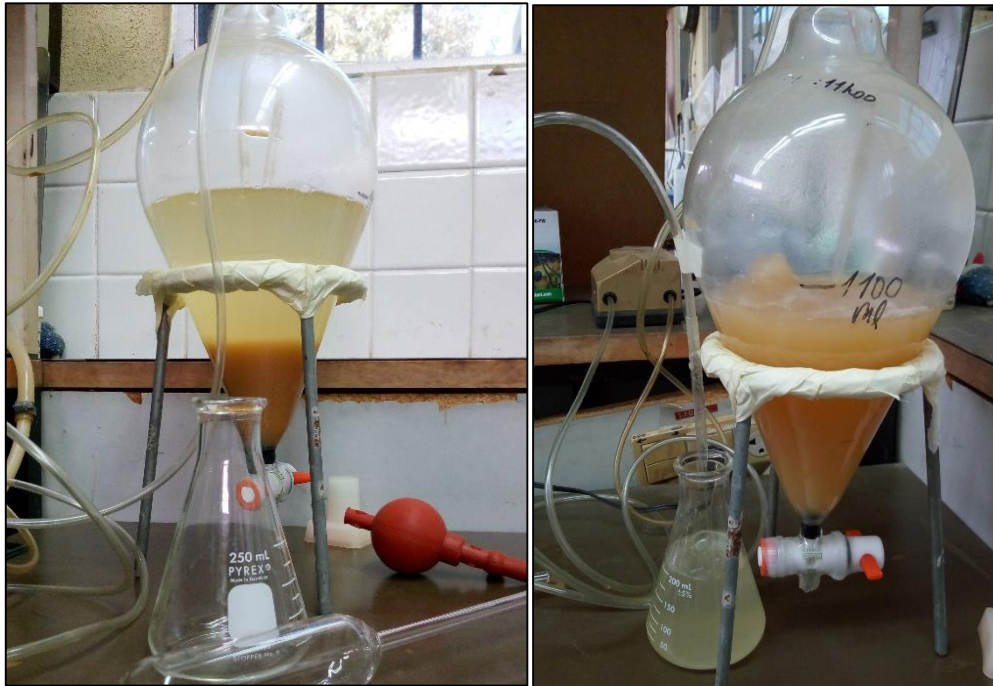


Figura 22. Toma del sobrenadante

Para conocer el volumen de muestra que fue adicionado a las botellas, se debe determinar la DQO de la muestra y del control de acetato de sodio, para el acetato el valor de DQO aproximado de este debe ser de 420 mg/L; la concentración de DQO contenida en la Winkler por muestra y control según lo recomendado por la ISO 10707 y la guía OECD 301D es de 7.00 mg/L aproximadamente. A continuación, se presentan los cálculos para conocer los volúmenes adicionados en las botellas:

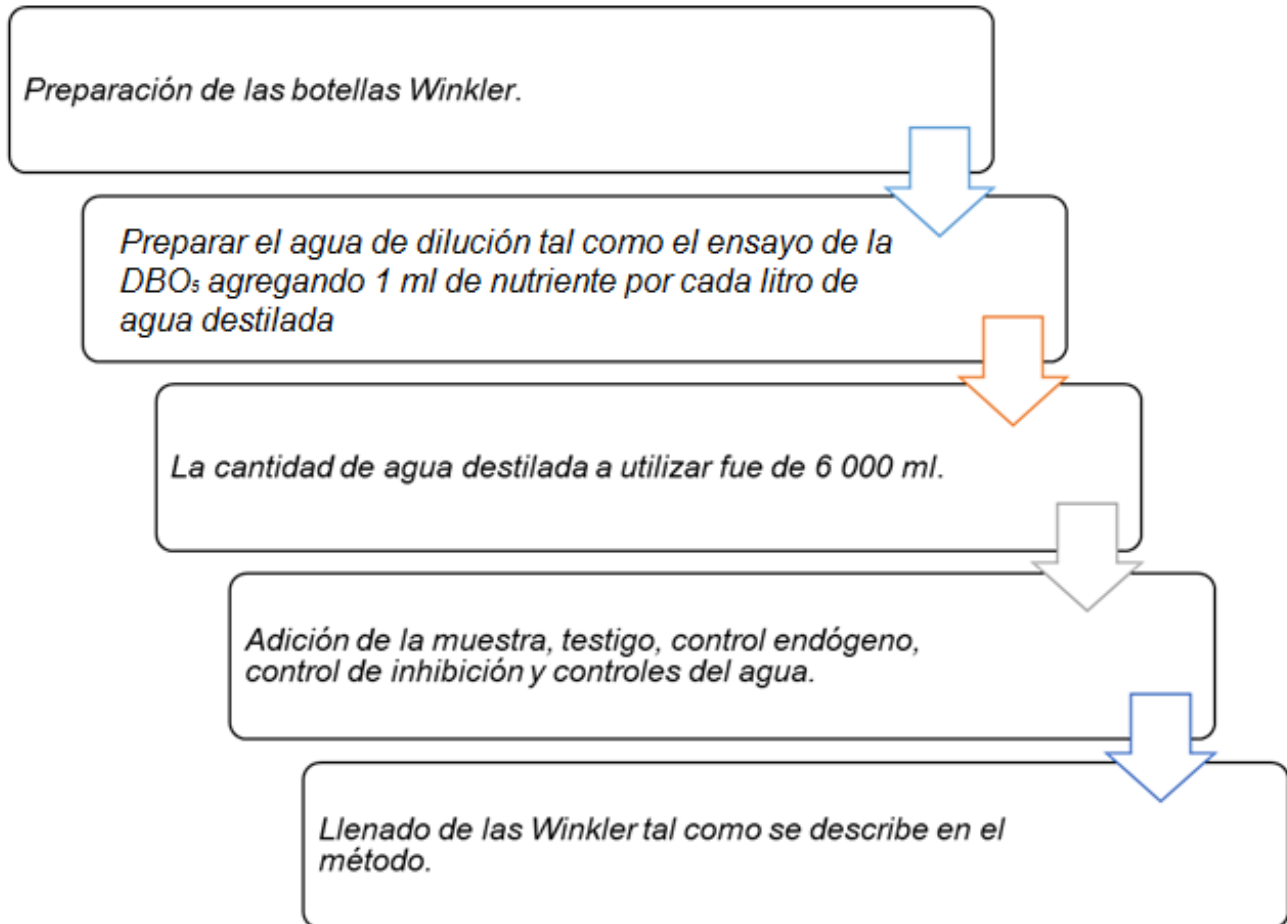
Ecuación de la dilución:

$$C_1V_1 = C_2V_2 \quad (\text{Ec. 11})$$

Dado que, el valor de DQO de la muestra fue de 252,3 mg/L y del control de acetato de sodio de 400,74 mg/L, los volúmenes adicionados a las botellas Winkler fueron de 8 ml (de la muestra) y 5 ml (control) respectivamente.

En el siguiente diagrama se muestra la preparación de las botellas para el montaje del método de biodegradabilidad:

### **Diagrama 2. Preparación de botellas Winkler**



El volumen del sobrenadante o inóculo será de 1 ml, según lo descrito en el método de la ISO y la línea guía OECD; para la preparación de cada una de las muestras que serán utilizadas en la estimación de la biodegradabilidad son las siguientes:

- ✓ Preparación de la muestra: 8,0 ml de muestra + 1,0 ml del inóculo; posteriormente aforar a 300 ml con el medio de ensayo - 3 réplicas.
- ✓ Preparación del control de agua destilada: Aforar a 300 ml con nada más que agua destilada – 2 réplicas.
- ✓ Preparación agua dilución: Aforar a 300 ml con el medio de ensayo – 3 réplicas.

*Estimación de la biodegradabilidad del efluente de las aguas residuales generadas en el CIRA/UNAN-Managua empleando el Método ISO 10707 y Línea Guía de la OECD 301D en el Laboratorio de Aguas Residuales, CIRA/UNAN-Managua, octubre 2018 – diciembre 2019.*

- ✓ Preparación del control endógeno: 1,0 ml de inóculo + el medio de ensayo, aforar a 300 ml con este – 3 réplicas.
- ✓ Preparación del control de acetato de sodio: 5,0 ml de acetato + 1,0 ml de inóculo, aforar a 300 ml con el medio de ensayo - 3 réplicas.
- ✓ Preparación del control de inhibición: 4,0 ml de muestra + 2,5 ml de acetato + 1,0 ml de inóculo, aforar a 300 ml con el medio de ensayo.

En la **Tabla 16**, se muestra cómo deben ser preparadas las muestras con sus respectivos controles:

**Tabla 16. Preparación de muestra y controles**

Identificación	Muestra	Solución testigo	Medio de ensayo	Inóculo	Agua destilada	Nº de réplicas
<b>Muestra</b>	X	–	X	X	–	3
<b>CtrlH<sub>2</sub>ODes</b>	–	–	–	–	X	2
<b>H<sub>2</sub>ODil</b>	–	–	X	–	–	3
<b>CtrlEndo</b>	–	–	X	X	–	3
<b>CtrlAce</b>	–	X	X	X	–	3
<b>CtrlInh</b>	X	X	X	X	–	3

*Fuente:* Tabla elaborada por el autor.

A continuación, se describe a mayor detalle cómo fueron preparados los parámetros implementados en la estimación del método:

- ✓ Las 3 primeras réplicas identificadas como **Muestra** contienen: La alícuota del residual en estudio, medio de ensayo; el cual no es más que la mezcla de los nutrientes utilizados en el ensayo de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>) más agua destilada, y por último el inóculo (consorcio de microorganismos para la biodegradación de la materia orgánica).
- ✓ Tanto el **Control del Agua Destilada (CtrlH<sub>2</sub>ODes)** como el **Agua de Dilución (H<sub>2</sub>ODil)** son parámetros a considerar al momento del ensayo; ya que estos

*Estimación de la biodegradabilidad del efluente de las aguas residuales generadas en el CIRA/UNAN-Managua empleando el Método ISO 10707 y Línea Guía de la OECD 301D en el Laboratorio de Aguas Residuales, CIRA/UNAN-Managua, octubre 2018 – diciembre 2019.*

permiten conocer la cantidad de mg/l de oxígeno que serán consumidos, de esta manera observando su influencia en el análisis.

- ✓ Para el **Control Endógeno (CtrlEndo)** se toman en consideración el medio de ensayo ya antes descrito más el inóculo; esto para conocer el porcentaje de biodegradación o consumo de oxígeno del medio o agua de dilución.
- ✓ En el **Control de Acetato (CtrlAce)**, se toma la solución testigo, que no es más que acetato de sodio, la cual es una solución fácilmente biodegradable que sirve como control para conocer la eficacia del medio de ensayo junto con el inóculo.
- ✓ En las últimas 3 réplicas para el **Control de Inhibición (CtrlInh)** se toman en consideración todos los parámetros exceptuando el agua destilada, esto para observar el comportamiento de la muestra del residual, la solución testigo, el medio de ensayo y el inóculo al finalizar el último día del ensayo.

Es importante destacar que los ml de muestra y controles que serán adicionados en la botella Winkler están sujetos a los valores obtenidos en la Demanda Química de Oxígeno (DQO), por ende dicho análisis debe realizarse antes de comenzar el montaje del método.

Una vez llenas todas las botellas se procede a la primera lectura de Oxígeno Disuelto (OD)

en todas las réplicas; realizando mediciones cada 7 días hasta culminar en el día 28, almacenando las botellas en una incubadora a una temperatura constante entre el rango

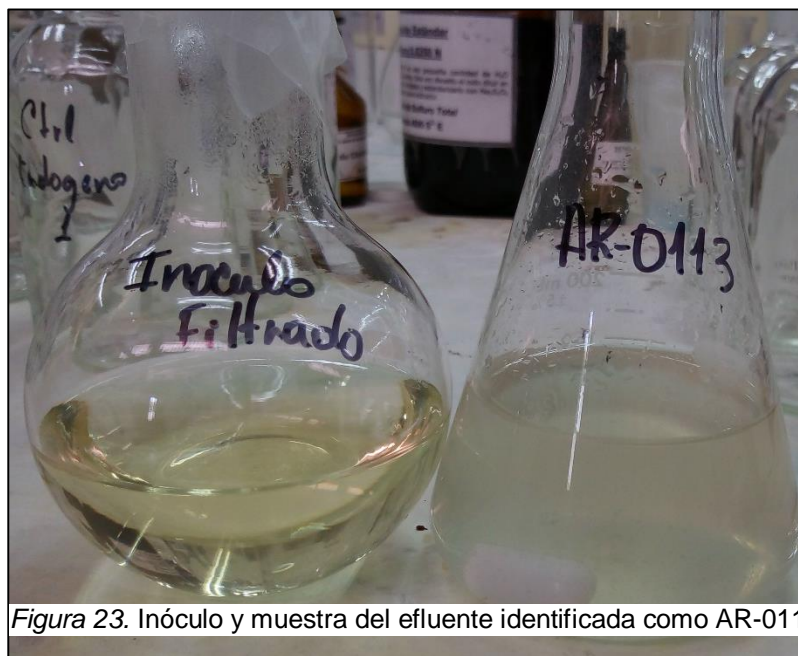


Figura 23. Inóculo y muestra del efluente identificada como AR-0113.

*Estimación de la biodegradabilidad del efluente de las aguas residuales generadas en el CIRA/UNAN-Managua empleando el Método ISO 10707 y Línea Guía de la OECD 301D en el Laboratorio de Aguas Residuales, CIRA/UNAN-Managua, octubre 2018 – diciembre 2019.*

de 20 °C a 25 °C; el OD será medido con una sonda conectada a un oxígenómetro equipo que facilitará la lectura de dicho parámetro.

En las **Figuras 24 y 25**, las botellas Winkler se encuentran listas para preparar las muestras y la primera lectura del OD al t<sub>0</sub> (tiempo 0), o día 0:



Figura 24IV. Preparación de las botellas Winkler para el montaje del ensayo de biodegradabilidad.



Figura 25. Primer lectura del OD para la estimación de la biodegradabilidad.

En la **Figura 25**, se aprecia el equipo utilizado para la lectura del OD y la manipulación de este; esta metodología se repetirá hasta concluir con el ensayo.

*Estimación de la biodegradabilidad del efluente de las aguas residuales generadas en el CIRA/UNAN-Managua empleando el Método ISO 10707 y Línea Guía de la OECD 301D en el Laboratorio de Aguas Residuales, CIRA/UNAN-Managua, octubre 2018 – diciembre 2019.*

El esquema establecido para la determinación de la estimación de la biodegradabilidad del efluente, tiene la finalidad de conocer el porcentaje de biodegradación de las aguas residuales del CIRA/UNAN-Managua basado en los métodos de la ISO 10707 y la OECD 301D ambos métodos conocidos como pruebas de la botella cerrada o biodegradabilidad última fácil.

En la **Tabla 17**, se presentan los resultados obtenidos en las lecturas de OD que servirán para el cálculo de estimación de la biodegradabilidad del efluente final del CIRA/UNAN-Managua:

**Tabla 17. Lecturas del OD de la muestra cada 7 días**

	t0	T °C	t7	T °C	t14	T °C	t21	T °C	t28	T °C
CtrlH2ODes	5.70	19.92	5.74	19.70	5.60	19.88	5.45	19.58	5.30	19.51
CtrlH2ODes	5.79	19.76	5.76	19.81	5.58	19.59	5.40	19.60	5.32	19.54
H2ODil	7.95	19.83	7.78	19.57	7.65	19.94	7.54	19.57	7.46	19.38
H2ODil	7.95	19.70	7.77	19.74	7.65	20.09	7.58	19.48	7.48	19.29
H2ODil	7.97	19.55	7.79	19.67	7.62	20.13	7.55	19.43	7.47	19.20
CtrlEndo	7.95	19.20	7.07	19.92	6.80	19.46	6.47	19.46	6.52	19.33
CtrlEndo	7.94	19.21	6.96	20.03	6.60	19.43	6.24	19.41	6.60	19.39
CtrlEndo	7.96	19.32	7.07	19.79	7.01	19.51	6.68	19.53	6.65	19.34
CtrlAce	7.92	19.30	2.84	19.72	1.20	19.66	0.67	19.49	0.42	19.33
CtrlAce	7.92	19.36	2.71	19.79	1.32	19.73	0.87	19.46	0.69	19.27
CtrlAce	7.96	19.28	2.85	19.73	1.30	19.81	0.75	19.42	0.52	19.21
Efluente Final	7.95	19.49	2.70	19.74	1.59	19.48	0.22	19.65	0.22	19.38
Efluente Final	7.96	19.47	2.83	19.93	1.81	19.49	0.25	19.56	0.25	19.44
Efluente Final	7.97	19.62	2.78	20.02	1.68	19.64	0.20	19.55	0.20	19.43
CtrlInh	7.95	19.59	1.91	19.81	1.27	19.59	0.13	19.47	0.10	19.43
CtrlInh	7.94	19.60	1.89	19.83	1.06	19.56	0.17	19.41	0.15	19.40
CtrlInh	7.97	19.62	2.03	19.83	1.21	19.60	0.50	19.35	0.10	19.30

Los resultados en la **Tabla 17**, permiten el cálculo para la obtención del porcentaje de la biodegradabilidad del efluente final del centro; pero para ello es importante la implementación de las fórmulas presentes en los métodos de las ISO 10707 y de la OECD 301D, como se muestran a continuación:

$$D_t = \frac{(\rho_0 - \rho_{0,t}) - (\rho_{0,b} - \rho_{0,t,b})}{ThOD \times \rho_c} \quad (Ec. 12)$$

$$ThOD \times \rho_c = \frac{DQO_{muestra} \times Volumen_{muestra}}{Volumen_{Winkler}} \quad (Ec. 13)$$

*Estimación de la biodegradabilidad del efluente de las aguas residuales generadas en el CIRA/UNAN-Managua empleando el Método ISO 10707 y Línea Guía de la OECD 301D en el Laboratorio de Aguas Residuales, CIRA/UNAN-Managua, octubre 2018 – diciembre 2019.*

Donde:

$D_t$ : Porcentaje de Biodegradabilidad.

$\rho_o$ : Concentración de oxígeno, a tiempo cero (mg/L).

$\rho_{o,t}$ : Concentración de oxígeno, a tiempo final (mg/L).

$\rho_{o,b}$ : Concentración de oxígeno, a tiempo cero (mg/L). Control endógeno.

$\rho_{o,t,b}$ : Concentración de oxígeno, a tiempo final (mg/L). Control endógeno.

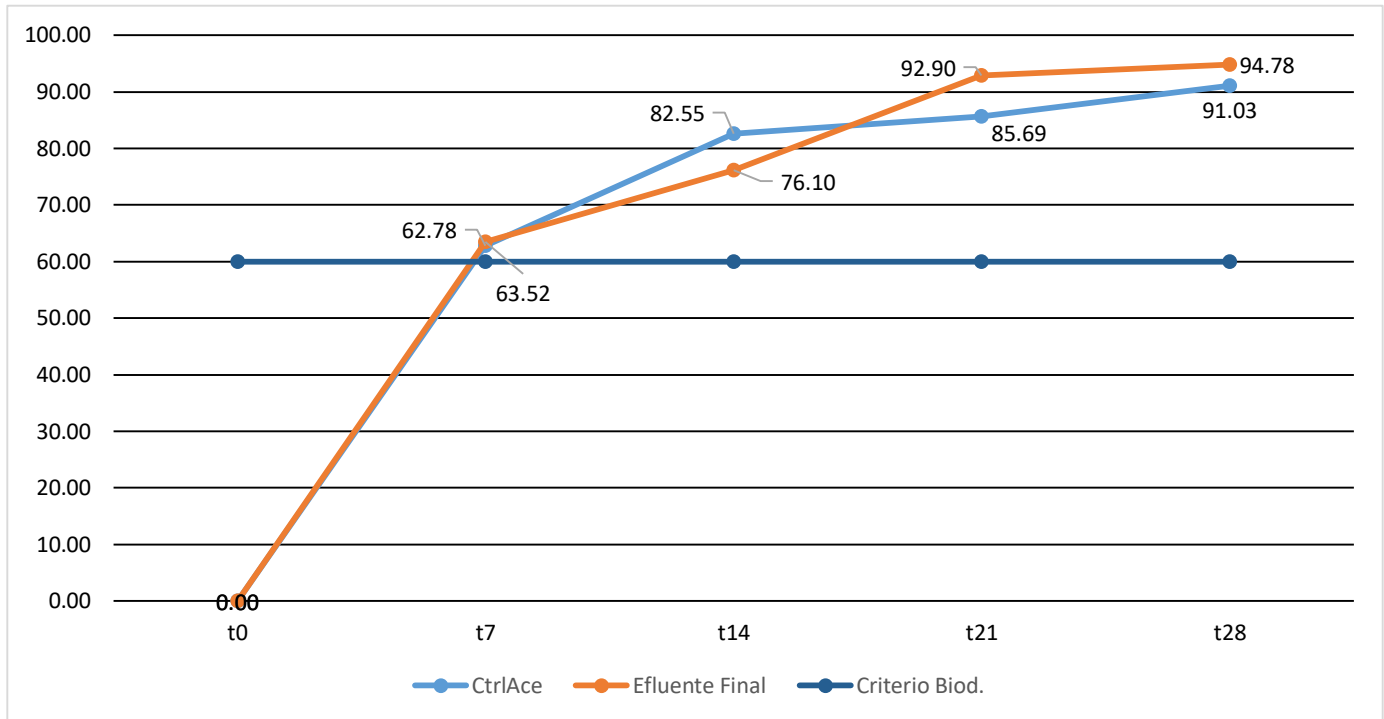
ThOD: Demanda teórica de oxígeno.

$\rho_c$ : Concentración de la muestra.

En el **Anexo 6**, se muestran los resultados obtenidos por cada réplica en el efluente final, control de acetato y control de inhibición con su respectivo promedio, desviación estándar y % de error calculados; a su vez se muestra un ejemplo del cálculo de la estimación en estudio. Para la mejor interpretación de los resultados del porcentaje de biodegradabilidad del efluente del CIRA, fue necesario la elaboración del gráfico siguiente:

En el **Gráfico 7**, se aprecia el porcentaje final en la estimación de la biodegradabilidad del efluente siendo 94,78% biodegradable. A su vez es comparado con el control de acetato el cual es 91,03% biodegradable, obteniendo de esta manera que el efluente final del CIRA/UNAN-Managua es fácilmente biodegradable.

**Gráfico 7. Representación de la estimación de la biodegradabilidad**



**Nota:** Dado a la similitud de los datos en el t7 el valor del efluente es de 63,52% y del control de acetato es de 62,78%. **En Anexo 7**, se muestra el gráfico para el control de inhibición.

En el **Gráfico 7** la tendencia en aumento de la estimación o porcentaje de la biodegradabilidad que presenta el efluente, obteniendo que en el **t14** se cumple con lo establecido en los métodos teniendo más del 60% de biodegradación, en el cual se explica a su vez que toda aquella materia fácilmente biodegradable estará presente en este punto; presentado también el aumento exponencial de la degradación hasta la obtención del 94,78% de biodegradabilidad, lo que da paso al cumplimiento de la hipótesis de la investigación.

En este sentido los datos recolectados en la investigación, dan por positiva la hipótesis ya que, el ensayo de biodegradabilidad por tratamiento biológico obtuvo un aproximado del 95% de viabilidad con respecto a los resultados de la estimación del porcentaje de biodegradación del efluente del CIRA/UNAN-Managua.





---

# CAPÍTULO V

---



## **5.1 Conclusiones**

- ✓ El porcentaje de biodegradabilidad estimado para el efluente del CIRA/UNAN fue de 94,78 %, lo que demuestra que es un agua residual fácilmente biodegradable mediante el uso de microorganismos de origen aeróbicos, los cuales permitieron la degradación de la materia orgánica presente en el residual esto también conocido como biodegradabilidad última o fácil.
- ✓ La calidad del agua del efluente de las aguas residuales del CIRA/UNAN-Managua, se encuentran dentro de los rangos máximos permisibles que establece el Reglamento No. 21-2017 en su artículo No. 22.
- ✓ Se logró el desarrollo de microorganismos o inóculo que permitieron determinar el porcentaje de la biodegradabilidad del efluente mediante biodegradación inducida; dicho inóculo fue generado a partir de las aguas del efluente de un sistema de tratamiento biológico, en un reactor a escala de laboratorio.
- ✓ Existe un buen manejo de los residuos generados en cada laboratorio del CIRA/UNAN, esto se evidencia con el porcentaje de biodegradabilidad estimado según las metodologías ISO 10707 y OECD 301D, ya que si estos residuos que se generan durante cada análisis se vertieran en los efluentes probablemente el efluente obtenido no hubiera sido biodegradable.

## **5.2 Recomendaciones**

- ✓ Evaluar paulatinamente el control en la calidad de las aguas que son generadas por los distintos laboratorios e instalación que conforman al CIRA/UNAN-Managua, monitoreando de esta manera las cargas que son vertidos al alcantarillado sanitario.
- ✓ Elaborar un calendario para el monitoreo del efluente de las aguas residuales del Centro indicando los respectivos muestreos que se harán al año y medición del caudal, esto con el fin de conocer la calidad del residual.
- ✓ Tener en cuenta la elaboración de un sistema de tratamiento de las aguas residuales del Centro como plan estratégico, lo que permitirá ahorro a la institución en caso de cobro por canones de vertido al alcantarillado sanitario.
- ✓ Aplicar una vez al año la estimación de la biodegradabilidad del efluente para conocer el cambio que este puede sufrir con respecto a las aguas que residuales que son generadas en cada laboratorio.
- ✓ Ampliar el alcance de la metodología de estimación de la biodegradabilidad a productos de limpieza y otros productos orgánicos, para ofertar y generar divisas al Centro, lo cual también permitirá alianzas estratégicas con instituciones del estado.

### **5.3 Bibliografía**

- Ayala Fanola, R. M., & Gonzalez Marquez, G. (2008). *Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales*. Cochabamba, Bolivia.
- C. Apella, M., & Z. Arauja, P. (2005). *Microbiología de Agua*. Buenos Aires, Argentina: Universidad Nacional de Tucumán.
- Charpentier, J. (2014). *Tratamiento de Aguas Residuales con Lodos Activados. Cuaderno Tecnológico N°6 INTI*, 1-78.
- Contreras , K., Contreras, J., Corti, M., & De Sousa, J. (2008). *El Agua un Recurso para Preservar*. Mérida.
- Custodio Ruiz, A. (2008). *Métodos y Técnicas de Investigación Científica*. México.
- D. Eaton, A., S. Clesceri, L., W. Rice, E., & E. Greenberg, A. (2005). *Standard Methods for the Examination of Water & Wasterwater*. Washington, DC: American Public Health Association.
- Dadrasnia, A., Maikudi Usman, M., & Tzin Lim, K. (Junio de 2017). *Microbial Aspects in Wasterwater Treatment*. Malaysia, Kuala Lumpur.
- Fibras y Normas de Colombia. (2004). Obtenido de fyndecolombia: [www.fyndecolombia.com/lodos-definicion-clasificacion-tipos](http://www.fyndecolombia.com/lodos-definicion-clasificacion-tipos)
- Gaceta, L. (30 de Noviembre de 2017). Decreto No. 21-2017. *Reglamento en el que se establecen las disposiciones para el vertido de aguas residuales*. Managua, Nicaragua.
- Hernández Sampieri, R. (2014). *Metodología de la Investigación*. México DF: McGRAW W-HILL/INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V.
- ISO. (1999). ISO 9888:1999. En *Water quality — Evaluation of ultimate aerobic biodegradability of organic - Static test (Zahn-Wellens method)*. Genève, Switzerland: Switzerland.

*Estimación de la biodegradabilidad del efluente de las aguas residuales generadas en el CIRA/UNAN-Managua empleando el Método ISO 10707 y Línea Guía de la OECD 301D en el Laboratorio de Aguas Residuales, CIRA/UNAN-Managua, octubre 2018 – diciembre 2019.*

- Laboratorio de Aguas Residuales. (2009). *Procedimiento Operativo Normalizado*. Managua: CIRA/UNAN-Managua.
- Lema, J., Mosquera Corral, A., Campos, J., & Garrido, J. (12 de Enero de 2015). *Técnicas Avanzadas para el Tratamiento de Aguas: Sistemas de biomasa granular aerobia y proceso Anammox*. Santiago de Compostela, Coruña, España.
- López Vázquez, C. M., Buitrón Méndez, G., García, H. A., & Cervantes Carrillo, F. J. (2017). *Tratamiento Biológico de Aguas Residuales*. Inglaterra: Cambridge University Press.
- Lozano Rivas, W. A. (2013). *Calidad FisicoQuímica del agua: Métodos Simplificados para su Muestreo y Análisis*. Bogotá, Colombia: Universidad Piloto de Colombia.
- Marín García, I., Betancort Rodríguez, J. R., Salas Rodríguez, J. J., & Peñate Suarez, B. (2006). *Guía sobre el Tratamiento de Aguas Residuales Urbanas para Pequeos Núcleos de Población*. Canarias: Daute Diseño, S.L.
- Metálicos, L. d. (2019). *Manual de Procedimientos Operativos Normalizados*. Managua: CIRA/UNAN-Managua.
- OECD. (17 de Julio de 1992). OECD 301. *Línea guía para pruebas de productos químicos*. OECD.
- Peña, D. (2013). *Determinación de la relación DQO/DBO5 en aguas residuales*.
- Piura López, J. (2008). *Metodología de la Investigación Científica*. Managua, Nicaragua.
- R. S. Ramalho. (1983). *Tratamiento de Aguas Residuales*. Quebec, Canada: Editorial Reverté, S.A.
- Residuales., L. d. (2019). *Procedimiento Operativo del Aseguramiento y Control de la Calidad para la Medición del Caudal de Aguas Residuales y Naturales*. Managua: CIRA/UNAN-Managua.
- Romero Mejía, A. A., Vázquez, J. A., & Lugo González, A. (27 de Febrero de 2012). *Bacterias: Fuente de Energía para el futuro*. Bogotá, Colombia.

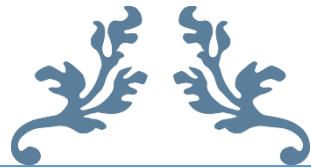
*Estimación de la biodegradabilidad del efluente de las aguas residuales generadas en el CIRA/UNAN-Managua empleando el Método ISO 10707 y Línea Guía de la OECD 301D en el Laboratorio de Aguas Residuales, CIRA/UNAN-Managua, octubre 2018 – diciembre 2019.*

Sánchez Hernández, E., Nikolaeva, S., & Travieso Córdoba, L. (2015). *Tratamiento de Aguas Residuales: Fundamentos y aplicaciones para Latinoamérica*. Heredia, Costa Rica: Alexandra Meléndez.

Tamayo Tamayo, M. (2002). *El Proceso de la Investigación Científica*. México: LIMUSA, S.A.

Vazquez Rodriguez, G., & Beltrán Hernández, R. I. (Enero de 2004). Pruebas Normalizadas para la Evaluación de la Biodegradabilidad de Sustancias Químicas. Estado de Hidalgo, México.

W. Rice, E., B. Baird, R., D. Eaton, A., & S. Clesceri, L. (2012). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 22ND Edition*. Baltimore: American Public Health Association.



---

# ANEXOS

---



## Índice de Anexo

<b>ANEXO 1</b> .....	- 1 -
<b>ANEXO 2</b> .....	- 3 -
<b>ANEXO 3</b> .....	- 4 -
<b>ANEXO 4</b> .....	- 11 -
<b>ANEXO 5</b> .....	- 11 -
<b>ANEXO 6</b> .....	- 14 -
<b>ANEXO 7</b> .....	- 15 -



**Anexo 1. Preservación y almacenamiento de la muestra**

<b>Parámetros</b>	<b>Recipiente</b>	<b>Muestra ml</b>	<b>Técnicas de preservación</b>	<b>Tiempo máximo</b>
<b>DBO</b>	Plástico, vidrio	2000	Refrigerar	6/48 horas
<b>DQO</b>	Plástico, vidrio	100	Agregar H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> a pH <2 y refrigerar	7/28 horas
<b>COD</b>	Vidrio	50	Filtrar inmediatamente y refrigerar	24 horas
<b>Oxígeno disuelto</b>	Botella Winkler para DBO	300	Agregar 1 mL de reactivo No. 1 y 1 mL de reactivo No 2. La titulación puede ser retrasada después de la acidificación. Evitar la exposición a la luz	8/8 horas
<b>Solidos</b>	Plástico, vidrio	1000	Refrigerar	2 a 7 días
<b>pH</b>	Plástico, vidrio	100	Refrigerar	0.25/0.25 horas
<b>Conductividad</b>	Plástico, vidrio	100	Refrigerar	24 horas
<b>Fosfato</b>	Vidrio enjuagado con HCl 1+1	200	Para fosfato disuelto filtrar inmediatamente. Refrigerar	48 horas
<b>Fosforo total</b>	Plástico, vidrio	200	Agregar H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> a pH <2 y refrigerar	28 días
<b>Nitrógeno</b>	Plástico, vidrio	500	Agregar H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> a pH <2 y refrigerar	7/28 días
<b>Nitrógeno amoniacal</b>	Plástico, vidrio	500	Agregar H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> a pH <2 y refrigerar	7/28 días
<b>Aceites y grasas</b>	Vidrio, ámbar	1000	Agregar H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> a pH <2 y refrigerar	28 días
<b>Compuestos fenólicos</b>	Plástico, vidrio	1000	Agregar H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> a pH <2 y refrigerar	28 días hasta la extracción
<b>SAAM</b>	Vidrio	300	Refrigerar	48 horas

*Estimación de la biodegradabilidad del efluente de las aguas residuales generadas en el CIRA/UNAN-Managua empleando el Método ISO 10707 y Línea Guía de la OECD 301D en el Laboratorio de Aguas Residuales, CIRA/UNAN-Managua, octubre 2018 – diciembre 2019.*

<b>Parámetros</b>	<b>Recipiente</b>	<b>Muestra ml</b>	<b>Técnicas de preservación</b>	<b>Tiempo máximo</b>
<b>Sulfuro de hidrogeno</b>	Vidrio	100	Agregar 1 mL de acetato de zinc = 0.46N, por cada 50 mL de muestra, antes de tomar la muestra y refrigerar	7 días
<b>Sulfuro total</b>	Vidrio, botella Winkler	300	Agregar 12 gotas de acetato de zinc 2N antes de tomar la muestra, seguidamente agregar 20 gotas de NaOH 6N y refrigerar	7 días
<b>Sulfito</b>	Plásticos o vidrio botella Winkler	300	Agregar 1 mL de EDTA por cada 100 mL de muestra y refrigerar. Evitar la exposición a la luz	48 horas
<b>Cianuro total</b>	Plástico	2000	Agregar NaOH hasta alcanzar pH 12, refrigerar y proteger de la luz	14 días

**Anexo 2. Pruebas normalizadas para el estudio de la biodegradabilidad**

Descripción	OCDE <sup>a</sup>	ISO <sup>b</sup>	US-EPA <sup>c</sup>	ECB <sup>d</sup>
<b>Pruebas de biodegradabilidad inmediata</b>				
Prueba AFNOR modificada - pérdida de COD	301 A	7827	835.3110	C.4-A
Prueba de Sturm modificada - desprendimiento de CO <sub>2</sub>	301 B	9439	835.3110	C.4-C
Prueba MITI I modificada	301 C	-	835.3110	C.4-F
Prueba en frasco cerrado	301 D	10707	835.3110	C.4-E
Prueba modificada de detección de la OCDE - pérdida de COD	301 E	7827	835.3110	C.4-B
Prueba de respirometría manométrica	301 F	9408	835.3110	C.4-D
Prueba de desprendimiento de CO <sub>2</sub> en recipientes cerrados	310*	14593	835.3120	-
<b>Pruebas de biodegradabilidad intrínseca</b>				
Prueba SCAS ( <i>Semi-Continuous Activated Sludge</i> ) modificada	302 A	9887	835.3210	C.12
Prueba de Zahn-Wellens modificada	302 B	9888	835.3200	C.9
Prueba MITI II modificada	302 C	-	-	-
Prueba CONCAWE	302 D*	-	-	-
<b>Pruebas de simulación</b>				
Prueba de simulación de tratamiento aerobio con unidades de lodos activados	303 A	11733	-	C.10
Prueba de simulación de tratamiento aerobio con biomasa fija	303 B	-	-	-
Prueba de biodegradabilidad intrínseca en suelos	304 A	14239	835.3300	-
Prueba de biodegradabilidad en agua marina	306	-	835.3160	-
Prueba de transformación aerobia y anaerobia en suelos	307	-	-	C.23*
Prueba de transformación aerobia y anaerobia en sedimentos acuáticos	308	-	-	C.24*
Prueba de mineralización aerobia en agua superficial	309*	14592-1	-	-
Prueba de producción de biogás a partir de lodo anaerobio diluido	311*	11734	-	-

<sup>a</sup> OCDE: Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico; <sup>b</sup> ISO: Organización Internacional de Normalización; <sup>c</sup> US-EPA: Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos; <sup>d</sup> ECB: Oficina Europea de Sustancias Químicas; \* Prueba en proceso de normalización.



### **Anexo 3**

Estimación del Porcentaje de Biodegradabilidad para Aguas Residuales

(ISO 10707 – OECD 301D)



## **1. Objetivo**

Estimar el porcentaje de biodegradabilidad última fácil por el método de la botella cerrada de aguas residuales, en un medio acuoso de compuestos orgánicos, por medio de una biodegradación inducida por acción de microorganismos aeróbicos a través del análisis de la Demanda Bioquímica de Oxígeno.

## **2. Alcance**

- ✓ Compuestos orgánicos solubles en agua a las concentraciones de trabajo y bajo las condiciones del método.
- ✓ Compuestos orgánicos contenidos en el efluente proveniente de procesos industriales o domésticos, que cuenten o no, con un sistema de tratamiento del residual.

## **3. Documentos relacionados:**

**3.1.** ISO 10707:1994 Water quality- Evaluation in an aqueous medium of the “ultimate” aerobic biodegradability of organic compounds- Method by analysis of biochemical oxygen demand (closed bottle test).

**3.2.** ISO 9408:1999 Water quality- Evaluation of ultimate aerobic biodegradability of organic compounds in aqueous médium by determination of oxygen demand in a closed respirometer.

**3.3.** Water quality - Evaluation of ultimate aerobic biodegradability of organic compounds in aqueous medium - Static test (Zahn-Wellens method).

**3.4.** Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 22ND Edition,

**3.5.** PON-AR-01 (Procedimiento Operativo Normalizado, Laboratorio de Aguas Residuales)

## **4. Definiciones y Abreviaturas:**

**4.1. Biodegradabilidad:** Cambio estructural (transformación) de un compuesto químico por acción de microorganismos resultando en la pérdida de sus propiedades específicas.

**4.2. Biodegradabilidad última:** Degradación de una sustancia orgánica, por la acción de microorganismos, en dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), agua, sales minerales, metabolitos y nuevos constituyentes de material celular.

**4.3. Barro o lodo:** Biomasa producida en el tratamiento aeróbico de efluentes, resultando en el crecimiento de un consorcio de microorganismos, principalmente bacterias, en presencia de oxígeno disuelto.

**4.4. Demanda Biológica de Oxígeno (DBO):** concentración de oxígeno disuelto consumido, bajo condiciones específicas, para la oxidación biológica de materia orgánica y/o inorgánica en agua. Se expresa como mg de oxígeno consumido por litro.

**4.5. Demanda Química de Oxígeno (DQO):** parámetro químico analítico que permite determinar el contenido de materia orgánica presente en un medio acuoso, mediante su oxidación con dicromato de potasio en medio ácido, a alta temperatura y en presencia de un catalizador. Se expresa en miligramos de oxígeno (O<sub>2</sub>) por litro.

**4.6. Demanda Teórica de Oxígeno (ThOD):** cantidad total de oxígeno requerida para oxidar una sustancia química completamente. Se calcula a partir de la fórmula molecular y se expresa en miligramo de oxígeno requerido por miligramo o gramo de muestra a evaluar.

**4.7. Inóculo:** Es una suspensión de microorganismos vivos que se han adaptado para reproducirse en un medio específico.

**4.8. Pre-exposición o Adaptación:** Exposición del inóculo a la muestra que se quiere evaluar, con el objeto de aumentar la habilidad del mismo a degradar la misma.

**4.9. EPP:** Elementos de protección personal.

## **5. Desarrollo:**

### **5.1. Aspectos de Higiene, Seguridad y Medio Ambiente:**

**5.1.2. Información de seguridad:** Tener en cuenta que se está trabajando con un inóculo proveniente de los sedimentadores secundarios de un sistema de tratamiento biológico. El mismo es un consorcio bacteriano que puede contener algún microorganismo patógeno por lo cual es necesario tener especial cuidado al manipularlo, siendo necesario utilizar los elementos de seguridad personal (5.1.3), trabajar en las áreas destinadas a tal fin y limpiar siempre con desinfectante la zona donde el inóculo mantuvo contacto.

**5.1.3. EPP:** Gabacha de seguridad, guantes de nitrilo y gafas. .

**5.1.4. Residuos:** Todos los restos de inóculos utilizados finalizado el ensayo de biodegradabilidad deben ser descartados cuanto antes al desagüe.

### **5.2. Condiciones ambientales, conservación y almacenamiento de muestras:**

- ✓ Realizar el ensayo en un ambiente oscuro o con luz difusa, a temperatura constante durante el periodo de incubación, en el rango de 20°C a 25°C, con una variación no mayor a 1°C.

*Estimación de la biodegradabilidad del efluente de las aguas residuales generadas en el CIRA/UNAN-Managua empleando el Método ISO 10707 y Línea Guía de la OECD 301D en el Laboratorio de Aguas Residuales, CIRA/UNAN-Managua, octubre 2018 – diciembre 2019.*

- ✓ Mantener la muestra en refrigeración en un rango de 4°C a 6°C, con una variación de  $\pm 1^\circ\text{C}$ .

### **5.3. Equipos/instrumental**

**5.3.1.** Incubadora para mantener los frascos a temperatura constante y en oscuridad, rango de (20 a 25) $^\circ\text{C} \pm 1^\circ\text{C}$ .

**5.3.2.** Sonda y electrodo para medir el Oxígeno Disuelto.

**5.3.3.** Balanza analítica (Clase I, capacidad máxima: 200 g; mínima división: 0,1 mg. Tolerancia 1 mg).

**5.3.4.** pH metro.

**5.3.5.** Equipo de filtración para filtros de 45 mm de diámetro (Matraz Kitasato y Bomba de vacío).

**5.3.6.** Aireador tipo pecera o línea de aire comprimido filtrado.

### **5.4. Materiales y reactivos**

**5.4.1.** Botellas Winkler, con tapones de vidrio, con una capacidad de 300 ml, que cierren herméticamente.

**5.4.2.** Botellón de vidrio, de 5 a 10 l de capacidad para preparar agua de dilución.

**5.4.3.** Pipetas volumétricas y serológicas de 5 y 10 ml.

**5.4.4.** Erlenmeyer.

**5.4.5.** Pipetas Pasteur de vidrio y mangueras de plástico de 3mm de diámetro, para conectar el aireador a la pipeta Pasteur.

**5.4.6.** Filtro de 45 mm.

**5.4.7.** Agua destilada para análisis, libre de sustancias tóxicas inhibitorias.

## **6. Preparación de soluciones**

Las soluciones se deben almacenar en frasco de vidrio color ámbar/caramelo, preferiblemente con cierre hermético. Las mismas deben ser esterilizadas por autoclave y posteriormente conservadas en refrigeradora.

### **6.1. Solución a)**

**ATENCIÓN.** Nocivo en caso de ingestión. Provoca irritación ocular grave.

***Estimación de la biodegradabilidad del efluente de las aguas residuales generadas en el CIRA/UNAN-Managua empleando el Método ISO 10707 y Línea Guía de la OECD 301D en el Laboratorio de Aguas Residuales, CIRA/UNAN-Managua, octubre 2018 – diciembre 2019.***

Se agregan en un matraz de 1 000 ml 8,50 g de Dihidrogenofosfato de potasio ( $\text{KH}_2\text{PO}_4$ ), 21,75 g de Monohidrogenofosfato de dipotasio anhidro ( $\text{K}_2\text{HPO}_4$ ), 33,40 g de Monohidrogenofosfato de disodio dihidratado ( $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) y 0,50 g Cloruro de amonio ( $\text{NH}_4\text{Cl}$ ). Aforar con agua destilada.

**6.2. Solución b)**

Se agrega en un matraz de 1 000 ml 22,50 g de sulfato de magnesio heptahidratado ( $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ). Aforar con agua destilada.

**6.3. Solución c)**

**ATENCIÓN.** Provoca irritación ocular grave.

Se agrega en un matraz de 1 000 ml 36,40 g de cloruro de calcio dihidratado ( $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ). Aforar con agua destilada.

**6.4. Solución d).**

**ATENCIÓN.** Nocivo en caso de ingestión. Provoca irritación cutánea. Provoca lesiones oculares graves

Se disuelven en agua 0,25 g de cloruro de hierro (III) hexahidratado ( $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ) y se enrasa a 1 000 ml.

**6.5. Solución de sustancia de biodegradabilidad conocida:** Acetato de Sodio.

**6.6. Preparación del Inoculo (fuente de inóculo y pre-acondicionamiento):**

El volumen a utilizar en el reactor para el desarrollo del inoculo puede ser entre 800 y 1 000 ml de la matriz proveniente del sistema biológico. Se debe alimentar gradualmente y con constante aireación para llegar a las condiciones óptimas de maduración del inoculo.

**6.7. Preparación de las soluciones de la muestra y el testigo:**

Se deja decantar hasta que el sobrenadante quede límpido, se toman aproximadamente 200 ml del mismo, de ser necesario se debe filtrar con el filtro de fibra de vidrio y se colecta el volumen filtrado en un Erlenmeyer.

Se deja incubando con aireación provista por aireador de pecera y a temperatura ambiente durante un período de 3 a 5 días. El consumo de oxígeno en los controles endógenos debe ser inferior a 1,5 mg/L al final del ensayo.

Utilizar una cantidad de inóculo adecuada de modo tal que:

- ✓ La población bacteriana tenga suficiente actividad biológica.
- ✓ Degrade al compuesto de referencia en el porcentaje estipulado.

**6.7.1. Medio de ensayo o agua dilución:** Todas los tratamientos y controles deben utilizar el mismo lote de medio de ensayo. El día anterior al inicio del ensayo debe dejarse el agua destilada que se usara para preparar el agua dilución en botellón de vidrio con la tapa floja, permitiendo el intercambio de gases pero evitando el ingreso de cualquier contaminación, a temperatura de ensayo (20°C). Agregar 1 ml de cada uno de las soluciones a) a d) por cada 1 000 ml de agua destilada. Determinar la concentración de oxígeno disuelto, utilizando sonda de oxígeno disuelto, la cual debe ser de aproximadamente 9 mg/L a 20°C. Transferir el medio a las botellas Winkler suavemente, cuidando de no generar burbujas, ni turbulencia. Calcular el volumen total de medio de ensayo a preparar de acuerdo a la cantidad de frascos que se utilizaran.

**6.7.2. Solución diluida o solución de ensayo de la muestra:** Preparar la solución de muestra para el ensayo pesando una cantidad suficiente de la misma para obtener un valor de DQO, el cual servirá para conocer la cantidad de muestra que será adicionada a las botellas. El pH de esta solución deberá ajustarse, si llegara a ser necesario, a un valor comprendido entre 7,0 y 7,5 utilizando para ello, soluciones diluidas de NaOH ó H2SO4 según el caso.

**6.7.3. Solución testigo:** Preparar una solución de Acetato de Sodio en un matraz de modo de obtener un valor de DQO de 420 mgO<sub>2</sub>/L.

## **6.8. Cuantificación:**

**6.8.1. Inicio del ensayo:** Se preparan las botellas Winkler para ensayar la muestra, el testigo, el control endógeno, el control de inhibición y los controles de agua, con las réplicas correspondientes, como se describe en la **Tabla 1**. Se coloca el volumen de muestra y/o solución testigo tal que en el frasco la concentración de DQO sea de 7 mgO<sub>2</sub>/l aproximadamente. Por último, adicionan los ml del inóculo necesarios para la biodegradación, parra es necesario someter al inóculo al ensayo de DQO y se completa con medio de ensayo, de modo tal que cuando se coloque el tapón de vidrio no quede cámara de aire ni burbujas. Colocar las botellas en incubadora a una temperatura constante en el rango de 20°C a 25°C, con una variación no mayor a 1°C y en oscuridad.

**Tabla 1.** Preparación de botellas para inicio de ensayo.

<b>Identificación</b>	<b>Muestra</b>	<b>Solución testigo</b>	<b>Medio de ensayo</b>	<b>Inóculo</b>	<b>Agua destilada</b>	<b>Nº de réplicas</b>
<b>Muestra</b>	X	–	X	X	–	3
<b>CtrlH<sub>2</sub>ODes</b>	–	–	–	–	X	2
<b>H<sub>2</sub>ODil</b>	–	–	X	–	–	4
<b>CtrlEndo</b>	–	–	X	X	–	3
<b>CtrlAce</b>	–	X	X	X	–	3
<b>CtrlInh</b>	X	X	X	X	–	3



**6.9. Mediciones de OD:** Dentro de los 30 minutos posteriores a la preparación de los frascos, medir el OD en cada uno de los mismos (t0). Realizar mediciones de OD (en mg/l y % de saturación) y temperatura en los siguientes intervalos de tiempo (t): día 7 (t7), día 14 (t14), día 21 (t21) y día 28 final del test (t28). Luego de cada medición volver a tapar el frasco con precaución para que no quede cámara de aire ni burbujas. De ser necesario completar el agua desplazada durante la medición con agua destilada fresca y volver a guardar en la incubadora, descartar al final del ensayo.

## **6.10. Cálculos y Resultados**

Calcular el grado de biodegradabilidad en los distintos tiempos muestreados, para las muestras analizadas y del testigo utilizando la siguiente fórmula:

$$D_t = \frac{(\rho_0 - \rho_{0,t}) - (\rho_{0,b} - \rho_{0,t,b})}{ThOD \times \rho_c}$$

$$ThOD = \frac{DQO_{muestra} \times Volumen_{muestra}}{Volumen_{Winkler}}$$

Dónde:

Dt: Porcentaje de Biodegradabilidad.

$\rho_0$ : Concentración de oxígeno, a tiempo cero (mg/L).

$\rho_{0,t}$ : Concentración de oxígeno, a tiempo final (mg/L).

$\rho_{0,b}$ : Concentración de oxígeno, a tiempo cero (mg/L). Control endógeno.

$\rho_{0,t,b}$ : Concentración de oxígeno, a tiempo final (mg/L). Control endógeno.

ThOD: Demanda teórica de oxígeno.

$\rho_c$ : Concentración de la muestra.

Calcular y registrar los resultados obtenidos del % de Biodegradabilidad en cada uno de los tiempos evaluados, en el análisis de los resultados y realizar gráfico de % de Biodegradabilidad vs tiempo de las muestras ensayadas y del control funcional.

## **6.11. Controles internos de calidad**

**6.11.1. Control endógeno:** la disminución de oxígeno en el control endógeno, no debe ser mayor a 1,5 mg/l después de 28 días de ensayo. Si se observan valores mayores a estos se debe evaluar el cumplimiento del procedimiento y el inóculo utilizado. La aireación del inóculo durante un periodo de tiempo (de 1 a 7 días) puede ayudar a reducir este valor.

*Estimación de la biodegradabilidad del efluente de las aguas residuales generadas en el CIRA/UNAN-Managua empleando el Método ISO 10707 y Línea Guía de la OECD 301D en el Laboratorio de Aguas Residuales, CIRA/UNAN-Managua, octubre 2018 – diciembre 2019.*

**6.11.2. Concentración de oxígeno residual:** En ninguno de los tratamientos ensayados debe haber una concentración de O<sub>2</sub> final inferior a 0,5 mg/L durante todo el ensayo.

**6.11.3. %CV:** La diferencia entre los extremos de las réplicas al final del ensayo (t28) debe ser menos al 20%, Si alguna de las tres réplicas se va de este rango, se debe considerar como un “outlier” y usar los valores remanentes.

**6.11.4. Control funcional:** El porcentaje de biodegradabilidad del testigo debe alcanzar el 60% luego del t14. Si esta condición no se cumple se debe repetir el ensayo.

**6.11.5. Control de inhibición:** Se ensayan tanto la muestra como el testigo, si la biodegradabilidad da menor al 25%, en base a la ThOD o DQO, luego de los 14 días, entonces se debe asumir que la muestra es inhibitoria. Se debe repetir el ensayo usando una menor concentración de la misma.

**Anexo 4. Material de distintas tuberías con sus respectivos coeficientes de rugosidad**

<b>Tipo de Material de la tubería</b>	<b>Coefficiente de rugosidad n</b>
Concreto muy liso	0.011
PVC	0.010
Concreto rugoso	0.013
Concreto sin acabado	0.015
Canales de tierra en buenas condiciones	0.017
Canales naturales de tierra, libre de vegetación	0.020
Canales naturales con abundante vegetación	0.035
Arroyos con muchas piedras	0.040

Fuente: PROC-CIRA-AR-03

<b>Parámetros hidráulicos de la tubería</b>	<b>PHT</b>
Tipo de Material de la tubería	Concreto sin acabado 0.015
Coefficiente de rugosidad n	0,015
Pendiente topográfica	0,02
Diámetro de la tubería m	0,1524

Fuente: PROC-CIRA-AR-03

*Estimación de la biodegradabilidad del efluente de las aguas residuales generadas en el CIRA/UNAN-  
Managua empleando el Método ISO 10707 y Línea Guía de la OECD 301D en el Laboratorio de  
Aguas Residuales, CIRA/UNAN-Managua, octubre 2018 – diciembre 2019.*

**Anexo 5. A continuación se muestran los datos obtenidos en los aforos del  
efluente final del CIRA/UNAN-Managua:**

**Segunda medición del caudal.**

Datos	Tirante d	Angulo	Área	Radio hidráulico	Velocidad	Caudal	Caudal	Caudal
Nº	m	grados	m <sup>2</sup>	m	m/s	m <sup>3</sup> /s	m <sup>3</sup> /h	L/s
08 h 20	0.015	73.1361	0.0009275	0.009535529	0.4174	0.0004	1.44	0.40
08 h 50	0.015	73.1361	0.0009275	0.009535529	0.4174	0.0004	1.44	0.40
09 h 20	0.010	59.3688	0.0005101	0.006461026	0.3216	0.0002	0.72	0.20
9 h 50	0.010	59.3688	0.0005101	0.006461026	0.3216	0.0002	0.72	0.20
10 h 20	0.015	73.1361	0.0009275	0.009535529	0.4174	0.0004	1.44	0.40
10 h 50	0.025	95.5698	0.0019531	0.015366221	0.5747	0.0011	3.96	1.10
11 h 20	0.025	95.5698	0.0019531	0.015366221	0.5747	0.0011	3.96	1.10
11 h 50	0.020	84.9567	0.0014128	0.012504397	0.5006	0.0007	2.52	0.70
12 h 20	0.020	84.9567	0.0014128	0.012504397	0.5006	0.0007	2.52	0.70
12 h 50	0.025	95.5698	0.0019531	0.015366221	0.5747	0.0011	3.96	1.10
13 h 20	0.020	84.9567	0.0014128	0.012504397	0.5006	0.0007	2.52	0.70
13 h 50	0.020	84.9567	0.0014128	0.012504397	0.5006	0.0007	2.52	0.70
14 h 20	0.025	95.5698	0.0019531	0.015366221	0.5747	0.0011	3.96	1.10
14 h 50	0.020	84.9567	0.0014128	0.012504397	0.5006	0.0007	2.52	0.70
15 h 20	0.020	84.9567	0.0014128	0.012504397	0.5006	0.0007	2.52	0.70
15 h 50	0.020	84.9567	0.0014128	0.012504397	0.5006	0.0007	2.52	0.70
16 h 20	0.030	105.3552	0.0025388	0.01811956	0.6418	0.0016	5.76	1.60

**Tercera medición del caudal.**

Datos	Tirante d	Angulo	Área	Radio hidráulico	Velocidad	Caudal	Caudal	Caudal
Nº	m	grados	m <sup>2</sup>	m	m/s	m <sup>3</sup> /s	m <sup>3</sup> /h	L/s
08 h 00	0.020	84.9567	0.0014128	0.012504397	0.5006	0.0007	2.52	0.70
08 h 30	0.040	123.2728	0.003819	0.02329454	0.7594	0.0029	10.44	2.90
09 h 00	0.025	95.5698	0.0019531	0.015366221	0.5747	0.0011	3.96	1.10
9 h 30	0.020	84.9567	0.0014128	0.012504397	0.5006	0.0007	2.52	0.70
10 h 00	0.025	95.5698	0.0019531	0.015366221	0.5747	0.0011	3.96	1.10
10 h 30	0.020	84.9567	0.0014128	0.012504397	0.5006	0.0007	2.52	0.70
11 h 00	0.020	84.9567	0.0014128	0.012504397	0.5006	0.0007	2.52	0.70
11 h 30	0.020	84.9567	0.0014128	0.012504397	0.5006	0.0007	2.52	0.70
12 h 00	0.015	73.1361	0.0009275	0.009535529	0.4174	0.0004	1.44	0.40
12 h 30	0.020	84.9567	0.0014128	0.012504397	0.5006	0.0007	2.52	0.70
13 h 00	0.020	84.9567	0.0014128	0.012504397	0.5006	0.0007	2.52	0.70
13 h 30	0.020	84.9567	0.0014128	0.012504397	0.5006	0.0007	2.52	0.70
14 h 00	0.020	84.9567	0.0014128	0.012504397	0.5006	0.0007	2.52	0.70
14 h 30	0.020	84.9567	0.0014128	0.012504397	0.5006	0.0007	2.52	0.70
15 h 00	0.020	84.9567	0.0014128	0.012504397	0.5006	0.0007	2.52	0.70
15 h 30	0.020	84.9567	0.0014128	0.012504397	0.5006	0.0007	2.52	0.70
16 h 00	0.020	84.9567	0.0014128	0.012504397	0.5006	0.0007	2.52	0.70

*Estimación de la biodegradabilidad del efluente de las aguas residuales generadas en el CIRA/UNAN-  
Managua empleando el Método ISO 10707 y Línea Guía de la OECD 301D en el Laboratorio de  
Aguas Residuales, CIRA/UNAN-Managua, octubre 2018 – diciembre 2019.*

**Cuarta medición del caudal**

Datos	Tirante d	Angulo	Área	Radio hidráulico	Velocidad	Caudal	Caudal	Caudal
Nº	m	grados	m <sup>2</sup>	m	m/s	m <sup>3</sup> /s	m <sup>3</sup> /h	L/s
08 h 00	0.020	84.9567	0.0014128	0.012504397	0.5006	0.0007	2.52	0.70
08 h 30	0.020	84.9567	0.0014128	0.012504397	0.5006	0.0007	2.52	0.70
09 h 00	0.020	84.9567	0.0014128	0.012504397	0.5006	0.0007	2.52	0.70
9 h 30	0.020	84.9567	0.0014128	0.012504397	0.5006	0.0007	2.52	0.70
10 h 00	0.020	84.9567	0.0014128	0.012504397	0.5006	0.0007	2.52	0.70
10 h 30	0.020	84.9567	0.0014128	0.012504397	0.5006	0.0007	2.52	0.70
11 h 00	0.020	84.9567	0.0014128	0.012504397	0.5006	0.0007	2.52	0.70
11 h 30	0.020	84.9567	0.0014128	0.012504397	0.5006	0.0007	2.52	0.70
12 h 00	0.020	84.9567	0.0014128	0.012504397	0.5006	0.0007	2.52	0.70
12 h 30	0.015	73.1361	0.0009275	0.009535529	0.4174	0.0004	1.44	0.40
13 h 00	0.020	84.9567	0.0014128	0.012504397	0.5006	0.0007	2.52	0.70
13 h 30	0.025	95.5698	0.0019531	0.015366221	0.5747	0.0011	3.96	1.10
14 h 00	0.020	84.9567	0.0014128	0.012504397	0.5006	0.0007	2.52	0.70
14 h 30	0.020	84.9567	0.0014128	0.012504397	0.5006	0.0007	2.52	0.70
15 h 00	0.015	73.1361	0.0009275	0.009535529	0.4174	0.0004	1.44	0.40
15 h 30	0.025	95.5698	0.0019531	0.015366221	0.5747	0.0011	3.96	1.10
16 h 00	0.020	84.9567	0.0014128	0.012504397	0.5006	0.0007	2.52	0.70
16 h 30	0.015	73.1361	0.0009275	0.009535529	0.4174	0.0004	1.44	0.40

**Quinta medición del caudal**

Datos	Tirante d	Angulo	Área	Radio hidráulico	Velocidad	Caudal	Caudal	Caudal
Nº	m	grados	m <sup>2</sup>	m	m/s	m <sup>3</sup> /s	m <sup>3</sup> /h	L/s
08 h 30	0.025	95.5698	0.0019531	0.015366221	0.5747	0.0011	3.96	1.10
09 h 00	0.030	105.3552	0.0025388	0.01811956	0.6418	0.0016	5.76	1.60
09 h 30	0.025	95.5698	0.0019531	0.015366221	0.5747	0.0011	3.96	1.10
10 h 00	0.025	95.5698	0.0019531	0.015366221	0.5747	0.0011	3.96	1.10
10 h 30	0.025	95.5698	0.0019531	0.015366221	0.5747	0.0011	3.96	1.10
11 h 00	0.025	95.5698	0.0019531	0.015366221	0.5747	0.0011	3.96	1.10
11 h 30	0.025	95.5698	0.0019531	0.015366221	0.5747	0.0011	3.96	1.10
12 h 00	0.025	95.5698	0.0019531	0.015366221	0.5747	0.0011	3.96	1.10
12 h 30	0.020	84.9567	0.0014128	0.012504397	0.5006	0.0007	2.52	0.70
13 h 00	0.020	84.9567	0.0014128	0.012504397	0.5006	0.0007	2.52	0.70
13 h 30	0.020	84.9567	0.0014128	0.012504397	0.5006	0.0007	2.52	0.70
14 h 00	0.020	84.9567	0.0014128	0.012504397	0.5006	0.0007	2.52	0.70
14 h 30	0.025	95.5698	0.0019531	0.015366221	0.5747	0.0011	3.96	1.10
15 h 00	0.020	84.9567	0.0014128	0.012504397	0.5006	0.0007	2.52	0.70
15 h 30	0.020	84.9567	0.0014128	0.012504397	0.5006	0.0007	2.52	0.70
16 h 00	0.020	84.9567	0.0014128	0.012504397	0.5006	0.0007	2.52	0.70
16 h 30	0.020	84.9567	0.0014128	0.012504397	0.5006	0.0007	2.52	0.70

**Anexo 6**

**%BIODEGRADABILIDAD**

	<b>t0</b>	<b>t7</b>	<b>t14</b>	<b>t21</b>	<b>t28</b>
<b>CtrlAce</b>	0.00	62.33	83.45	86.29	91.93
<b>CtrlAce</b>	0.00	64.28	81.65	83.30	87.89
<b>CtrlAce</b>	0.00	62.78	82.55	85.69	91.03
<b>prom</b>	0.00	63.13	82.55	85.09	89.46
<b>desvio</b>		1.02	0.90	1.58	2.22
<b>%err</b>		1.61	1.09	1.86	2.49
<b>Eluente Final</b>	0.00	64.41	77.49	92.80	94.68
<b>Efluente Final</b>	0.00	62.62	74.37	92.50	94.38
<b>Efluente Final</b>	0.00	63.52	76.45	93.39	95.27
<b>prom</b>	0.00	63.52	76.10	92.90	94.78
<b>desvio</b>	0.00	0.89	1.59	0.21	0.21
<b>%err</b>		1.40	2.09	0.23	0.22
<b>CtrlInh</b>	0.00	76.15	82.24	94.13	96.46
<b>CtrlInh</b>	0.00	76.30	85.22	93.39	95.57
<b>CtrlInh</b>	0.00	74.66	83.43	88.93	96.76
<b>prom</b>	0.00	75.70	83.63	92.15	96.26
<b>desvio</b>	0.00	0.90	1.50	2.81	0.62
<b>%err</b>		1.19	1.79	3.05	0.64

$$D_t = \frac{(\rho_0 - \rho_{0,t}) - (\rho_{0,b} - \rho_{0,t,b})}{ThOD \times \rho_c}$$

$$D_t = \frac{(7,96 \text{ mg/L} - 0,22 \text{ mg/L}) - (7,95 \text{ mg/L} - 6,59 \text{ mg/L})}{6,729 \text{ mg/L}} \times 100 = 94,78 \%$$

**Los resultados expresados fueron calculados en hoja Excel**

$$ThOD \times \rho_c = \frac{DQO_{muestra} \times Volumen_{muestra}}{Volumen_{Winkler}}$$

$$ThOD \times \rho_c = \frac{252,32 \frac{mg}{L} \times 8ml}{300 ml} = 6,729 \text{ mg/L}$$

## **ANEXO 7**

Gráfico para el Control de Inhibición, para detectar si existen o no sustancias que puedan inhibir el consumo de oxígeno en la muestra, interfiriendo en los resultados. Lo métodos de la ISO y OEDC expresan que el criterio de inhibición debe estar por encima del 25% de biodegradabilidad en el t14, de lo contrario se considera la existencia de un agente inhibitorio lo que indicara el paro del ensayo.

