



**Universidad Nacional Mayor de San Marcos**

**Universidad del Perú. Decana de América**  
Facultad de Química e Ingeniería Química  
Escuela Profesional de Ingeniería Química

**Estudio del efecto de la adición de EDTA como agente  
ralentizador de la descomposición del Hipoclorito de  
Sodio en la lejía comercial**

**TESIS**

Para optar el Título Profesional de Ingeniero Químico

**AUTOR**

Renzo Kevín ROJAS SARMIENTO

**ASESOR**

Dr. Raymundo ERAZO ERAZO

Lima, Perú

2023



Reconocimiento - No Comercial - Compartir Igual - Sin restricciones adicionales

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

Usted puede distribuir, remezclar, retocar, y crear a partir del documento original de modo no comercial, siempre y cuando se dé crédito al autor del documento y se licencien las nuevas creaciones bajo las mismas condiciones. No se permite aplicar términos legales o medidas tecnológicas que restrinjan legalmente a otros a hacer cualquier cosa que permita esta licencia.

## Referencia bibliográfica

---

Rojas, R. (2023). *Estudio del efecto de la adición de EDTA como agente ralentizador de la descomposición del Hipoclorito de Sodio en la lejía comercial*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Química e Ingeniería Química, Escuela Profesional de Ingeniería Química]. Repositorio institucional Cybertesis UNMSM.

---

## Metadatos complementarios

<b>Datos de autor</b>	
Nombres y apellidos	Renzo Kevín Rojas Sarmiento
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	72549664
URL de ORCID	<a href="https://orcid.org/0009-0000-4524-2837">https://orcid.org/0009-0000-4524-2837</a>
<b>Datos de asesor</b>	
Nombres y apellidos	Raymundo Erazo Erazo
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	08439329
URL de ORCID	<a href="https://orcid.org/0000-0003-1480-7641">https://orcid.org/0000-0003-1480-7641</a>
<b>Datos del jurado</b>	
<b>Presidente del jurado</b>	
Nombres y apellidos	Víctor Manuel Fernández Guzmán
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	06690674
<b>Miembro del jurado 1</b>	
Nombres y apellidos	Raymundo Erazo Erazo
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	08439329
<b>Miembro del jurado 2</b>	
Nombres y apellidos	Jorge Luis Cárdenas Ruiz
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	06627695
<b>Datos de investigación</b>	

Línea de investigación	No Aplica
Grupo de investigación	No Aplica
Agencia de financiamiento	No Aplica
Ubicación geográfica de la investigación	Edificio: Laboratorio de Calidad País: Perú Departamento: Callao Provincia: Callao Distrito: Callao Urbanización: Bocanegra Manzana y lote: no aplica Calle: 1 Latitud: -12.01522 Longitud: -77.10625
Año o rango de años en que se realizó la investigación	Julio 2023 - Noviembre 2023
URL de disciplinas OCDE	Ingeniería Química <a href="https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.04.00">https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.04.00</a> Ingeniería de procesos <a href="http://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.04.02">http://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.04.02</a>



# UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS

(Universidad del Perú, DECANA DE AMÉRICA)

## FACULTAD DE QUÍMICA E INGENIERÍA QUÍMICA

Central Telefónica: 619-7000

### ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA QUÍMICA

## ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

Los suscritos miembros del Jurado Calificador nombrados por el señor Presidente del Comité Ejecutivo del "Programa Ciclo Taller de Titulación Profesional por la Modalidad de Tesis y Trabajo de Suficiencia Profesional para La Facultad de Química e Ingeniería Química 2023", bajo la Presidencia del Ing. JORGE LUIS CÁRDENAS RUIZ; Dr. VÍCTOR MANUEL FERNÁNDEZ GUZMÁN (Miembro) y el Dr. RAYMUNDO ERAZO ERAZO (Asesor); habiendo presentado para tal efecto la TESIS titulada: "Estudio del efecto de la adición de EDTA como agente ralentizador de la descomposición del Hipoclorito de Sodio en la lejía comercial" después de SUSTENTADA Y APROBADA la tesis elaborado por el bachiller en Ingeniería Química: RENZO KEVÍN ROJAS SARMIENTO; para optar el TÍTULO PROFESIONAL de INGENIERO QUÍMICO, acordaron calificarlo con la NOTA de:

Dieciocho

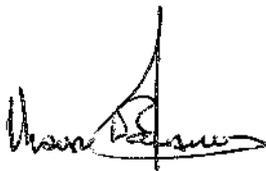
(LETRAS)

(18)

(NÚMEROS)

Ciudad Universitaria, 16 de diciembre del 2023.

  
Ing. JORGE LUIS CÁRDENAS RUIZ  
Presidente



Dr. VÍCTOR MANUEL FERNÁNDEZ GUZMÁN  
Miembro



Dr. RAYMUNDO ERAZO ERAZO  
Asesor

  
Dr. RUBÉN ALFREDO PALOMINO INFANTE  
Director de la E.P. de Ingeniería Química





### CERTIFICADO DE SIMILITUD

Yo Erazo Erazo Raymundo en mi condición de asesor acreditado con la Resolución Decanal N°000026-2024-D-FQIQ/UNMSM de la tesis, cuyo título es **"Estudio del efecto de la adición de EDTA como agente ralentizador de la descomposición del Hipoclorito de Sodio en la lejía comercial"**, presentado por el bachiller en Ingeniería Química Rojas Samiento Renzo Kevin para optar el título Profesional de Ingeniera Química CERTIFICO que se ha cumplido con lo establecido en la Directiva de Originalidad y de Similitud de Trabajos Académicos, de Investigación y Producción Intelectual. Según la revisión, análisis y evaluación mediante el software de similitud textual, el documento evaluado cuenta con el porcentaje de **12%** de similitud, nivel **PERMITIDO** para continuar con los trámites correspondientes y para su **publicación en el repositorio institucional**.

Se emite el presente certificado en cumplimiento de lo establecido en las normas vigentes, como uno de los requisitos para la obtención el título correspondiente.

Firma del Asesor \_\_\_\_\_

DNI: 08439329

Nombres y apellidos del asesor:

Erazo Erazo Raymundo



## **AGRADECIMIENTO**

Un especial agradecimiento a mis amados padres por el apoyo incondicional que me brindaron en toda mi etapa de crecimiento y formación, a mi hermana por la camaradería que siempre hemos tenido, a mi pareja con quien desarrollé mi carácter humano y mi impulso por mejorar cada día.

A mi alma máter y los profesores quienes en clases exprimieron cada gota de experiencia y conocimiento para volverme el profesional que soy ahora.

A mis colegas y amigos de quienes aprendí muchos skills tanto para el trabajo como para la vida.

Y a todas las personas que lean esta tesis, la cual espero, despeje las dudas que tengan sobre el tema.

## INDICE GENERAL

<b>AGRADECIMIENTO</b> .....	<b>2</b>
<b>INDICE GENERAL</b> .....	<b>3</b>
<b>LISTA DE TABLAS</b> .....	<b>5</b>
<b>LISTA DE GRÁFICAS</b> .....	<b>6</b>
<b>RESUMEN</b> .....	<b>8</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>10</b>
<b>CAPÍTULO 1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</b> .....	<b>13</b>
<b>1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA</b> .....	<b>13</b>
<b>1.2. PREGUNTA GENERAL</b> .....	<b>14</b>
<b>1.3. PREGUNTAS ESPECÍFICAS</b> .....	<b>14</b>
<b>1.4. JUSTIFICACIÓN</b> .....	<b>14</b>
<b>1.5. OBJETIVO GENERAL</b> .....	<b>15</b>
<b>1.6. OBJETIVOS ESPECÍFICOS</b> .....	<b>15</b>
<b>1.7. PLANTEAMIENTO DE LA HIPOTESIS GENERAL</b> .....	<b>16</b>
<b>1.8. PLANTEAMIENTO DE LAS HIPOTESIS ESPECIFICAS</b> .....	<b>16</b>
<b>1.9. CONTRIBUCION E IMPACTO</b> .....	<b>16</b>
<b>1.10. LIMITACIONES DE ESTUDIO</b> .....	<b>17</b>
<b>1.10.1. LIMITACIONES TECNOLOGICAS</b> .....	<b>17</b>
<b>1.10.2. LIMITACIONES ECONÓMICAS</b> .....	<b>17</b>
<b>CAPITULO 2 ANTECEDENTES DEL PROBLEMA DE ESTUDIO</b> .....	<b>18</b>
<b>CAPITULO 3 MARCO TEORICO</b> .....	<b>22</b>

<b>3.1 Hipoclorito de Sodio</b> .....	<b>22</b>
3.1.1. Definición .....	22
3.1.2. Historia .....	22
3.1.3. Métodos de Producción del Hipoclorito de Sodio .....	24
3.1.4. Efectos del tipo de cátodo en la Producción del Hipoclorito de Sodio .....	28
3.1.5. Efectos del tipo de ánodo en la Producción del Hipoclorito de Sodio .....	30
3.1.6. Efectos de la concentración de electrolito para Producción del Hipoclorito de Sodio .....	31
3.1.7. Calidad del Hipoclorito de Sodio .....	32
<b>3.2 Propiedades del Hipoclorito de Sodio</b> .....	<b>32</b>
<b>3.3 Condiciones de Almacenamiento</b> .....	<b>33</b>
<b>3.4. Mecanismo de Degradación y Estabilidad del Hipoclorito de Sodio</b> .....	<b>35</b>
<b>3.5 Condiciones que aceleran la degradación del Hipoclorito de Sodio</b> .....	<b>35</b>
<b>3.6. Método para la determinación de la concentración de Hipoclorito de Sodio</b> .....	<b>37</b>
<b>CAPÍTULO 4. METODOLOGIA DE LA INVESTIGACION</b> .....	<b>39</b>
4.1. TIPO DE INVESTIGACION .....	39
4.2. DISEÑO DE INVESTIGACION .....	39
4.3. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCION DE DATOS .....	40
4.3.1. Recursos requeridos para la toma de muestra .....	40
4.4. Procesamiento Estadístico de Datos .....	41
<b>CAPITULO 5. ANALISIS DE RESULTADOS</b> .....	<b>44</b>
<b>CAPITULO 6. DISCUSION DE RESULTADOS</b> .....	<b>48</b>
<b>CAPITULO 7. CONCLUSIONES</b> .....	<b>58</b>
<b>CAPITULO 8. RECOMENDACIONES</b> .....	<b>59</b>
<b>REFERENCIAS</b> .....	<b>60</b>

## LISTA DE TABLAS

<b>TABLA 1. PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS DEL HIPOCLORITO DE SODIO SEGÚN MEXICHEM 2018.....</b>	<b>32</b>
<b>TABLA 2. ESPECIFICACIÓN TÉCNICA – PARÁMETROS QUÍMICOS DEL HIPOCLORITO DE SODIO SEGÚN QUIMPAC 2023 .....</b>	<b>32</b>
<b>TABLA 3. ESPECIFICACIÓN TÉCNICA – PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS DEL HIPOCLORITO DE SODIO SEGÚN QUIMPAC 2023</b>	<b>33</b>
<b>TABLA 4. ITERACIONES DE BATCH PRODUCIDOS.....</b>	<b>40</b>
<b>TABLA 5. CONCENTRACIÓN DE HIPOCLORITO DE SODIO EN FUNCIÓN AL TIEMPO A 50 °C.....</b>	<b>44</b>
<b>TABLA 6. CONCENTRACIÓN DE HIPOCLORITO DE SODIO EN FUNCIÓN AL TIEMPO A 37 °C.....</b>	<b>45</b>
<b>TABLA 7. CONCENTRACIÓN DE HIPOCLORITO DE SODIO EN FUNCIÓN AL TIEMPO A 5°C.....</b>	<b>46</b>
<b>TABLA 8. CONCENTRACIÓN DE HIPOCLORITO DE SODIO EN FUNCIÓN AL TIEMPO A TEMPERATURA AMBIENTE .....</b>	<b>47</b>

## LISTA DE GRÁFICAS

<b>GRÁFICA 1. CELDA ELECTROQUÍMICA DE NA<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> PARA PRODUCCIÓN DE CLORO</b>	<b>25</b>
<b>GRÁFICA 2. EFECTO DEL TIEMPO DE ELECTRÓLISIS EN FUNCIÓN DEL TIPO DE CÁTODO</b>	<b>29</b>
<b>GRÁFICA 3. EFECTO DE LA DENSIDAD DE CORRIENTE EN FUNCIÓN DEL TIPO DE CÁTODO.....</b>	<b>29</b>
<b>GRÁFICA 4. EFECTO DE LA TEMPERATURA EN FUNCIÓN DEL TIPO DE ÁNODO</b>	<b>30</b>
<b>GRÁFICA 5. EFECTO DE LA CONCENTRACIÓN DE NA<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> COMO FUNCIÓN DEL TIPO DE ÁNODO .....</b>	<b>31</b>
<b>GRÁFICA 6. GRÁFICA DE NORMALIDAD A TEMPERATURA 50°C.....</b>	<b>48</b>
<b>GRÁFICA 7. GRÁFICA DE NORMALIDAD A TEMPERATURA 37°C.....</b>	<b>49</b>
<b>GRÁFICA 8. GRÁFICA DE NORMALIDAD A TEMPERATURA AMBIENTE</b>	<b>49</b>
<b>GRÁFICA 9. GRÁFICA DE NORMALIDAD A 5°C.....</b>	<b>50</b>
<b>GRÁFICA 10. GRÁFICA DE DESCOMPOSICIÓN DE NA<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> EN MUESTRA I1, MUESTRA DE CONTROL (SIN ADICIÓN DE EDTA) .....</b>	<b>51</b>
<b>GRÁFICA 11. GRÁFICA DE DESCOMPOSICIÓN DE NA<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> EN MUESTRA I2 (CON ADICIÓN DE 0.05% DE EDTA).....</b>	<b>51</b>
<b>GRÁFICA 12. GRÁFICA DE DESCOMPOSICIÓN DE NA<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> EN MUESTRA I3 (CON ADICIÓN DE 0.10% DE EDTA).....</b>	<b>51</b>
<b>GRÁFICA 13. GRÁFICA DE DESCOMPOSICIÓN DE NA<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> EN MUESTRA I4 (CON ADICIÓN DE 0.15% DE EDTA).....</b>	<b>52</b>
<b>GRÁFICA 14. GRÁFICA DE DESCOMPOSICIÓN DE NA<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> EN MUESTRA I5 (CON ADICIÓN DE 0.20% DE EDTA).....</b>	<b>53</b>
<b>GRÁFICA 15. GRÁFICA DE DESCOMPOSICIÓN DE NA<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> EN MUESTRA I6 (CON ADICIÓN DE 0.25% DE EDTA).....</b>	<b>53</b>
<b>GRÁFICA 16. GRÁFICA DE DESCOMPOSICIÓN DE NA<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> EN MUESTRA I7</b>	

<b>(CON ADICIÓN DE 0.30% DE EDTA).....</b>	<b>54</b>
<b>GRÁFICA 17. GRÁFICA DE DESCOMPOSICIÓN DE NAOCL EN MUESTRA I8 (CON ADICIÓN DE 0.35% DE EDTA).....</b>	<b>54</b>
<b>GRÁFICA 18. GRÁFICA DE DESCOMPOSICIÓN DE NAOCL EN MUESTRA I9 (CON ADICIÓN DE 0.40% DE EDTA).....</b>	<b>55</b>
<b>GRÁFICA 19. GRÁFICA DE INTERVALOS DE MUESTRAS.....</b>	<b>56</b>

## RESUMEN

En el presente estudio titulado “Estudio del efecto de la adición de EDTA como agente ralentizador de la descomposición del Hipoclorito de Sodio en la lejía comercial”, se planteó como objetivo el evaluar la eficacia del EDTA a diferentes concentraciones como agente ralentizador de la descomposición del hipoclorito de sodio al 4% en la lejía comercial.

El hipoclorito de sodio fue obtenido y evaluado en una empresa del rubro “Home Care” que produce lejía comercial ubicada en Lima, Perú. El agua de dilución también fue obtenida de la empresa en cuestión y fue agua blanda clorinada a 20ppm.

Con esta Materia Prima se formuló lejía al 4% de Hipoclorito de Sodio con adición de EDTA con concentraciones del 0.00%, 0.05%, 0.10%, 0.15%, 0.20%, 0.25%, 0.30%, 0.35% y 0.40%. Las muestras fueron envasadas en botellas HDPE de 500mL y colocadas en 2 incubadoras seteadas a 37°C y 50°C, además, se colocaron en un congelador seteadado a 5°C y a temperatura ambiente.

La concentración de Hipoclorito de sodio es determinada por el método enunciado en la NTP 311.602 2018 “PRODUCTOS QUIMICOS INDUSTRIALES: Hipocloritos, ácidos cloroisocianúricos y sus sales derivadas. Requisitos y método de ensayo”. Las muestras fueron evaluadas de forma quincenal por un lapso de 3 meses, iniciando en agosto y culminando en noviembre del 2023.

Del presente estudio se concluyó que el % de EDTA óptimo para lograr ralentizar la descomposición del Hipoclorito de Sodio fue la muestra con 0.25% de EDTA adicionado en todos los ambientes trabajados.

Palabras clave: Hipoclorito de Sodio 4%, lejía comercial, EDTA

## ABSTRACT

In the present study titled "Study of the effect of the addition of EDTA as a slowing agent of the decomposition of Sodium Hypochlorite in commercial bleach", the objective was to evaluate the effectiveness of EDTA at different concentrations as a slowing agent of the decomposition of sodium hypochlorite in commercial bleach.

Sodium hypochlorite was obtained and evaluated in a "Home Care" company that produces commercial bleach located in Lima, Peru. The dilution water was also obtained from the company in question and was soft water chlorinated at 20ppm.

With this Raw Material, 4% Sodium Hypochlorite bleach was formulated with the addition of EDTA with concentrations of 0.00%, 0.05%, 0.10%, 0.15%, 0.20%, 0.25%, 0.30%, 0.35% and 0.40%. The samples were packaged in 500mL HDPE bottles and placed in 2 incubators set at 37°C and 50°C, in addition, they were placed in a freezer set at 5°C and at room temperature.

The concentration of sodium hypochlorite is determined by the method stated in NTP 311.602 2018 "INDUSTRIAL CHEMICALS: Hypochlorites, chloroisocyanuric acids and their derived salts. Requirements and test method. The samples were evaluated biweekly for a period of 3 months, starting in August and ending in November 2023.

From this study it was concluded that the optimal % EDTA to slow down the decomposition of Sodium Hypochlorite was the sample with 0.25% EDTA added in all the environments worked.

Keywords: Sodium Hypochlorite 4%, commercial bleach, EDTA

## INTRODUCCIÓN

En la siguiente tesis se investiga la aplicación del EDTA como agente inhibidor de metales en la lejía comercial a fin de evitar la descomposición de su agente activo en oxígeno.

(Groot, 1991) indica que la degradación del agente activo de la lejía, el cual es el hipoclorito de sodio, es ocasionada por 3 motivos: el pH inicial de la solución que guarda especial relación con la concentración de soda cáustica inicial, la temperatura de almacenamiento y la concentración de metales que contiene la materia prima.

La lejía comercial es una solución formada por de hipoclorito de sodio al 4% y agua. Es un producto de fácil acceso pues se encuentra en mercados y centros comerciales.

Es justamente en los centros comerciales donde se detectó un problema generado por la descomposición del hipoclorito de sodio en botellas selladas de lejía comercial: el hinchamiento de la botella.

En este sentido, el propósito de esta investigación es evaluar el efecto de la adición de EDTA para reducir la descomposición en la concentración de Hipoclorito de Sodio en la lejía comercial.

El presente trabajo está organizado en ocho capítulos. El primer capítulo trata del planteamiento del problema en donde se describe el problema visibilizado en los centros comerciales, la pregunta general y específicas, la justificación para realizar el presente trabajo, el objetivo general y específicos, el planteamiento de la hipótesis general y específicas como la contribución en la ciencia del presente trabajo bajo el tópico de las curvas de estabilidad del producto lejía comercial.

En el capítulo 2 enumeramos los antecedentes del problema que se utilizan para comparar nuestras hipótesis y darles valor. La más destacada es la tesis titulada “Estudio de la estabilidad de la solución de hipoclorito de sodio al 3.5% adicionándole un quelante a su composición” del autor Marc Barrios (Guatemala, 2019).

En el capítulo 3, el marco teórico se obtuvieron fichas técnicas de hipoclorito de sodio como materia prima, encontrándose que lleva metales con concentraciones <0.4ppm. Además del método de obtención del hipoclorito de sodio como materia prima, y se detalla con más detalle los agentes que aceleran la descomposición del hipoclorito de sodio.

En el capítulo 4, Metodología de la investigación, describimos los recursos necesarios para llevar a cabo la presente tesis además del método de recopilación de datos, el método para determinar la concentración de Hipoclorito según la NTP 311.602 2018.

En el capítulo 5, Análisis de resultados, se presentan las tablas de resultados obtenidos de los análisis de concentración de hipoclorito de Sodio en las muestras formuladas a diferentes concentraciones de EDTA en el período de 3 meses.

En el capítulo 6, Discusión de Resultados, le realizamos la prueba de Dunnett para comparar nuestra muestra de CONTROL, la cual será la lejía con 0.00% de adición de EDTA, vs el resto de las muestras a fin de comparar la optimalidad de la adición de EDTA.

En el capítulo 7, Conclusiones, se presentan las conclusiones obtenidas de la tesis y su comparación con las conclusiones de otras fuentes de información de los antecedentes.

En el capítulo 8, Recomendaciones, se presentan las recomendaciones para futuros estudios y puntos a tomar en consideración en caso requieran replicar el presente experimento.

## **CAPÍTULO 1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

### **1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA**

La Decisión 721, Reglamento Técnico Andino relativo a los requisitos y guía de inspección para el funcionamiento de establecimientos que fabrican Productos de Higiene Doméstica y Productos Absorbentes de Higiene Personal nos precisa que Calidad es el conjunto de propiedades de un producto que determinan identidad, concentración, pureza y seguridad para el uso al que está destinado. Así mismo, indica que el componente activo es la materia prima, parte de una formulación, a la que se le atribuye la acción declarada en el producto comercializado. En el caso de la lejía comercial, el agente activo viene a ser el Hipoclorito de Sodio, el cual sufre de descomposición en oxígeno que se ve acelerado en caso de presencia de metales. Al encontrarse dentro de una botella sellada, el oxígeno no puede escapar por lo que las botellas se hinchan.

En una inspección visual realizada en Julio del 2023 en centros comerciales y mercados de Lima se encontraron 13 botellas de lejía comercial de un total de 150 botellas inspeccionadas que presentaban base hinchada, similar a una pelota, de marcas emergentes, lo que provoca que las botellas pivoteen en el anaquel reflejando una baja calidad de producto. Para mayor entendimiento del fenómeno encontrado se recopila la evidencia fotográfica y se adjuntará en el anexo.

Este fenómeno no es común pues es ocurre solamente en algunas de las marcas; sin embargo, todas las botellas se encuentran selladas e incluso las tapas cuentan con su precinto de seguridad.

Tanto el pivoteo como el hinchamiento generan la idea de baja calidad para los compradores e incluso podría indicar alteración y falsificación del producto que

podría desembocar en rechazos o bajas ventas del producto.

## **1.2. PREGUNTA GENERAL**

- ¿Será posible ralentizar la degradación de la concentración de Hipoclorito adicionando EDTA como quelante de los metales dispersos en la lejía comercial y de esa manera evitar que las botellas se hinchen?

## **1.3. PREGUNTAS ESPECÍFICAS**

- ¿Cuál es el mejor porcentaje de adición de EDTA para reducir la degradación de hipoclorito de sodio presente en la lejía comercial?

- ¿Cuán mayor es la concentración de hipoclorito de sodio de la mejor iteración obtenida de la adición de EDTA con respecto a la muestra sin EDTA?

## **1.4. JUSTIFICACIÓN**

El presente trabajo se justifica por que otorgará mayor entendimiento en las curvas de estabilidad de la lejía comercial considerando el parámetro del cual podemos tener control que afecta la concentración de su agente activo: la concentración de metales disueltos en el hipoclorito de sodio industrial como materia prima.

De esta manera, se tendrá una contribución en el campo de la fabricación de lejía comercial pues se determinará el nivel de afectación que tiene este parámetro y definir, además, una solución para este problema: La adición de un quelante como el EDTA.

Es importante llevar a cabo esta investigación porque las lejías comerciales al 4% p/p que se encuentran en tiendas y centros comerciales salen de los almacenes de las empresas productoras aprobadas por su área de control de calidad y debido a la

degradación del hipoclorito las botellas se hinchan luego de un tiempo generando una imagen de baja calidad.

Si se logra ralentizar la descomposición del hipoclorito de sodio este hinchamiento no ocurriría en los anaqueles de los centros comerciales y la venta podría darse. Una vez que el comprador lo tenga, este producto será abierto y el oxígeno será liberado por lo que el riesgo de un rechazo sería mínimo.

La adición de EDTA es un método utilizado en el rubro de la agricultura para limpiar las plantaciones de metales pesados como se lee en la tesis “Efecto de la aplicación de dos sustancias quelantes (EDTA y DTPA) sobre la vegetación autóctona en un suelo contaminado de Cu, Zn, Cd y Fe” de (Pastor, Martín-Aparicio, Gutiérrez-Maroto, & Hernández, 2005). Del mismo modo se utilizó en el rubro de tratamiento de aguas para limpiar metales pesados como se refiere en el artículo “EDTA-Functionalized Covalent Organic Framework for the Removal of Heavy-Metal Ions” (Yunzhe Jiang, 2019), La novedad en esta investigación es su aplicación en la captura de metales disueltos en el Hipoclorito de Sodio con el que se produce la lejía comercial al 4% de concentración de Hipoclorito.

### **1.5. OBJETIVO GENERAL**

- Determinar la adición de EDTA que disminuye la descomposición de Hipoclorito de Sodio.

### **1.6. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Determinar el mejor porcentaje de adición de EDTA que disminuya la descomposición de Hipoclorito de Sodio.
- Comparar el % de caída de la concentración de Hipoclorito de la

muestra sin EDTA vs la mejor muestra.

### **1.7. PLANTEAMIENTO DE LA HIPOTESIS GENERAL**

- La adición de EDTA en la formulación de lejía comercial disminuye el % de descomposición del hipoclorito de sodio.

### **1.8. PLANTEAMIENTO DE LAS HIPOTESIS ESPECIFICAS**

- La solución más estable de lejía comercial se relaciona con el % de EDTA en la fórmula.
- La concentración de hipoclorito de sodio de todas las muestras formuladas con EDTA será mayor que la concentración encontrada en las muestras formuladas sin EDTA.
- Al menos 01 muestra de lejía comercial formulada adicionando EDTA resultará con una concentración de hipoclorito de sodio superior a la de nuestra muestra de control (muestra sin EDTA)

### **1.9. CONTRIBUCION E IMPACTO**

El término del presente estudio permitirá tener una visión más clara de la curva de estabilidad del hipoclorito de sodio y cómo el parámetro “concentración de metales” lo afecta. Además, tendremos iteraciones con las cuales se podrán plantear modelos de formulación económicamente sustentables para las empresas que sufran del problema de hinchamiento de botella generado por la degradación del agente activo de la lejía comercial. De esta manera las empresas del rubro “HOME CARE” podrán formular batchs de lejía que no se degradarán rápidamente evitando así reflejar una imagen de baja calidad y lograrán posicionarse mejor en el mercado.

## **1.10. LIMITACIONES DE ESTUDIO**

### **1.10.1. LIMITACIONES TECNOLÓGICAS**

- Las limitaciones tecnológicas para la realización del trabajo fueron la falta de tanques mezcladores para la formulación de los batch, por lo que se utilizaron baldes de plástico de PVC de 20 litros. Como agitadores se utilizaron baguetas de vidrio gruesas de 30 cm de largo x 3cm de diámetro.

### **1.10.2. LIMITACIONES ECONÓMICAS**

- En cuanto a las limitaciones económicas del estudio se encuentra la financiación de los análisis: En un inicio se buscaba medir la concentración de metales durante toda la prueba de forma quincenal. Sin embargo, debido al alto costo de este análisis cotizado en laboratorios externos, se volvió inviable el ejecutarle los análisis de metales.

- A fin de abaratar costos, se cambió el indicador de éxito de la prueba de analizar la concentración de metales de muestra en función al tiempo para determinar el % de metales que reaccionan con el EDTA por realizar análisis de la concentración de hipoclorito para determinar la caída del agente activo.

## CAPITULO 2 ANTECEDENTES DEL PROBLEMA DE ESTUDIO

- (Contreras, Tapia, Cervantes, & Aguilar, 2016) nos indican en su artículo titulado “Estudio comparativo sobre la efectividad del hipoclorito de sodio al 6% vs. la solución bromo-cloro-dimetil-hidantoína para la desinfección en ambientes hospitalarios” que el Hipoclorito de sodio es un medio efectivo para eliminar bacterias y microorganismos en ambientes como los hospitales.

- (Meléndez & Perfecto, 2015) concluyen en su artículo titulado “Efectividad de diferentes agentes antimicrobianos en la desinfección de conos de gutapercha” que el hipoclorito de sodio al 2,5% es efectivo para la desinfección de conos de gutapercha, que son utilizados para rellenar cavidades endodónticas asegurando un sellado y evitando la reaparición de enfermedades, al igual que la clorhexidina al 2%, y el peróxido de hidrogeno al 3% son efectivo para la desinfección de conos de gutapercha. Mientras que el alcohol al 70% no logró la desinfección.

- En el libro “Sulphonation Technology in the Detergent Industry” del autor W. Herman de Groot (Dordrecht, 1991), nos enlista una serie de variables que aceleran el proceso de degradación del Hipoclorito entre los que aparece el pH de la solución, la temperatura de almacenamiento y los metales disueltos en la solución de hipoclorito. En la presente tesis nos enfocaremos en esta última variable para ralentizar la descomposición del hipoclorito de sodio por medio de la adición de un quelante como el EDTA.

- En el informe titulado “Estabilidad de la solución de hipoclorito de sodio producido in situ” de los autores Rojas Vargas, Ricardo y Guevara Vásquez, Sixto (Lima, 2000) indican que la lejía es una mezcla de Hipoclorito de Sodio y agua.

Además, concluyen que la degradación del hipoclorito se ve afectada en gran medida por el pH ajustado y la temperatura de exposición. Recomiendan que el pH inicial sea mayor a 10.5 y la temperatura en la que menos se degradó el hipoclorito fue a temperaturas menores a los 10°C. En la presente tesis el pH inicial de todas nuestras muestras no requirió ajuste pues eran superiores a 10.5. Mientras que las temperaturas trabajadas fueron 5°C, temperatura ambiente, 37°C y 50°C.

- En la tesis titulada “Estudio de la estabilidad de la solución de hipoclorito de sodio al 3.5% adicionándole un quelante a su composición”, el autor Marc Barrios (Guatemala, 2019), concluye que adicionar 0.25 % de EDTA como agente quelante para lejía al 3.5 % de concentración de hipoclorito permite reducir la degradación del agente activo. Sin embargo, no tenemos claridad del tipo de agua o las características del hipoclorito utilizado como tampoco nos indica la variación de la degradación generada por las diferentes temperaturas expuestas de la mezcla.

- El uso de quelantes para capturar metales ha sido utilizado no solo en el rubro de productos de limpieza sino también en el rubro agroindustrial tal es el ejemplo del reporte “Efecto de la aplicación de dos sustancias quelantes (EDTA y DTPA) sobre la vegetación autóctona en un suelo contaminado de Cu, Zn, Cd y Fe” de (Pastor, Martín-Aparicio, Gutiérrez-Maroto, & Hernández, 2005) en el que se utiliza el EDTA y DTPA para la descontaminación de metales pesados. En este estudio, se utilizó 1 gramo de EDTA y DTPA por cada dm<sup>2</sup> con resultados satisfactorios comparados con la muestra STD. Por otro lado, la cantidad de metales acumulados en partes aéreas y raíces resultó menor en el caso de DTPA que en del EDTA.

- En la revista ACS Publications se publicó el estudio titulado “EDTA-Functionalized Covalent Organic Framework for the Removal of Heavy-Metal Ions”

de (Yunzhe Jiang, 2019) en donde se comprobó la funcionalidad de una estructura orgánica covalente funcionalizada con EDTA que logró la eliminación mayor a un 85% de metales pesados, como el ácido de Lewis blando ( $\text{Ag}^+$ ,  $\text{Pd}^{2+}$ ), el ácido de Lewis duro ( $\text{Fe}^{3+}$ ,  $\text{Cr}^{3+}$ ) y el ácido de Lewis límite ( $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Ni}^{2+}$ ) en los primeros 5 minutos de su aplicación como adsorbente.

- En la revista *Journal of Colloid and Interface Science*, (Jin, y otros, 2019) concluyen en su artículo titulado “Efficient removal of metal contaminants by EDTA modified MOF from aqueous solutions” que la introducción del EDTA en los poros del MOF: UiO-66 aumenta significativamente la capacidad de adsorción de UiO-66 para la eliminación de múltiples iones metálicos.

- En la revista *ACS Publications Chemical Engineering* (Ma, y otros, 2016) concluyen que un compuesto formado con EDTA logra adsorber los metales presentes en sus pruebas. El compuesto CTS/PAM logra una adsorción máxima teórica de 86mg/g de  $\text{Cd}(\text{II})$ , 99,44 mg/g de  $\text{Cu}(\text{II})$  y 138,41mg/g de  $\text{Pb}(\text{II})$  en condiciones experimentales.

- En la revista *ACS Publications Chemical Engineering* (d’Halluin, y otros, 2017) concluyen en su artículo titulado “Chemically Modified Cellulose Filter Paper for Heavy Metal Remediation in Water” que se puede utilizar como dispositivo para la eliminación de metales al papel de filtro de celulosa modificado químicamente con ácido etilendiaminotetraacético (EDTA). La alta afinidad que tiene el papel de celulosa con el agua y las fuertes propiedades quelantes de los restos de EDTA presentes permiten el tratamiento de muestras de agua que contienen varios cationes metálicos como  $\text{Ag}(\text{I})$ ,  $\text{Pb}(\text{II})$ ,  $\text{Cd}(\text{II})$ ,  $\text{Ni}(\text{II})$ ,  $\text{Zn}(\text{II})$ ,  $\text{Sn}(\text{II})$  y  $\text{Cu}(\text{II})$ , con una eficiencia de eliminación superior al 90%. Este material de celulosa-EDTA funciona en un rango amplio de pH y puede usarse como adsorbente sólido o como membrana para el

tratamiento continuo de aguas residuales.

- En la revista *Chemosphere* (Guo, y otros, 2018) concluyen en su artículo titulado “Role of reducing agent in extraction of arsenic and heavy metals from soils by use of EDTA” que el lavado del suelo con reactivos (calcáreos o EDTA) disminuyeron con éxito la concentración de metales en el suelo como el Cadmio y el Plomo. Para el suelo contaminado con residuos calcáreos, la concentración intercambiable de Cd, Zn, Pb y Cu en el suelo lavado con EDTA fue mayor en comparación con el control. Para el suelo contaminado con ácido, las tasas de eliminación de la fracción intercambiable de metales pesados fueron más bajas.

## CAPITULO 3 MARCO TEORICO

### 3.1 Hipoclorito de Sodio

#### 3.1.1. Definición

Según (LENNTECH, 2023), EL Hipoclorito de sodio ( $\text{NaOCl}$ ) es un compuesto que puede ser utilizado para desinfección del agua. Se usa a gran escala para la purificación de superficies, eliminación de olores y desinfección del agua.

Otra de las funciones del Hipoclorito de Sodio es, según la (ATSDR, s.f.), que el hipoclorito de sodio es un agente emblanquecedor y desinfectante de uso comercial disuelto en agua. Posee un color amarillo verdusco y con el olor característico del cloro.

#### 3.1.2. Historia

(Abiclor, 2023) recopila la historia de la lejía, comenzando en el antiguo Egipto, en donde las lejías cáusticas ya eran conocidas y utilizadas en la fabricación de jabones. Las lejías cáusticas para las industrias domésticas en la antigüedad se obtenían de los “Tronos” de Egipto que eran sales naturales de sodio que contienen carbonato de sodio o de las “Barrilhas” de España, provenientes de las cenizas de ciertas algas.

En 1750, el químico escocés Black descubrió el proceso de producción de sosa cáustica añadiendo cal a una solución de carbonato de sodio.

En 1791 apareció el método patentado por el médico francés Nicolás Leblanc para producir carbonato de sodio artificial a partir de sal común, lo que impulsó el proceso de obtención industrial de sosa cáustica. Su idea se basó en la transformación del cloruro de sodio en sulfato de sodio, mediante la acción del ácido sulfúrico. El sulfato de sodio formado se descompuso con piedra caliza, dando lugar al carbonato de sodio, materia prima de la sosa cáustica en el proceso antes mencionado.

La primera fábrica de soda cáustica, estrictamente hablando, no se construyó hasta 1844, en Glasgow, Escocia.

En 1861, Ernest Solvay patentó un nuevo proceso: consistía en obtener bicarbonato de sodio haciendo pasar amoníaco y dióxido de carbono a través de una solución de cloruro de sodio y luego produciendo carbonato de sodio calentando el bicarbonato de sodio. Añadiendo cal al carbonato de sodio se obtuvo sosa cáustica. En 1865 la Societé Solvay inició la producción a escala industrial.

El proceso Leblanc fue abandonado después de alcanzar su apogeo en 1883 y el proceso Solvay fue reemplazado gradualmente por el proceso electrolítico, ahora ampliamente utilizado en todo el mundo.

El proceso electrolítico comenzó a desarrollarse después de que se conocieran las leyes de la electrólisis y la aparición de la dinamo como proveedor de corriente continua (Siemens/1865). En ese momento, el mayor problema era mantener separados el cloro y el hidróxido de sodio cuando se disociaban mediante electrólisis.

La primera producción de sosa cáustica a escala industrial mediante el proceso electrolítico, con una celda de diafragma, fue realizada en 1890 por Stroof, Parnicke y los hermanos Lang en Griesheim Elektron AG, Alemania. Se estudiaron otros procesos hasta el desarrollo de la célula Hooker en Estados Unidos.

La celda de cátodo de mercurio fue inventada de forma independiente en 1892 por Castner en Estados Unidos y Kellner en Austria, pero no se amplió en ese momento debido a problemas técnicos. No fue hasta 1935, durante la última guerra mundial, que IG Farben en Alemania perfeccionó esta tecnología y desarrolló la celda de reciclaje de mercurio.

En Brasil, la primera fábrica con celdas de diafragma apareció en 1934, en la empresa Eletro-Química Fluminense, mientras que la primera con celdas de mercurio

fue en la empresa Eletrocloro (actualmente Solvay Indupa do Brasil) en 1948.

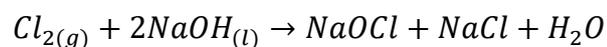
En la década de 1970, empresas que buscaban nuevas alternativas para fabricar sosa cáustica con bajo contenido de cloruro y sin el uso de mercurio, desarrollaron la tecnología de células de membrana. El proceso fue iniciado por Du Pont con el desarrollo de membranas perfluorosulfónicas (Nafion 324), a través de las cuales fue posible producir comercialmente blanqueador de soda cáustica con un contenido de NaOH del 10% al 20% en peso.

En Japón este tipo de células también tuvo un rápido desarrollo. En 1975, Asahi Glass desarrolló una membrana perfluorocarboxílica capaz de producir un 35% en peso de una solución de soda cáustica.

La primera fábrica en Brasil que utilizó esta tecnología fue una unidad de Aracruz Celulose, en 1981.

### 3.1.3. Métodos de Producción del Hipoclorito de Sodio

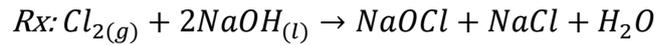
(UNIPAR, 2023) nos que indica la reacción utilizada para obtener el Hipoclorito de Sodio: El cloro gaseoso entra en contacto con una solución acuosa de soda cáustica lo que genera el hipoclorito de sodio, cloruro de sodio y agua.



Este compuesto en estado sólido se encuentra como una sal pentahidratada.

De la misma forma (Ponzano, 2007), nos indica que el NaOCl se produce esencialmente mediante dos métodos: químico y electroquímico:

- **Método químico:** Reacciona el  $Cl_2$  gaseoso con una solución líquida de NaOH.

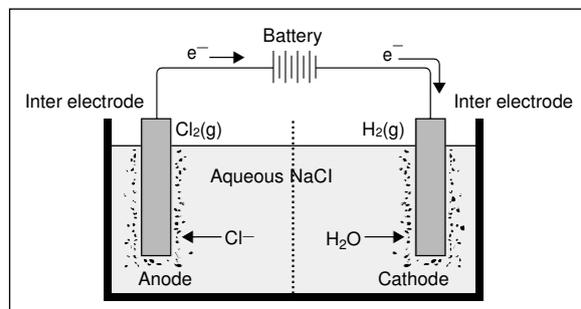


Este método produce soluciones de altas concentraciones de hipoclorito de sodio (NaOCl). Sin embargo, su principal déficit radica en su nivel de pureza y su pobre estabilidad las cuales no satisfacen las características de calidad necesarias para su uso en sectores ajenos al Home Care.

- **Método electroquímico:** A partir de la electrólisis en una celda no dividida de salmuera concentrada (obtenida disolviendo NaCl), formándose una solución alcalina de NaOCl como se muestra en la imagen1 adjunta. Del mismo modo que en la RX química, se forman gases, en este caso el hidrógeno gaseoso. El hipoclorito obtenido por este método se prefiere para el rubro médico y alimenticio, por su elevada pureza y estabilidad.

Además, equipando la celda con electrodos tipo DSA logramos asegurar la mínima presencia de cloratos e impurezas desestabilizadoras de la solución como lo son los sólidos suspendidos, iones metálicos y partículas de grafito

**Gráfica 1. Celda electroquímica de NaCl para producción de Cloro**



FUENTE: Sodium hypochlorite: history, properties, electrochemical production

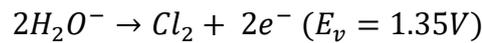
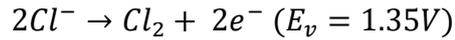
Cuando se forma una solución salina acuosa se generan iones de sodio y

cloro por la rx:



Debido a la diferencia de potencial entre el ánodo y el cátodo en la celda electroquímica, se generan las siguientes rx en los electrodos:

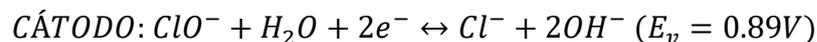
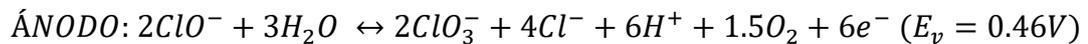
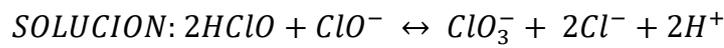
- En el ánodo se pueden generar 2 rx de oxidación:



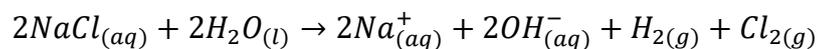
- En el cátodo se genera una rx de reducción:



La formación de cloratos indeseados en la celda electrolítica es posible, ya sea por vía química en la "mayor parte" de la solución o por vía electroquímica tanto en el ánodo como en el cátodo



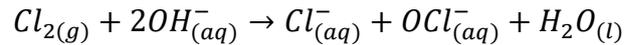
La electrólisis de una solución acuosa de NaCl produce una mezcla de hidrógeno y Cl<sub>2</sub> y una solución acuosa de hidróxido de sodio (NaOH).



En la figura 1, la línea punteada en la celda electrolítica representa un diafragma o una membrana que separa el producto Cl<sub>2</sub> en el ánodo de la celda entre en contacto con la solución rica en sodio (NaOH) que se acumula en la zona del cátodo.

Al unir ambas celdas, los productos de la electrólisis de la solución acuosa de NaCl reaccionan para formar el hipoclorito de sodio (NaOCl), que es el primer paso para producir soluciones blanqueantes a base de NaOCl, que

por hidrólisis producirán ácido hipocloroso (HClO):



La conversión de la sal se puede optimizar haciendo funcionar el sistema de electrólisis con una solución de un nivel óptimo de concentración. Con el sistema patentado empleado en la producción de álcalis concentrado, se obtiene una cantidad óptima del producto utilizando electrodos tipo DSA con recubrimientos electrocatalíticos de óxidos de metales preciosos y con una concentración de salmuera de 180 g/l de NaOCl.

En el caso del NaOCl de nivel alimentario y médico (de la mayor pureza), es necesario optimizar la solución electrolítica, los electrodos y la celda, tanto en cuanto a la superficie como a la distancia entre electrodos.

Las soluciones electrolíticas se preparan disolviendo NaCl puro (grado reactivo) en agua destilada.

Como ánodo, las antiguas células de producción utilizaban grafito; para obtener soluciones para uso médico, los ánodos de las células más recientes se construyen en titanio recubierto de metales preciosos o de capas de óxidos de metales preciosos (Pt, Ir, Ru, Os, etc.)

De hecho, los electrodos de grafito liberan micro y nanopartículas de carbono grafitico las cuales son complejas de eliminar incluso con los más recientes métodos de filtración.

Estas impurezas representan uno de los agentes principales en la inestabilidad del NaOCl, con el cual el hipoclorito de sodio se descompone ya que funcionan como catalizador de reacción a partir de la superficie de estas partículas.

En el caso de ánodos del tipo DSA (como Ti/RuO<sub>2</sub>), la solución resulta

pura, libre de partículas en suspensión y estable durante periodos de tiempo muy largos.

Entre los electrodos más comunes utilizados en celdas electroquímicas para la elaboración de hipoclorito de sodio son:

- Ánodo:
  - Grafito (no recomendado).
  - Titanio con revestimiento de platino (Ti/Pt) (bueno)
  - Titanio con revestimiento de óxido de rutenio (Ti/RuO<sub>2</sub>) (excelente).
- Cátodo:
  - Grafito (no recomendado)
  - Acero inoxidable o níquel (riesgoso)
  - Ti (bueno)
  - Titanio recubierto con óxido de iridio (muy bueno).

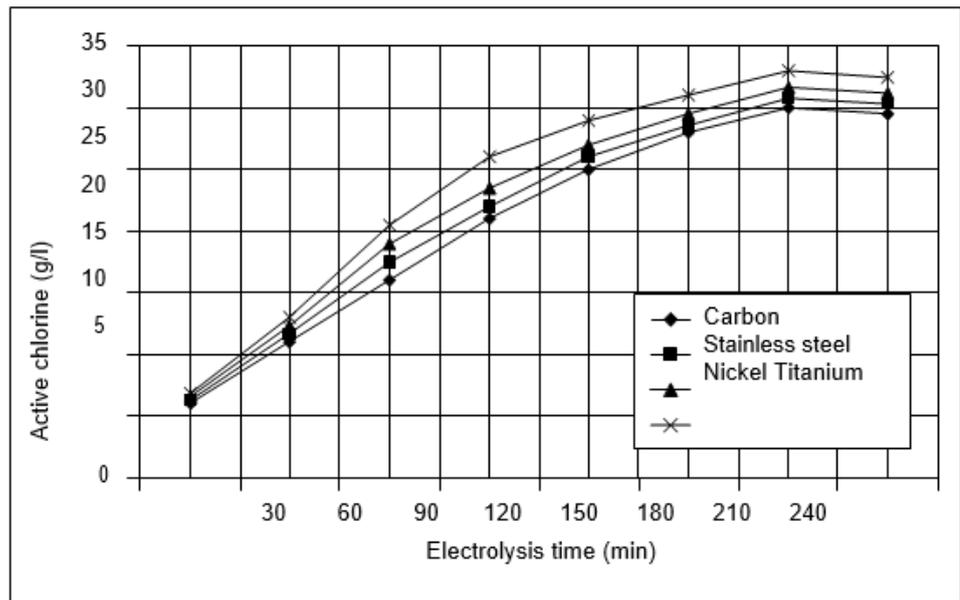
#### **3.1.4. Efectos del tipo de cátodo en la Producción del Hipoclorito de Sodio**

(Ronco & Mishkin, 2007) nos indica que dependiendo del tipo de cátodo existe variación en la producción de Hipoclorito. Los cátodos más usados son: grafito, acero inoxidable, níquel y titanio.

Las figuras 2 y 3 ilustran cómo el cloro activo depende de 2 factores:

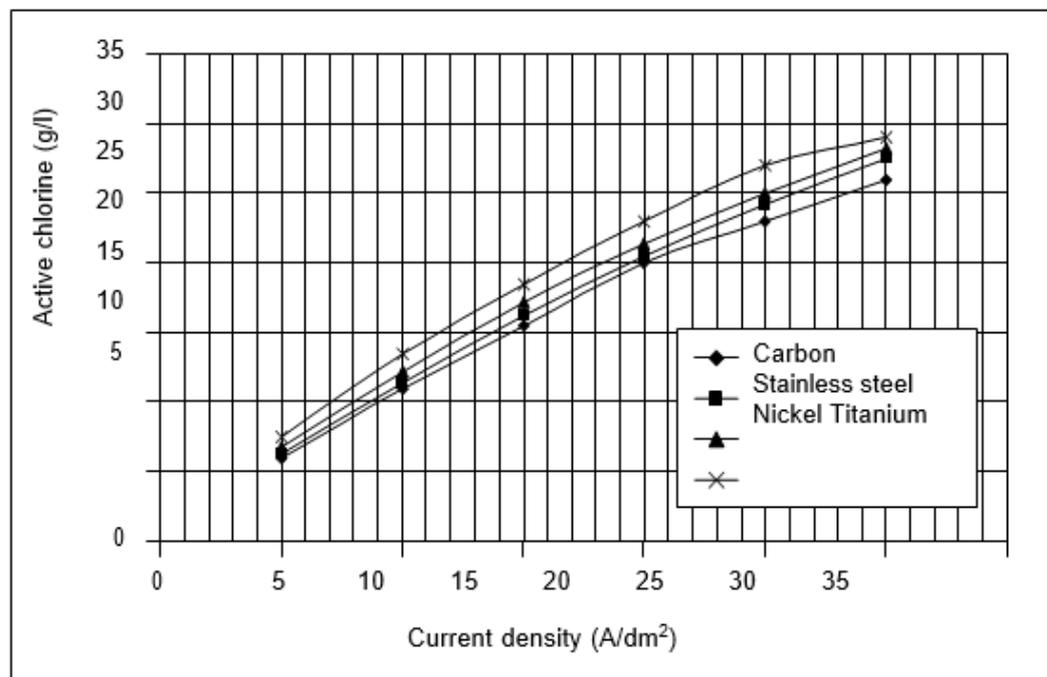
- Tiempo de electrólisis
- Densidad de corriente aplicada, utilizando electrodos DSA de Ti/RuO<sub>2</sub>. como ánodo.

**Gráfica 2. Efecto del tiempo de electrólisis en función del tipo de cátodo**



FUENTE: Disinfection by Sodium Hypochlorite: Dialysis Applications

**Gráfica 3. Efecto de la densidad de corriente en función del tipo de cátodo.**



FUENTE: Disinfection by Sodium Hypochlorite: Dialysis Applications

Las curvas experimentales de cada figura son casi idénticas, lo cual indica poca influencia de la composición del cátodo sobre el cloro activo. Sin

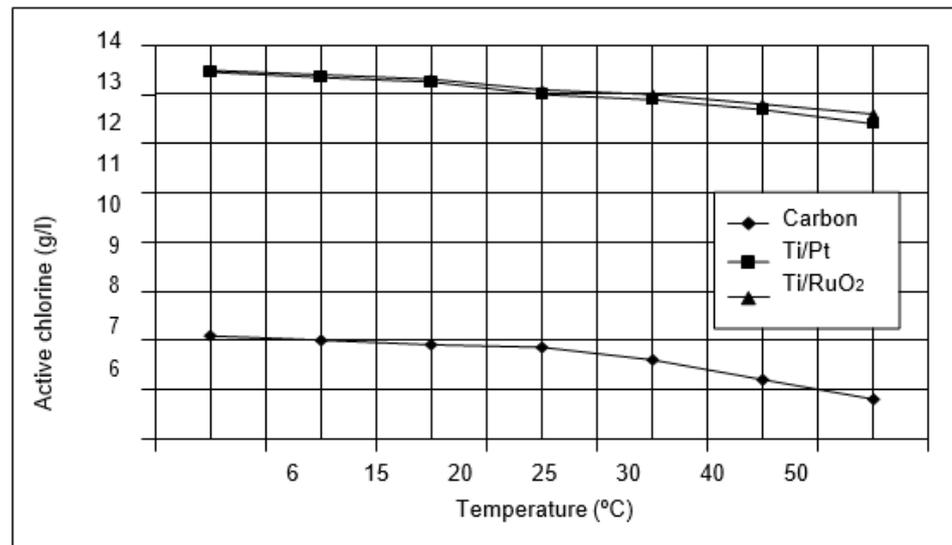
embargo, el futuro del cátodo influye en el comportamiento de la celda, actuando sobre la reacción de reducción de los iones hipoclorito.

De la figura 2 se analiza que el cloro activo se elabora a una velocidad de aproximadamente 0,2 g/l por minuto durante las primeras 2 horas de electrólisis. Después de eso, la velocidad disminuye a cero y la producción se estabiliza en cloro activo de 30 g/l.

### 3.1.5. Efectos del tipo de ánodo en la Producción del Hipoclorito de Sodio

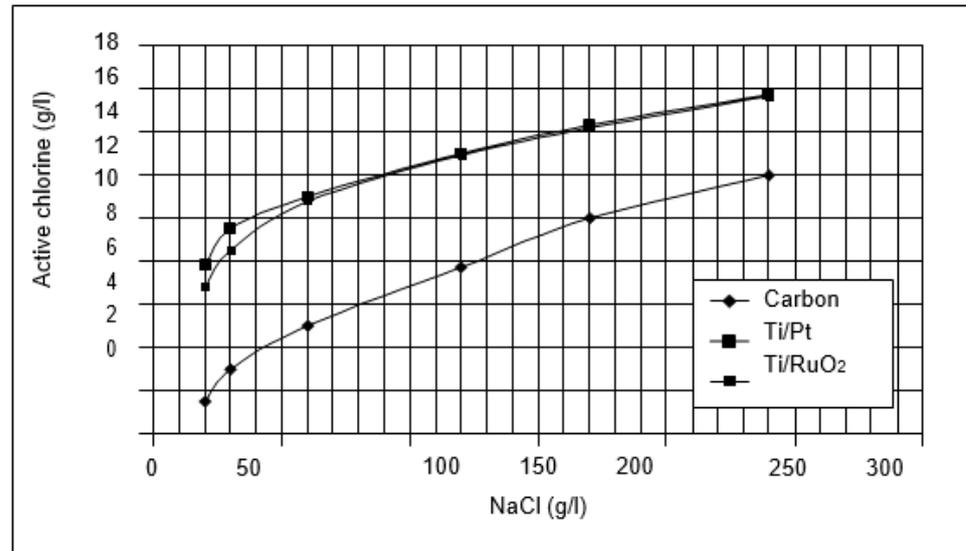
En el caso de los ánodos en celdas de electrólisis para la producción de NaOCl se encuentran el Ti/Pt y Ti/RuO<sub>2</sub>, esto debido a su gran resistencia a la corrosión nos permite utilizarlos con altas densidades de corriente. Las Figuras 4 y 5 reportan su comportamiento durante la electrólisis en comparación con los clásicos ánodos de grafito.

**Gráfica 4. Efecto de la temperatura en función del tipo de ánodo**



FUENTE: Disinfection by Sodium Hypochlorite: Dialysis Applications

**Gráfica 5. Efecto de la concentración de NaCl como función del tipo de ánodo**



FUENTE: Disinfection by Sodium Hypochlorite: Dialysis Applications

### 3.1.6. Efectos de la concentración de electrolito para Producción del Hipoclorito de Sodio

En la figura 5 se observa cómo afecta la producción de cloro activo depende de la concentración del electrolito. Por cada tipo de ánodo tenemos un aumento de cloro activo junto a un aumento en la concentración de electrolito.

En concentraciones superiores a 170 g/l, la concentración de AC tiende a un valor asintótico. El potencial de la celda disminuye al aumentar la concentración de electrolitos en solución, y este aumento es más marcado en el grafito que en otros materiales. Como se observa por el efecto de la temperatura, los ánodos de Ti/Pt y Ti/RuO<sub>2</sub> dan resultados sensiblemente mejores que los del grafito. Sin embargo, se sabe que, para la producción industrial de NaOCl, siempre es apropiado trabajar con salmuera de alta concentración.

### 3.1.7. Calidad del Hipoclorito de Sodio

(Ronco & Mishkin, 2007) refieren que, para categorizar soluciones de hipoclorito de sodio, se requiere validar que no contenga iones metálicos o que sólo posea trazas de iones metálicos tales como el níquel, cobre, hierro o incluso sólidos en suspensión (como el grafito). Sin embargo, no indica los niveles de calidad y los rangos de concentración de metales para pertenecer a cada nivel de calidad.

### 3.2 Propiedades del Hipoclorito de Sodio

Entre sus propiedades fisicoquímicas según Mexichem 2018:

**Tabla 1. Propiedades fisicoquímicas del Hipoclorito de Sodio según Mexichem 2018**

<b>Característica</b>	<b>Descripción</b>
Color	Verdoso
Olor	Dulzaíno ácido
Solubilidad	Se disuelve sin problemas en agua fría. Precaución con agua caliente
pH	Alcalino
Punto de fusión	17.85°C
Punto de ebullición	100.85°C

FUENTE: Mexichem 2018

Por otro lado, tenemos también la Especificación Técnica de Quimpac:

**Tabla 2. Especificación Técnica – Parámetros Químicos del Hipoclorito de Sodio según Quimpac 2023**

<b>PARÁMETROS QUÍMICOS</b>				
<b>Parámetro</b>	<b>Unidades</b>	<b>Mínimo</b>	<b>Máximo</b>	<b>METODO</b>
Hipoclorito de Sodio (como NaOCl)	%w/w	10.4	12.5	LC- HP -01
Cloro disponible (como Cl <sub>2</sub> )	%w/v	11.5	14.4	LC- HP -02
Cloro disponible (como Cl <sub>2</sub> )	g/L	115.4	144.0	LC- HP -02

Soda residual (como NaOH)	%w/w	1.17	1.38	LC- HP -04
Soda residual (como NaOH)	g/L	13.6	16.7	LC- HP -04
Carbonato de Sodio	%w/w	-	1.0	LC- HP -04
Hierro (como Fe)	mg/L	-	2.0	LC- HP -06
Insolubles	%w/w	-	0.15	LC-HP-10

FUENTE: Quimpac 2023

**Tabla 3. Especificación Técnica – Parámetros Físicoquímicos del Hipoclorito de Sodio según Quimpac 2023**

<b>PARÁMETROS FÍSICOS QUÍMICOS</b>				
<b>Parámetro</b>	<b>Unidades</b>	<b>Mínimo</b>	<b>Máximo</b>	<b>METODO</b>
Densidad (a 20°C)	g/mL	1.165	1.210	LC-HP-07
Temperatura	°C	-	25	LC-HP-09
pH	--	12	-	LC-HP-11
Aspecto	Líquido, ligeramente amarillo-verdoso			LC-HP-14

FUENTE: Quimpac 2023

### 3.3 Condiciones de Almacenamiento

(Ronco & Mishkin, 2007) Refieren que la solución industrial de hipoclorito de sodio es inestable y genera cloro con una velocidad que depende del grado de pureza de la solución.

Además, indican que esta descomposición se produce por la exposición a la luz y el calor, el contacto con ácidos y la presencia de iones metálicos principalmente.

El hipoclorito de sodio es un oxidante fuerte; por lo que reacciona fuertemente con productos inflamables y sustancias reductoras.

En conclusión, es una base muy reactiva y capaz de alimentarse y generar combustión peligrosa.

Estas propiedades deben considerarse durante su almacenamiento, transporte y uso.

Debido a la presencia de NaOH en la solución de hipoclorito, el pH de las soluciones alcanza valores superiores a 12.

Cuando el hipoclorito se disuelve en agua formando la lejía comercial, produce dos compuestos similares, que desempeñan un papel importante en su mecanismo desinfectante: El ácido hipocloroso (HOCl) el cual es extremadamente activo y el ion hipoclorito ( $\text{OCl}^-$ ) que es menos activo. El pH de la solución que se produce determina las concentraciones de HOCl y OCl que están presentes.

(Ronco & Mishkin, 2007) comentan que el almacenamiento y manipulación de este producto debe realizarse de forma correcta para así obtener un producto con:

- Baja concentración de cloratos.
- Limitada Descomposición del hipoclorito de sodio.
- Ausencia de depósitos de metales en el fondo de los contenedores, tanques o incluso en bombas, válvulas, tuberías, etc.
- Producción no considerable de oxígeno por descomposición.

De similar forma, (QUIMPAC, 2023) recomienda importantes cuidados a darle al Hipoclorito de Sodio Concentrado:

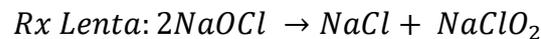
- El NaOCl es una solución inestable que se descompone por la acción de impurezas metálicas como hierro, níquel, cobalto y cobre, temperatura, pH y la luz, el producto se debe proteger de estos factores.
- Se debe almacenar en área con excelente ventilación, protegida de la acción de la luz solar y de fuentes térmicas. Mantener cerrado

- los recipientes.
- No se debe almacenar con sustancias incompatibles como ácidos y productos orgánicos.
  - Los envases deben estar debidamente identificados.
  - El piso debe ser incombustible e impermeable.
  - Se debe disponer de duchas con fuente lavajos y tomas de agua en sitios de fácil acceso dentro del área.

### 3.4. Mecanismo de Degradación y Estabilidad del Hipoclorito de Sodio

Tanto (Garcia, 2017) como (Groot, 1991) indican que la descomposición del hipoclorito de sodio industrial (con concentraciones elevadas mayores al 10%) ocurre en 2 direcciones:

- Formación de clorato de sodio: Se produce por 2 reacciones



- Formación de Oxígeno en gas



Es justamente este gas lo que genera el hinchamiento de las botellas que será nuestro foco de estudio.

### 3.5 Condiciones que aceleran la degradación del Hipoclorito de Sodio

(Groot, 1991) declara que hay 3 condiciones que aceleran la descomposición del hipoclorito de sodio:

- pH de la Solución: Las soluciones diluidas de hipoclorito son más estables a pH 13 y menos estables a pH 6,7. Por este motivo, las soluciones de hipoclorito de sodio normalmente se estabilizan añadiendo una solución de

NaOH libre.

- Temperatura de almacenamiento: Dependiendo de la temperatura de almacenamiento la degradación se ve acelerada o ralentizada. A mayor temperatura la degradación se acelera mientras que a temperaturas cercanas al 0°C la degradación disminuye.
- Metales Presentes en la Solución: Los problemas de liberación de gases (hinchamiento) se incrementan cuando la solución de hipoclorito está expuesta a metales catalizadores como el hierro (Fe), Niquel (Ni), Cobalto (Co) y Cu (Cobre).

Del mismo modo, (Garcia, 2017) señala que existen otras condiciones a tomar en consideración a fin de evitar la degradación del hipoclorito de sodio:

- Sólidos Suspendidos: Usualmente los sólidos se obtienen del agua con la que se diluye el hipoclorito para formar la lejía comercial. Los sólidos suspendidos en el producto no son normalmente visibles. Durante el tiempo de almacenamiento y el bombeo del producto, estos sólidos suspendidos se precipitarán en el tanque, bombas, tuberías y válvulas e instrumentos por lo que es importante garantizar un adecuado mantenimiento de los equipos, que evite la acumulación y arrastre de estos sólidos, adicionalmente garantizar un proceso de filtración que permita retirar las impurezas presentes.

(Ponzano, 2007) nos explica su postura con respecto a los factores que afectan la descomposición del hipoclorito de sodio:

- Concentración de Hipoclorito: Tiene una relación inversamente proporcional con la velocidad de descomposición, es decir, a mayor

concentración, más rápida será la descomposición y, a menor concentración, más lenta será la descomposición (o, en otras palabras, más estable)

### **3.6. Método para la determinación de la concentración de Hipoclorito de Sodio**

Para la determinación de concentración de Hipoclorito se utilizó la NTP 311.602. En (INACAL, 2018), se encuentra el siguiente procedimiento

- Preparación de la muestra:

Tomar 10 mL de la lejía comercial y trasvasar en una fiola de 250 mL, diluyendo con agua destilada y con agitación constante.

- Procedimiento de análisis:

Tomar 25 mL de la dilución preparada en el paso anterior. En caso de no contar con fiola, pesar aproximadamente 1 g  $\pm$  0,1 mg del hipoclorito de sodio concentrado. Adicionar 50 mL de agua, 2 g aproximadamente de yoduro de potasio o su equivalente 35 mL de solución de KI al 5% w/v, acidificar con aproximadamente 10 mL de ácido acético glacial o 10 ml de HCl 1 N.

Titular con solución valorada de 0,1N de tiosulfato de sodio hasta obtener un color amarillo tenue, en este punto adicionar aproximadamente 1 mL de solución de almidón y continuar con la titulación hasta que el color azul desaparezca totalmente y la solución quede incolora, anotar gasto (G)

- Cálculos:

- Para la Concentración hipoclorito de sodio con pesaje directo

$$\text{NaClO (\%w/w)} = G \times 0,3722/W$$

Donde:

G = Volumen de la solución de tiosulfato de sodio 0,10 N, en mL

W = Peso de la muestra en gramos

- Determinación de concentración de hipoclorito de sodio con pesaje directo

$$\text{NaClO (\%w/w)} = G \times 0,3722/\rho$$

Donde:

G = Volumen de la solución de tiosulfato de sodio 0,10 N, en mL

$\rho$  = Densidad de la muestra, en g/mL

## **CAPÍTULO 4. METODOLOGIA DE LA INVESTIGACION**

### **4.1. TIPO DE INVESTIGACION**

Tomando como base el libro “Metodología de la Investigación” de (Sampieri, 2014), el tipo de investigación será del tipo experimental que se abordará desde el análisis químico cuantitativo y la estadística y posee un nivel IV ANÁLISIS, según taxonomía de BLOOM

Utilizaremos el análisis químico cuantitativo para determinar en laboratorio la concentración de hipoclorito a lo largo de la prueba de estabilidad tanto para nuestro patrón como nuestras iteraciones adicionando EDTA. De la misma forma, utilizaremos la estadística para determinar la mejor iteración de adición de EDTA para capturar a los iones metálicos libres en la lejía.

### **4.2. DISEÑO DE INVESTIGACION**

Para la tesis se ha diseñado un estudio en el que se utilizará Lejía formulada al 4 %, es decir, se utilizará 4 % de hipoclorito de sodio y 96% de agua destilada. El hipoclorito de sodio utilizado es de la empresa Quimpac y posee una concentración del 12% el cual se diluirá con agua blanda clorinada a 20 ppm.

Se fabricaron nueve batchs de hipoclorito de sodio al 4% con EDTA en las siguientes concentraciones: 0.05%, 0.1%, 0.15%, 0.2%, 0.25%, 0.30%, 0.35% y 0.40%. Se tomaron las respectivas muestras para comparar la degradación del hipoclorito de sodio evaluando la concentración de Hipoclorito de Sodio disponible a lo largo de los 3 meses de estudio

Obteniendo las siguientes iteraciones:

**Tabla 4. Iteraciones de Batch Producidos**

<b>ITERACION</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>
Muestra 1	Lejía 4%
Muestra 2	Lejía 4% + 0.05% EDTA
Muestra 3	Lejía 4% + 0.10% EDTA
Muestra 4	Lejía 4% + 0.15% EDTA
Muestra 5	Lejía 4% + 0.20% EDTA
Muestra 6	Lejía 4% + 0.25% EDTA
Muestra 7	Lejía 4% + 0.30% EDTA
Muestra 8	Lejía 4% + 0.35% EDTA
Muestra 9	Lejía 4% + 0.40% EDTA

FUENTE: Creación Propia

Las muestras fueron expuestas a las siguientes temperaturas  $25^{\circ}\text{C} \pm 1$ ,  $37^{\circ}\text{C} \pm 1$  y  $50^{\circ}\text{C} \pm 1$ ; utilizando incubadoras, que fueron calibrados previo al estudio.

### **4.3. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCION DE DATOS**

Se ejecutará una toma de muestra para proceder con los análisis químicos cuantitativos de la concentración de Hipoclorito de Sodio de forma quincenal iniciando el 19 agosto del 2023 y terminando el 18 noviembre del 2023 con los que se generarán una tabla de datos.

#### **4.3.1. Recursos requeridos para la toma de muestra**

##### Recursos Humanos

- Tesista: Renzo Rojas Sarmiento
- Asesor: Raymundo Erazo Erazo

##### Materiales

- Incubadoras a  $50^{\circ}\text{C}$  y  $37^{\circ}\text{C}$
- Balanza analítica con precisión de 0,1 mg.
- Matraz Erlenmeyer de 250 mL o 300 mL.

- Bureta de 50 mL clase A graduada en 0,1 mL.
- Pipeta volumétrica de 10 mL , clase A.
- Frascos volumétrico de 250 mL , clase A.
- Probeta de 250 mL de capacidad.
- Agua destilada o desmineralizada.
- Ácido acético glacial o ácido clorhídrico 1 N.
- Yoduro de potasio en cristales, libre de yodato o en solución al 5 % m/v.
- Tiosulfato de sodio 0,1 N.
- Solución indicadora de almidón al 0,5 % m/v.

#### **4.4. Procesamiento Estadístico de Datos**

- Se ejecutará un análisis de varianza factorial y se evaluará el efecto del factor %Concentración de Hipoclorito a un nivel de significancia alfa = 0.05 el cual indica si hay diferencias en la varianza de los grupos.

- Para determinar que tratamiento difiere del lote sin EDTA se comparó por medio de la prueba de Dunnett.

- A lo largo del estudio de estabilidad del Hipoclorito de Sodio se realizó una prueba de hipótesis binomial para cada aspecto evaluado:

- $H_0: \mu \text{ control sin EDTA} = \mu \text{ con tratamiento.}$

$H_a: \mu \text{ control sin EDTA} \neq \mu \text{ con tratamiento}$

- Para poder rechazar la  $H_0$  a un nivel de error  $\alpha=0.05$ , la concentración del tratamiento sin EDTA debe ser menor que la media con tratamiento

#### **4.1 DEFINICION DE LAS VARIABLES DE ESTUDIO**

- Objetos de estudio: Lejía comercial producida por Hipoclorito de Sodio concentrado al 12 % de QUIMPAC y agua blanda.
- Variables para analizar:
  - Variable dependiente: Concentración de Hipoclorito de Sodio, unidad en g/mol, método de análisis de titulación yodométrica bajo la NTP 311.602 2018
  - Variables independientes: Concentración de metales, unidad en g/mol, método de análisis por inspección visual de hinchamiento de botellas.

#### **4.2 POBLACION**

- Población: Soluciones a base de hipoclorito de sodio al 4 % y 96 % de agua blanda.

#### **4.3 MUESTRA**

- Muestra: Se analizará 9 muestras por triplicado, las muestras son las siguientes:
  - Lejía 4 %
  - Lejía 4 % + 0.05 % EDTA
  - Lejía 4 % + 0.10 % EDTA
  - Lejía 4 % + 0.15 % EDTA

- Lejía 4% + 0.20% EDTA
- Lejía 4 % + 0.25 % EDTA
- Lejía 4 % + 0.30 % EDTA
- Lejía 4 % + 0.35 % EDTA
- Lejía 4 % + 0.40 % EDTA

## CAPITULO 5. ANALISIS DE RESULTADOS

Se ejecutó el análisis de concentración de Hipoclorito a las 9 iteraciones a 4 condiciones diferentes, obteniéndose las tablas siguientes:

**Tabla 5. Concentración de Hipoclorito de Sodio en función al tiempo a 50 °C**

N°	ESTABILIDAD	19-Aug	3-Sep	18-Sep	3-Oct	18-Oct	2-Nov	18-Nov
I1	Lejía 4%	3.976	3.629	3.341	3.012	2.628	2.299	2.011
I2	Lejía 4% + 0.05% EDTA	3.976	3.615	3.338	2.991	2.657	2.323	2.105
I3	Lejía 4% + 0.10% EDTA	3.976	3.595	3.292	3.020	2.621	2.285	2.084
I4	Lejía 4% + 0.15% EDTA	3.976	3.642	3.356	3.102	2.715	2.465	2.128
I5	Lejía 4% + 0.20% EDTA	3.976	3.662	3.324	3.121	2.784	2.552	2.209
I6	Lejía 4% + 0.25% EDTA	3.976	3.665	3.318	3.140	2.884	2.606	2.281
I7	Lejía 4% + 0.30% EDTA	3.976	3.659	3.301	3.109	2.815	2.590	2.270
I8	Lejía 4% + 0.35% EDTA	3.976	3.609	3.251	3.078	2.598	2.297	2.064
I9	Lejía 4% + 0.40% EDTA	3.976	3.598	3.236	2.975	2.658	2.368	2.092

FUENTE: Desarrollo propio en un laboratorio de calidad de una empresa productora de Lejía

**Tabla 6. Concentración de Hipoclorito de Sodio en función al tiempo  
a 37 °C**

N°	ESTABILIDAD	19-Aug	3-Sep	18-Sep	3-Oct	18-Oct	2-Nov	18-Nov
I1	Lejía 4%	3.976	3.769	3.575	3.372	3.165	2.941	2.718
I2	Lejía 4% + 0.05% EDTA	3.976	3.762	3.561	3.363	3.162	2.948	2.749
I3	Lejía 4% + 0.10% EDTA	3.976	3.742	3.533	3.327	3.117	2.914	2.724
I4	Lejía 4% + 0.15% EDTA	3.976	3.747	3.544	3.339	3.098	2.899	2.733
I5	Lejía 4% + 0.20% EDTA	3.976	3.765	3.571	3.355	3.139	2.945	2.757
I6	Lejía 4% + 0.25% EDTA	3.976	3.781	3.588	3.389	3.188	2.987	2.789
I7	Lejía 4% + 0.30% EDTA	3.976	3.768	3.556	3.351	3.169	2.954	2.745
I8	Lejía 4% + 0.35% EDTA	3.976	3.761	3.562	3.364	3.152	2.932	2.711
I9	Lejía 4% + 0.40% EDTA	3.976	3.750	3.563	3.359	3.152	2.948	2.724

FUENTE: Desarrollo propio en un laboratorio de calidad de una empresa productora de Lejía

**Tabla 7. Concentración de Hipoclorito de Sodio en función al tiempo  
a 5°C**

N°	ESTABILIDAD	19-Aug	3-Sep	18-Sep	3-Oct	18-Oct	2-Nov	18-Nov
I1	Lejía 4%	3.976	3.803	3.720	3.602	3.475	3.386	3.313
I2	Lejía 4% + 0.05% EDTA	3.976	3.824	3.725	3.617	3.489	3.405	3.329
I3	Lejía 4% + 0.10% EDTA	3.976	3.847	3.734	3.624	3.501	3.414	3.342
I4	Lejía 4% + 0.15% EDTA	3.976	3.814	3.716	3.611	3.485	3.398	3.321
I5	Lejía 4% + 0.20% EDTA	3.976	3.834	3.729	3.630	3.492	3.405	3.338
I6	Lejía 4% + 0.25% EDTA	3.976	3.852	3.749	3.663	3.536	3.451	3.365
I7	Lejía 4% + 0.30% EDTA	3.976	3.849	3.741	3.648	3.499	3.424	3.351
I8	Lejía 4% + 0.35% EDTA	3.976	3.848	3.744	3.638	3.521	3.432	3.349
I9	Lejía 4% + 0.40% EDTA	3.976	3.840	3.734	3.628	3.487	3.392	3.334

FUENTE: Desarrollo propio en un laboratorio de calidad de una empresa productora de Lejía

**Tabla 8. Concentración de Hipoclorito de Sodio en función al tiempo  
a Temperatura ambiente**

N°	ESTABILIDAD	19-Aug	3-Sep	18-Sep	3-Oct	18-Oct	2-Nov	18-Nov
I1	Lejía 4%	3.976	3.821	3.638	3.482	3.306	3.153	2.969
I2	Lejía 4% + 0.05% EDTA	3.976	3.821	3.644	3.466	3.305	3.122	2.973
I3	Lejía 4% + 0.10% EDTA	3.976	3.807	3.634	3.476	3.321	3.147	2.982
I4	Lejía 4% + 0.15% EDTA	3.976	3.815	3.634	3.452	3.299	3.131	2.975
I5	Lejía 4% + 0.20% EDTA	3.976	3.816	3.651	3.483	3.318	3.135	2.962
I6	Lejía 4% + 0.25% EDTA	3.976	3.793	3.622	3.449	3.275	3.112	2.993
I7	Lejía 4% + 0.30% EDTA	3.976	3.808	3.634	3.467	3.298	3.115	2.978
I8	Lejía 4% + 0.35% EDTA	3.976	3.816	3.657	3.475	3.293	3.114	2.965
I9	Lejía 4% + 0.40% EDTA	3.976	3.804	3.646	3.464	3.305	3.136	2.974

FUENTE: Desarrollo propio en un laboratorio de calidad de una empresa productora de Lejía

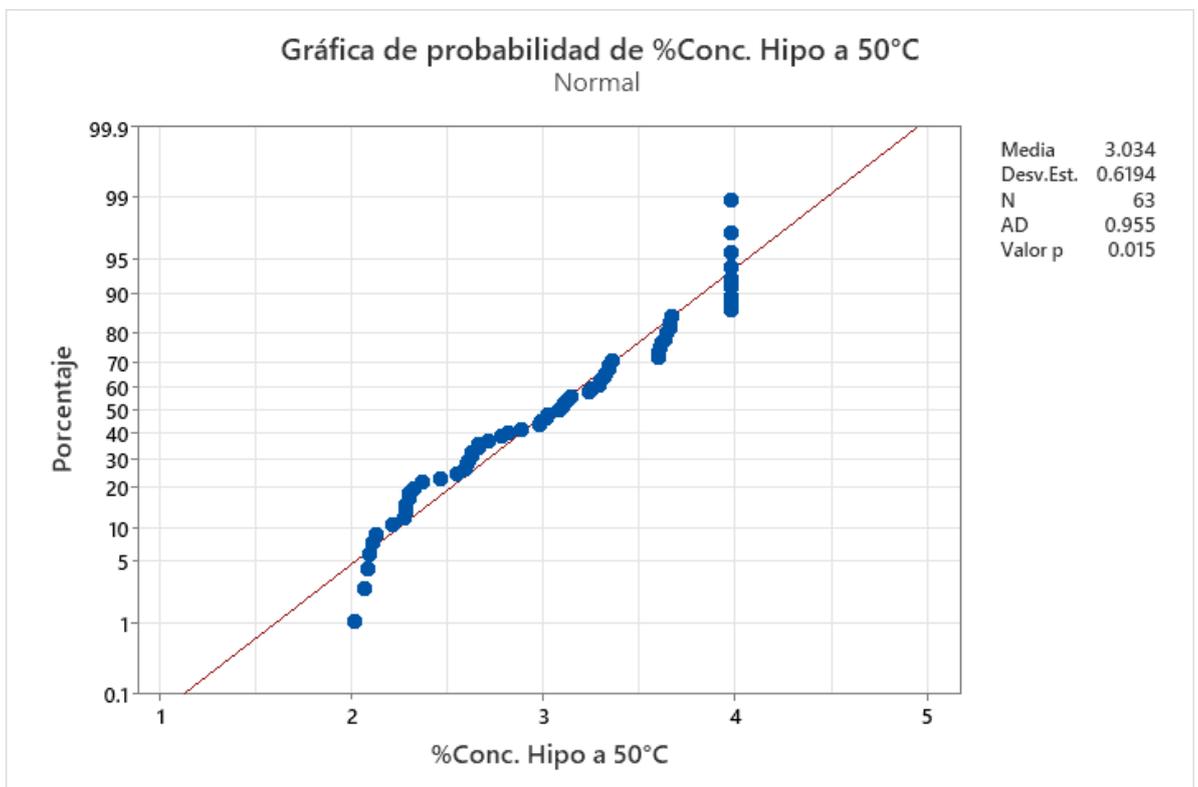
## CAPITULO 6. DISCUSION DE RESULTADOS

De las tablas obtenidas se encuentra que a temperaturas menores el hipoclorito se mantiene en mayor estabilidad que en temperaturas elevadas.

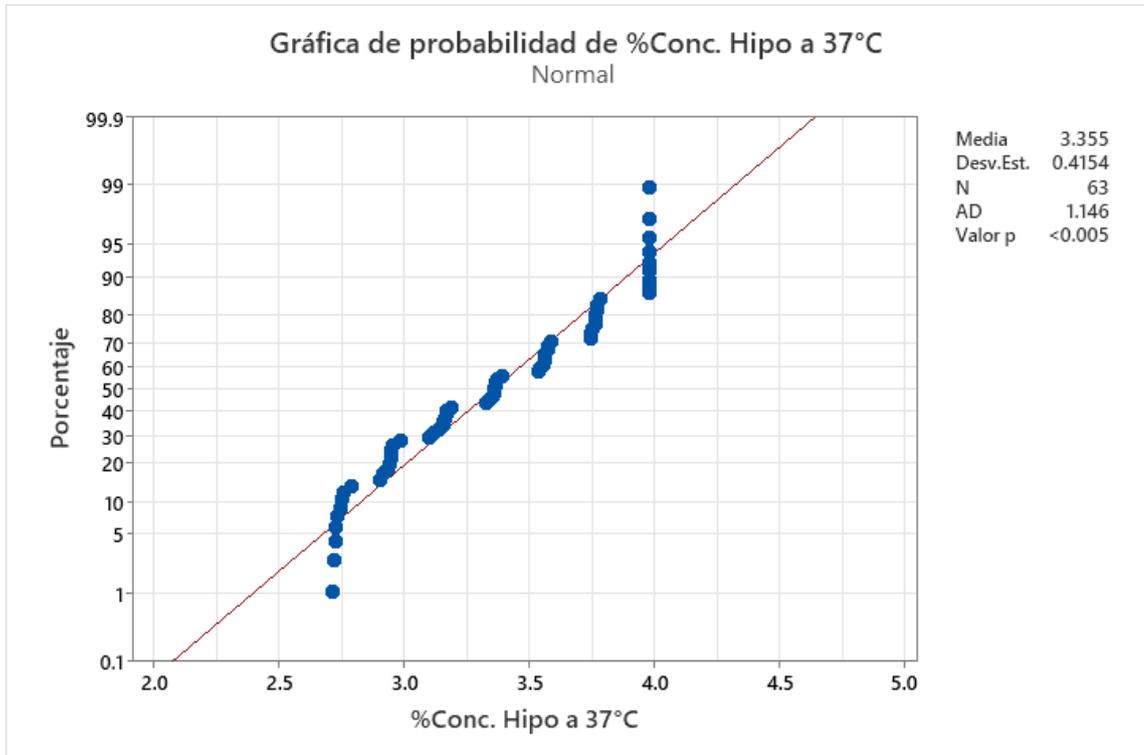
Del mismo modo nos indicaba (Ponzano, 2007) en su trabajo “Sodium Hypochlorite: History, Properties, Electrochemical Production”, en donde concluye que la temperatura de almacenaje es una variable inversamente proporcional a la concentración de hipoclorito.

Se ejecutan las gráficas de Normalidad a la data recopilada en cada condición para verificar el grado de significancia y determinar si la hipótesis nula es falsa.

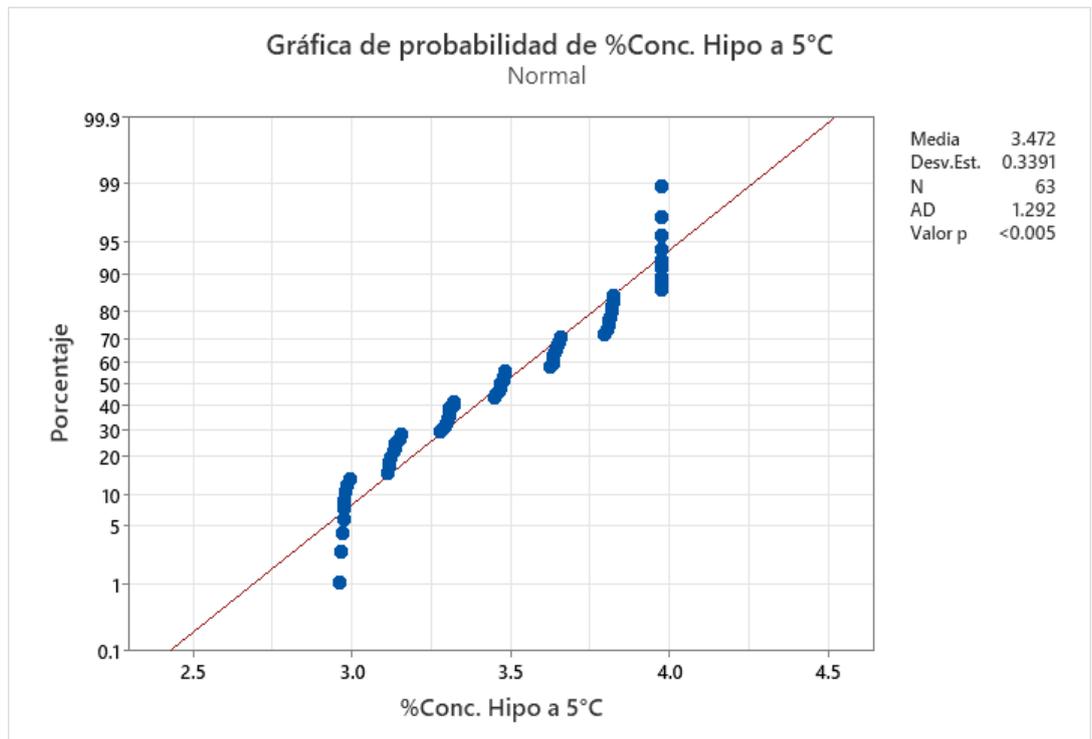
**Gráfica 6. Gráfica de Normalidad a Temperatura 50°C**



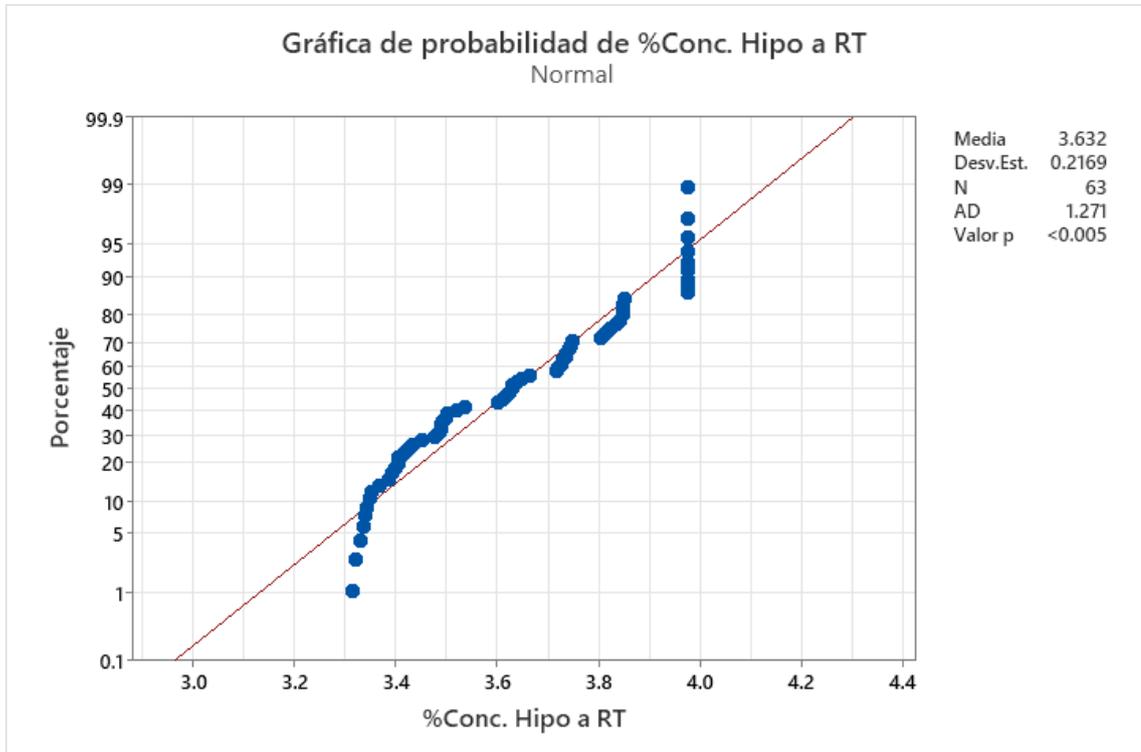
**Gráfica 7. Gráfica de Normalidad a Temperatura 37°C**



**Gráfica 8. Gráfica de Normalidad a Temperatura a Temperatura Ambiente**



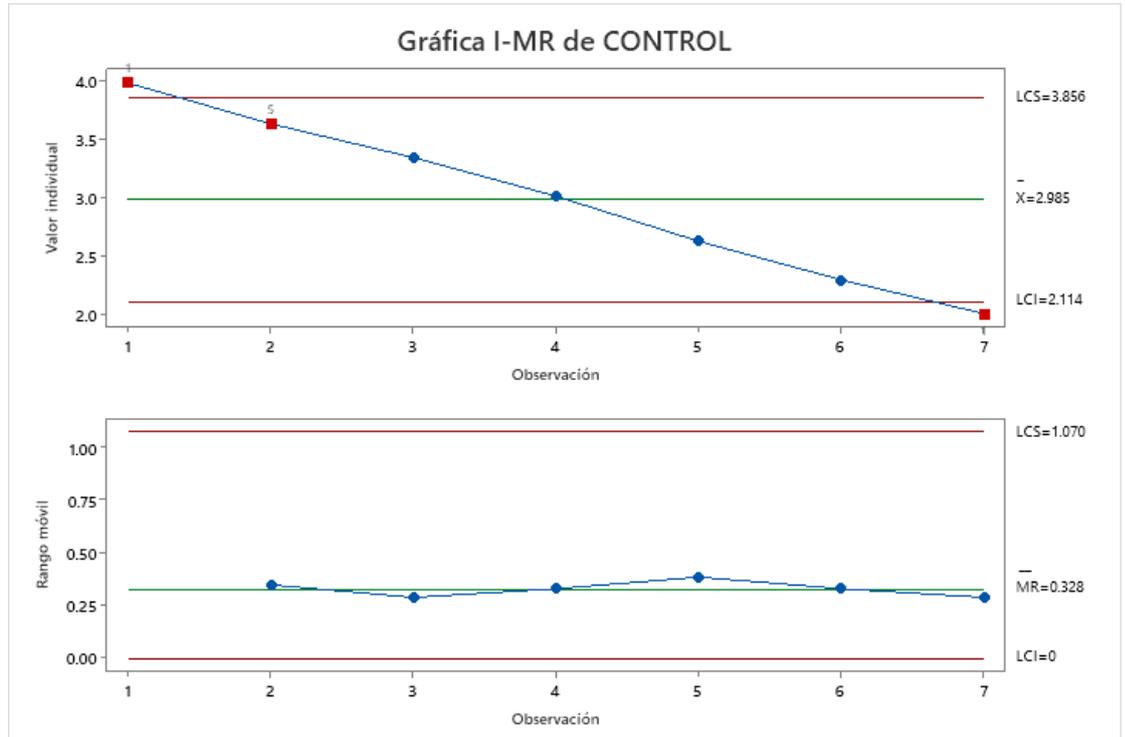
**Gráfica 9. Gráfica de Normalidad a 5°C**



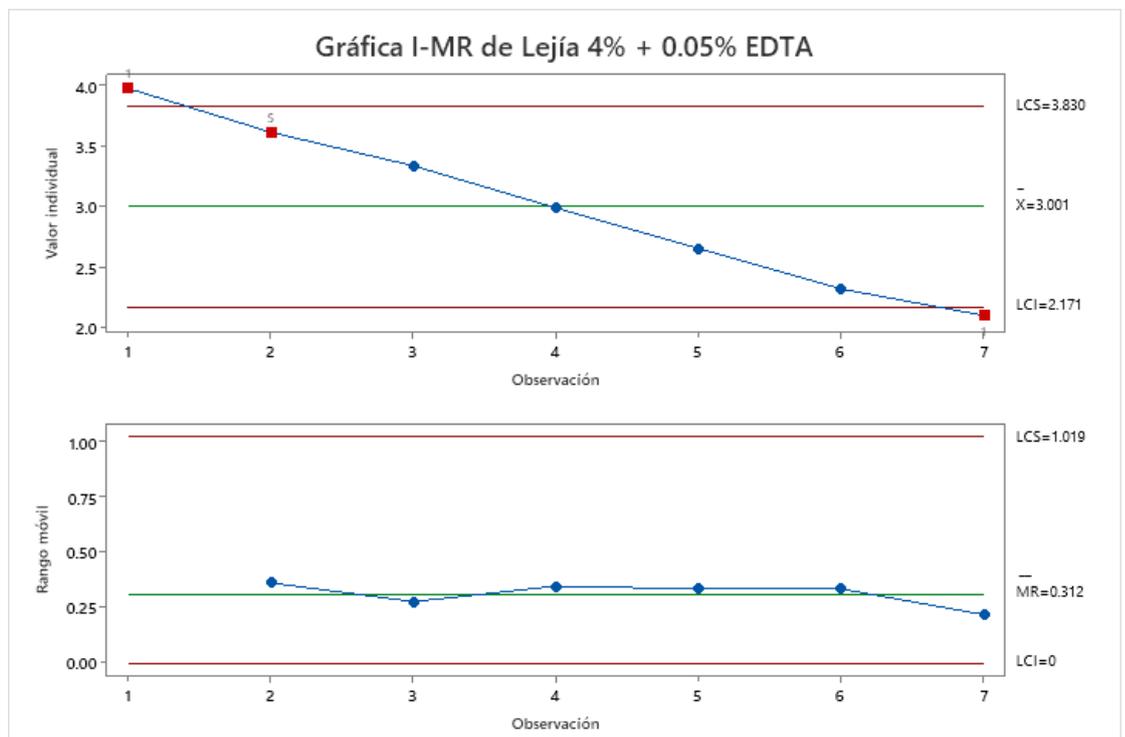
En todos los casos el p-value es  $< 0.05$  por lo que los datos no siguen una distribución normal y rechazamos la hipótesis nula.

Ahora se procede con ejecutar gráficas del tipo I-MR para comparar la caída de los rangos a temperatura 50°C a fin de evaluar la que tuvo la menor caída en donde se detecta que la menor caída graficada fue, al igual que en el resto de ambientes, la muestra tratada con 0.25% de EDTA. Este resultado es similar al obtenido por (Barrios Morales, 2019) en su tesis “ESTUDIO DE LA ESTABILIDAD DE LA SOLUCIÓN DE HIPOCLORITO DE SODIO AL 3.5% ADICIONANDOLE UN QUELANTE A SU COMPOSICIÓN” donde concluye que la adición de EDTA a concentración 0.25% logra reducir la descomposición de hipoclorito de sodio en lejía al 3.5% de concentración de agente activo.

**Gráfica 10. Gráfica de descomposición de NaOCl en muestra I1, muestra de Control (sin adición de EDTA)**

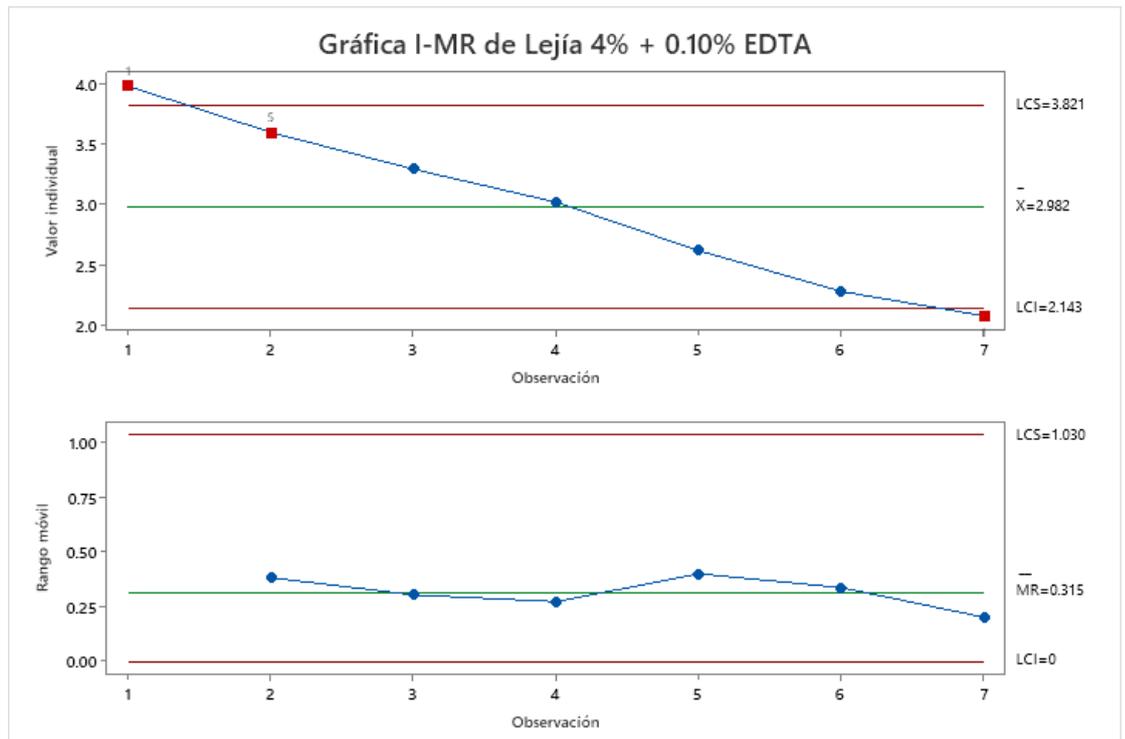


**Gráfica 11. Gráfica de descomposición de NaOCl en muestra I2 (con adición de 0.05% de EDTA)**

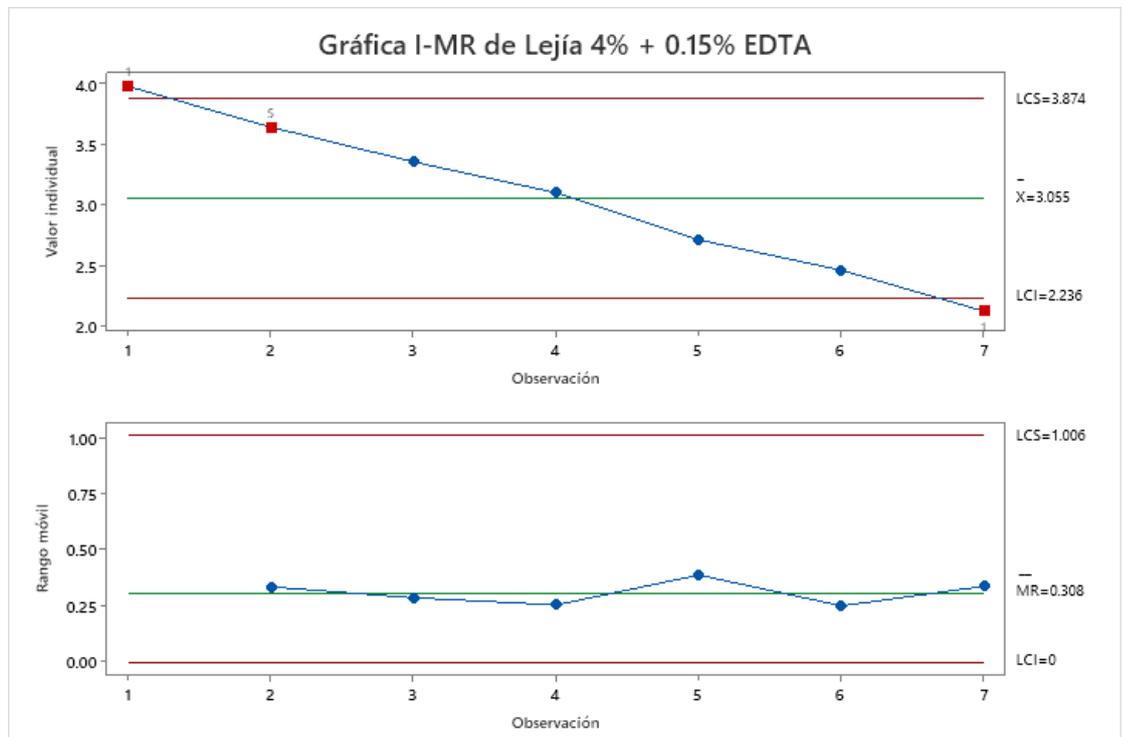


**Gráfica 12. Gráfica de descomposición de NaOCl en muestra I3 (con**

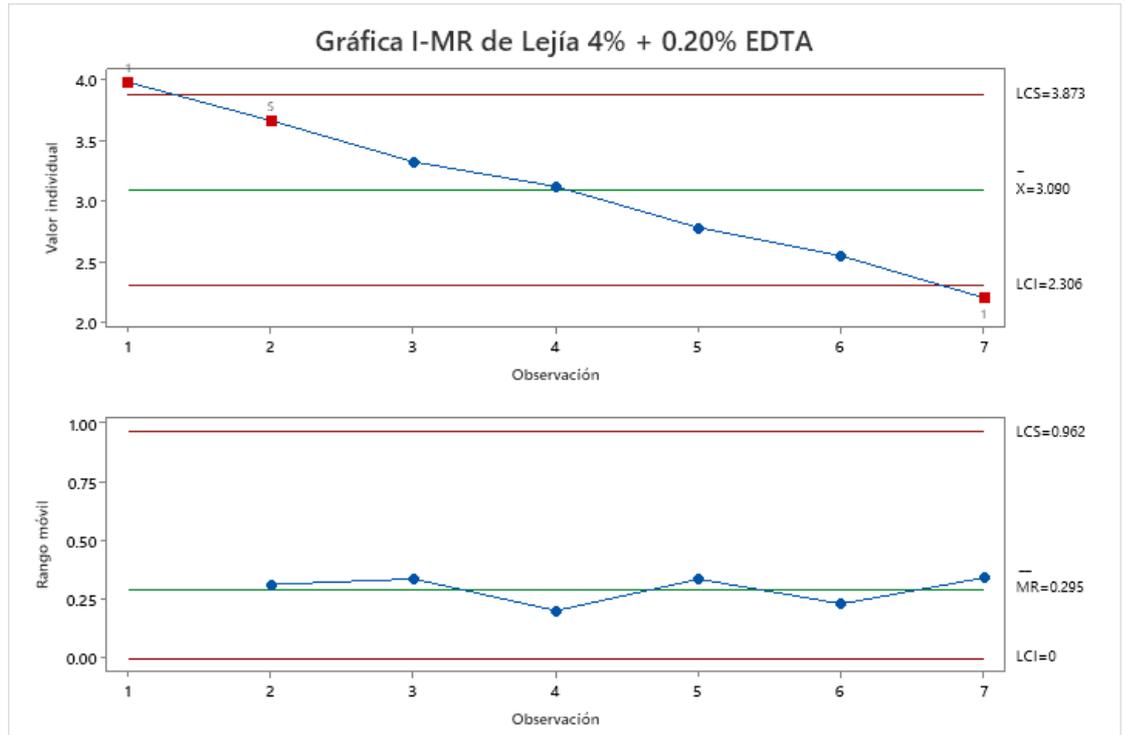
adición de 0.10% de EDTA)



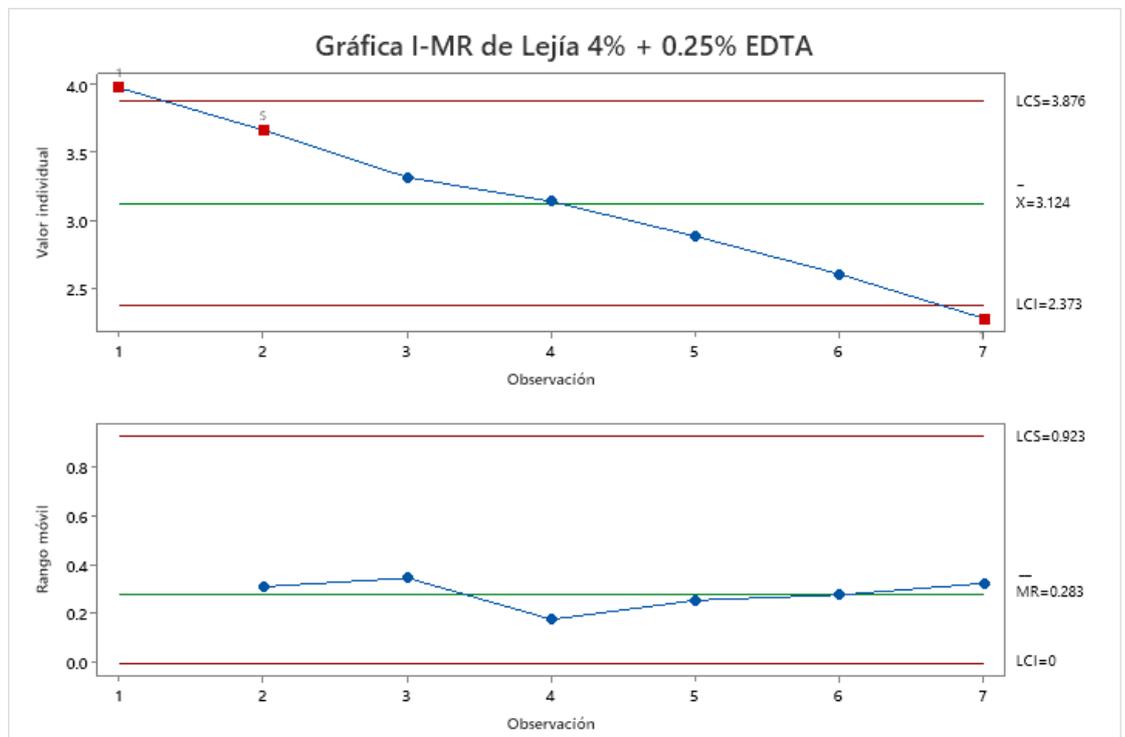
**Gráfica 13. Gráfica de descomposición de NaOCl en muestra I4 (con adición de 0.15% de EDTA)**



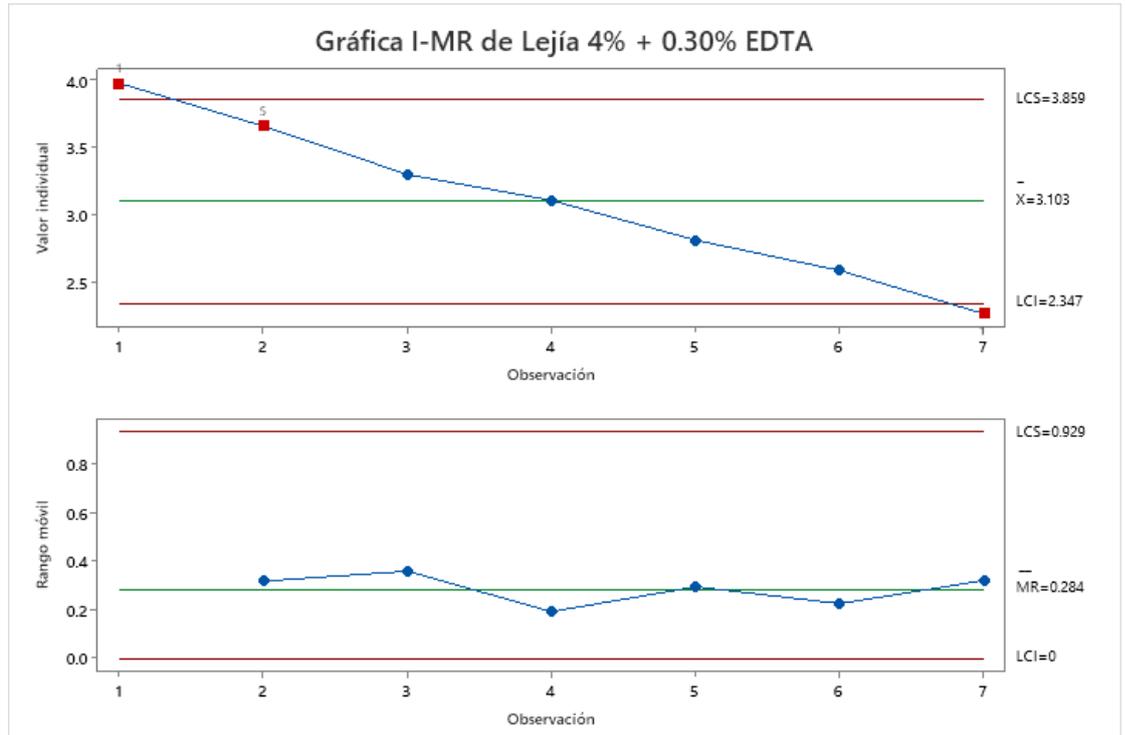
**Gráfica 14. Gráfica de descomposición de NaOCl en muestra I5 (con adición de 0.20% de EDTA)**



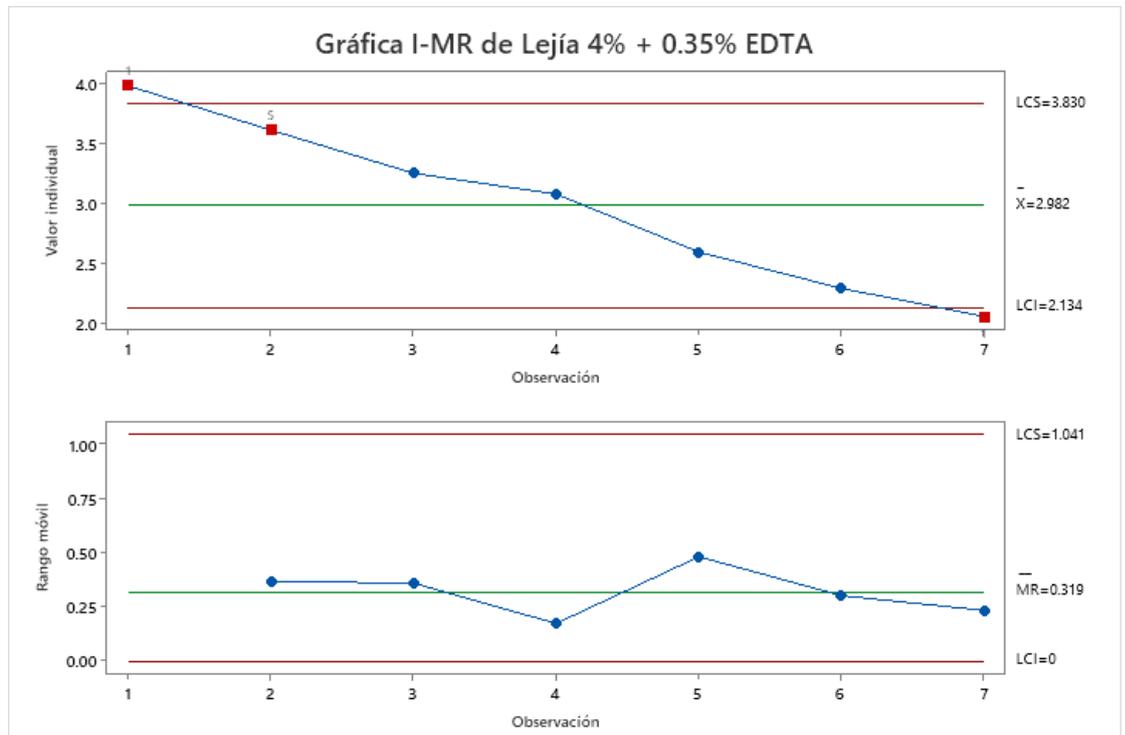
**Gráfica 15. Gráfica de descomposición de NaOCl en muestra I6 (con adición de 0.25% de EDTA)**



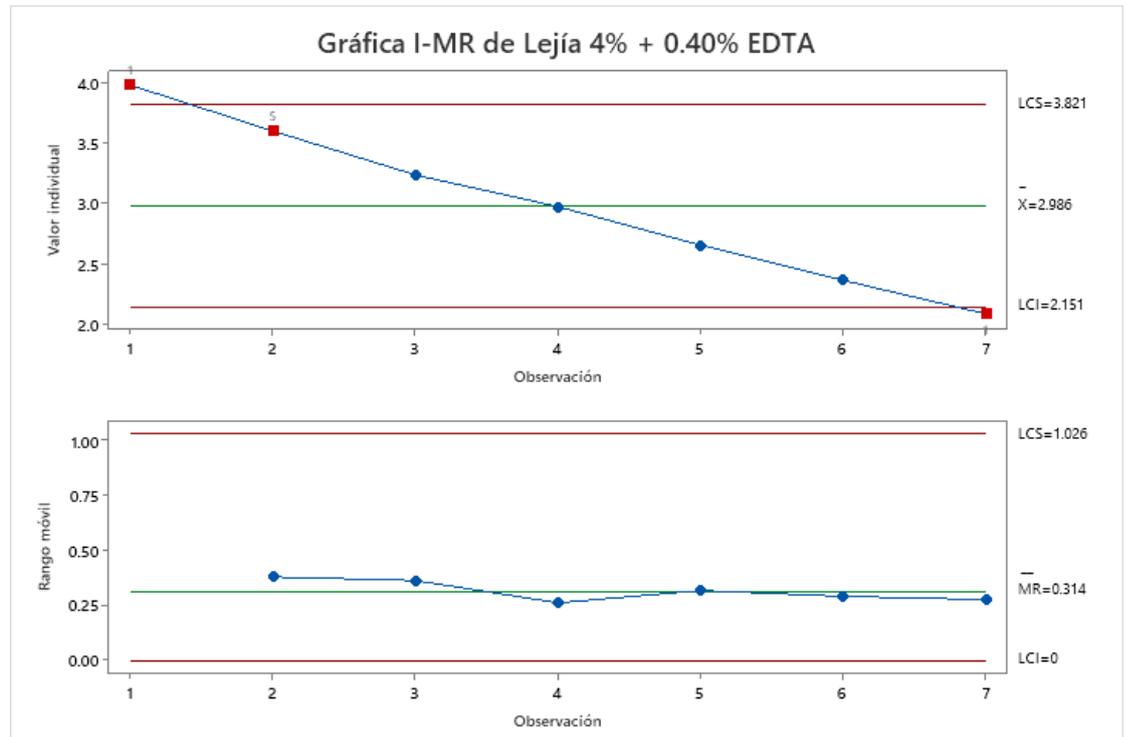
**Gráfica 16. Gráfica de descomposición de NaOCl en muestra I7 (con adición de 0.30% de EDTA)**



**Gráfica 17. Gráfica de descomposición de NaOCl en muestra I8 (con adición de 0.35% de EDTA)**



**Gráfica 18. Gráfica de descomposición de NaOCl en muestra I9 (con adición de 0.40% de EDTA)**



Se observa que la curva con menor caída de rango y por ende menor caída de concentración de hipoclorito es la muestra con adición de 0.25% de EDTA en el set de muestras tratadas a temperatura 50°C.

Finalmente, proseguimos ejecutando la prueba de Dunnett para comparar nuestro CONTROL, el cual será la iteración de lejía al 4 %.

### Método

Hipótesis nula	Todas las medias son iguales
Hipótesis alterna	No todas las medias son iguales
Nivel de significancia	$\alpha = 0.05$

*Se presupuso igualdad de varianzas para el análisis.*

### Información del factor

Factor	Niveles	Valores
--------	---------	---------

Factor 7 T1; T2; T3; T4;  
T5; T6; T7

### Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Factor	6	23.4402	3.90670	637.42	0.000
Error	56	0.3432	0.00613		
Total	62	23.7834			

### Resumen del modelo

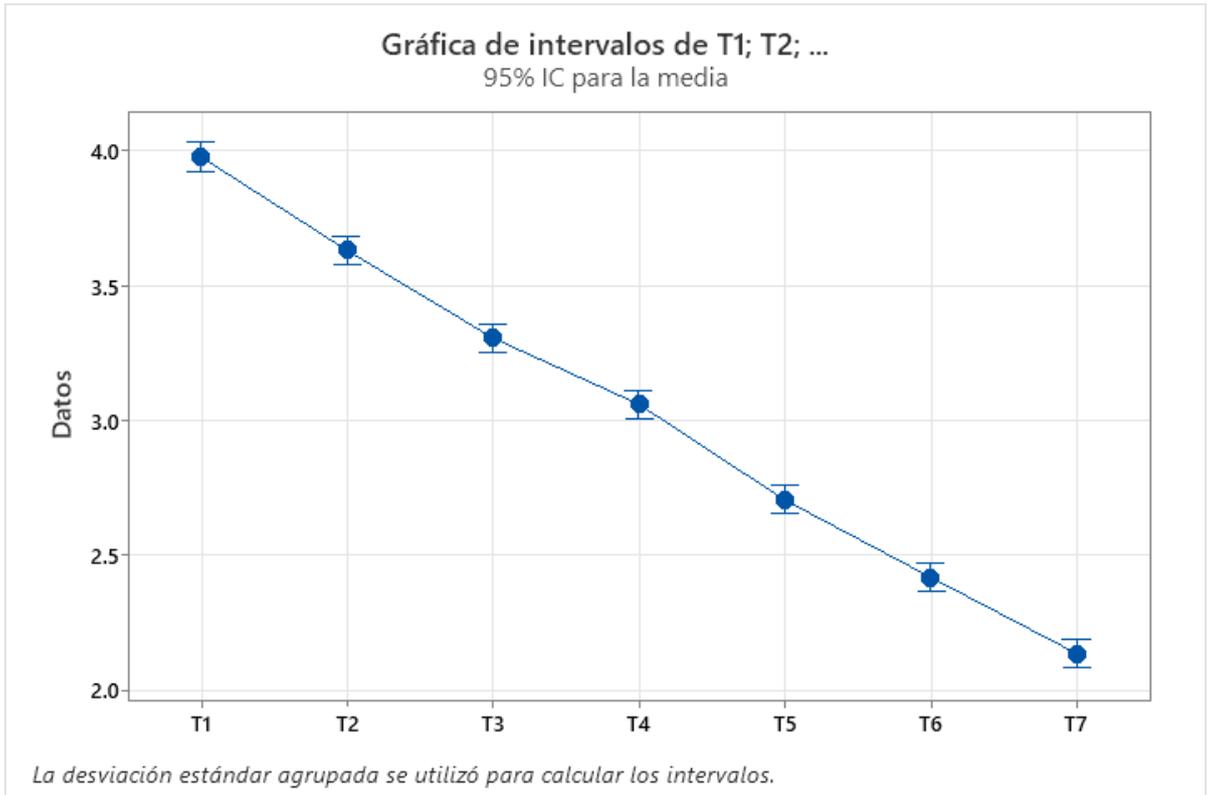
S	R-cuadrado	R-cuadrado (ajustado)	R-cuadrado (pred)
0.0782872	98.56%	98.40%	98.17%

### Medias

Factor	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%
T1	9	3.976	0.000	(3.924; 4.029)
T2	9	3.63044	0.02772	(3.57817; 3.68272)
T3	9	3.3063	0.0409	(3.2541; 3.3586)
T4	9	3.0609	0.0617	(3.0086; 3.1132)
T5	9	2.7067	0.0996	(2.6544; 2.7589)
T6	9	2.4205	0.1337	(2.3683; 2.4728)
T7	9	2.1382	0.0940	(2.0859; 2.1905)

*Desv.Est. agrupada = 0.0782872*

**Gráfica 19. Gráfica de Intervalos de Muestras**



## CAPITULO 7. CONCLUSIONES

La menor caída de la concentración de hipoclorito de sodio fue a temperatura 5°C, mientras que la mayor caída fue a 50°C.

El resultado del análisis de concentración de hipoclorito durante el rango de 3 meses en 3 incubadoras y ambiente determinó que este parámetro es inversamente proporcional al tiempo y temperatura.

Se comprueba que la hipótesis de la tesis es correcta ya que las iteraciones con EDTA en concentraciones desde el 0.10 hasta el 0.25 % lograron disminuir el % de descomposición del hipoclorito de sodio.

La concentración de hipoclorito de sodio de la muestra sin EDTA es inferior a la de la muestra con 0.25 % de EDTA.

La hipótesis nula es Rechazada debido al  $p\text{-value} < 0.05$

La prueba de Dunnett mostró que existe diferencias entre las medias.

## **CAPITULO 8. RECOMENDACIONES**

- Ajustar aún más la cantidad a adicionar de EDTA. De esa forma se podría utilizar menos EDTA para lograr un mejor rendimiento.
- Realizar el estudio de estabilidad con otros tipos de agua a fin de verificar si agua más pura como el agua osmotizada presenta mejoría con esta metodología.

## REFERENCIAS

- (INACAL), I. N. (28 de 12 de 2018). Norma Técnica Peruana NTP 311.602 2018 2da edición. *PRODUCTOS QUIMICOS INDUSTRIALES: Hipoclorito, ácidos cloroisocianúricos y sales derivadas. Requisitos y métodos de ensayo*. Lima, Lima, Perú: INACAL.
- Abiclor. (20 de 11 de 2023). *ABICLOR CORPORATION*. Obtenido de ABICLOR Web Site: <https://www.abiclor.com.br/a-historia-do-cloro/>
- ATSDR, A. f. (s.f.). *ToxFAQs™ - Índice de materias*. Obtenido de [https://www.atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs/es\\_tfacts184.pdf](https://www.atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs/es_tfacts184.pdf)
- Barrios Morales, M. D. (Octubre de 2019). ESTUDIO DE LA ESTABILIDAD DE LA SOLUCIÓN DE HIPOCLORITO DE SODIO AL 3.5% ADICIONÁNDOLE UN QUELANTE A SU COMPOSICIÓN. *Informe de Tesis*. Guatemala.
- Contreras, R. G., Tapia, R. R., Cervantes, E. S., & Aguilar, R. C. (2016). Estudio comparativo sobre la efectividad del hipoclorito de sodio al 6% vs. la solución bromo-cloro-dimetil-hidantoína para la desinfección en ambientes hospitalarios. *Creative Commons - Perinatología y Reproducción Humana*, 145-150.
- d'Halluin, M., Rull-Barrull, J., Bretel, G., Labrugère, C., Grogneq, E. L., Orcid, & Felpin, F.-X. (2017). Chemically Modified Cellulose Filter Paper for Heavy Metal Remediation in Water. *ACS Sustainable Publications - Chemical Engineering*, 1965-1973. Obtenido de <https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/acssuschemeng.6b02768>
- García, J. C. (Julio de 2017). *BRINSAQUIMICA S.A.* Obtenido de BRINSA Web Site: <https://brinsaquimica.com.co/producto/hipoclorito-de-sodio/>
- Groot, W. H. (1991). *Sulphonation Technology in the Detergent Industry*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- Guevara, R. R. (2000). *Estabilidad de la solución de hipoclorito de sodio producido in situ*.
- Guo, X., Zhao, G., Zhang, G., He, Q., Wei, Z., Zheng, W., . . . Wu, Q. (2018). Effect of mixed chelators of EDTA, GLDA, and citric acid on bioavailability of residual heavy metals in soils and soil properties. *Chemosphere*, 776-782. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0045653518312190>
- INACAL. (12 de Diciembre de 2018). NORMA TECNICA PERUANA NTP311.602 2018. *PRODUCTOS QUIMICOS INDUSTRIALES: Hipocloritos, ácidos cloroisocianúricos y sus sales derivadas. Requisitos y métodos de ensayo*. Lima, Lima, Perú: INACAL .
- Jin, W., Jian, Z., Shouwei, Z., Ahmed, A., Tasawar, H., Jiaying, L., & Yuntao, S. (2019). Efficient removal of metal contaminants by EDTA modified MOF from aqueous solutions. *Journal of Colloid and Interface Science*, 403-412.
- LENNTECH. (10 de 11 de 2023). *Lenntech Corportarion* . Obtenido de LENNTECH WEB SITE: <https://www.lenntech.es/procesos/desinfeccion/quimica/desinfectantes-hipoclorito-de-sodio.htm#:~:text=Alrededor%20del%20a%C3%B1o%201785%20el,especificas%20se%20extendi%C3%B3%20con%20facilidad.>
- Ma, J., Zhou, G., Chu, L., Liu, Y., Liu, C., Luo, S., & Wei, a. Y. (2016). Efficient Removal of Heavy Metal Ions with An EDTA Functionalized Chitosan/Polyacrylamide Double Network Hydrogel. *ACS Publications Chemical Engineering*, 843-851.
- Meléndez, A. R., & Perfecto, D. R. (2015). Efectividad de diferentes agentes antimicrobianos en la desinfección de conos de gutapercha. *Odontología SANMARQUINA*, 19-22. Obtenido de <https://revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe/index.php/odont/article/view/11335/10210>
- MINSa, M. d. (2011). R.M. N° 372-2011/MINSa-Guía de procedimientos de limpieza y desinfección de ambientes en establecimientos de salud y servicios médicos de apoyo. *Guía de procedimientos de limpieza y desinfección de ambientes en establecimientos de salud y servicios médicos de apoyo*, (pág. 25). Lima.
- Pastor, J., Martín-Aparicio, A., Gutiérrez-Maroto, A., & Hernández, A. J. (2005). *Efecto de la aplicación de dos sustancias quelantes (EDTA y DTPA) sobre la vegetación*

- autóctona en un suelo contaminado de Cu, Zn, Cd y Fe*. Madrid: Centro Ciencias Medioambientales, CSIC.
- Ponce Álvarez, S. (25 de Mayo de 2020). *ULima-Blog*. Obtenido de <https://www.ulima.edu.pe/sostenibilidad/blog/limpieza-y-desinfeccion-en-tiempos-de-covid-19>
- Ponzano, G. P. (2007). *Sodium Hypochlorite: History, Properties, Electrochemical Production*. Genova: Karger.
- QUIMPAC. (10 de Noviembre de 2023). *QUIMPAC S.A.* . Obtenido de Quimpac Web Site: <https://quimpac.com.pe/>
- QUISPE CUSCO, J. L. (2021). EVALUACIÓN DE EXPOSICIÓN POR HIPOCLORITO DE SODIO UTILIZADOS EN DESINFECCIÓN DE AMBIENTES LABORALES 2021: REVISIÓN SISTEMÁTICA. Lima, Lima, Perú.
- Rojas Vargas, R., & Guevara Vásquez, S. (2000). *ESTABILIDAD DE LA SOLUCION DE HIPOCLORITO DE SODIO PRODUCIDO IN SITU*. Lima: Agencia Suiza para el Desarrollo y Cooperación (COSUDE).
- Ronco, C., & Mishkin, G. J. (2007). *Disinfection by Sodium Hypochlorite: Dyalisis Applications* (Vol. 154). Basel, Switzerland : KARGER.
- Sampieri, R. H. (2014). *Metodología de la investigación*. México D.F.: McGraw Hill.
- UNIPAR. (2023). *UNIPAR CARBOCLORO COMPANY*. Obtenido de UNIPAR Web Site: <https://unipar.com/hipoclorito-de-sodio/>
- Yunzhe Jiang, C. L. (2019). EDTA-Functionalized Covalent Organic Framework for the Removal of Heavy-Metal Ions. *ACS Publications*, 4. Obtenido de <https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/acsami.9b11850#>